

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DO IMPACTO CAUSADO POR SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR NA
DEMANDA E NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS
POPULARES

CLAUBER ANDRE FERASSO

Dissertação de Mestrado

São Leopoldo, agosto de 2013

ANÁLISE DO IMPACTO CAUSADO POR SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR NA
DEMANDA E NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM RESIDÊNCIAS
POPULARES

CLAUBER ANDRE FERASSO

Trabalho submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS como pré-requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Mario H. Macagnan

Co-orientador: Prof. Dr. João Batista Dias

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Roberto Wander (PPGEM, Unisinos)

Prof. Dra. Jacqueline Biancon Copetti (PPGEM, Unisinos)

Prof. Dr. Jean-Marc Stephane Lafay (PPGEE, UTFPR)

São Leopoldo, agosto de 2013

F345a Ferasso, Clauber Andre
Análise do impacto causado por sistemas de aquecimento solar na
demanda e no consumo de energia elétrica em residências populares /
Clauber Andre Ferasso. -- 2013.
93 f. : il. ; 30cm.

Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) -- Universidade do
Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica, São Leopoldo, RS, 2013.
Orientador: Prof. Dr. Mario H. Macagnan; Coorientador: Prof. Dr.
João Batista Dias.

1. Engenharia mecânica. 2. Energia solar térmica. 3. Chuveiro
elétrico. 4. Energia elétrica - Consumo - Perfil. 5. Análise econômica. I.
Título. II. Macagnan, Mario H. III. Dias, João Batista.

CDU 621:620.91

FINANCIAMENTO DE PESQUISA

Este trabalho é financiado pela FINEP, através da Chamada Pública Saneamento Ambiental e Habitação 07/2009, Rede 22 - Uso Racional de Água e Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social, Convênio 0924/10 e pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, através da concessão de uma bolsa DTI-C.

RESUMO

A contribuição das fontes de energias alternativas, principalmente a solar térmica, para a diversificação da matriz energética brasileira é importante devido, principalmente, ao aumento da demanda do consumo de energia elétrica, ocasionado pelo progresso e desenvolvimento da população e do País. Parte deste aumento é consequência do uso simultâneo de milhares de chuveiros elétricos, na maioria das vezes no horário de ponta, considerado um dos responsáveis pelo elevado pico na curva de demanda entre 18 e 21 horas. Frente a isso, a utilização da energia solar através de sistemas de aquecimento solar para o uso doméstico, vem ao encontro deste propósito. Após análise do consumo médio mensal de energia elétrica fornecida pela concessionária AES Sul no período de um ano em um conjunto residencial na cidade de Canoas – RS, foi possível estimar o custo da utilização do chuveiro elétrico nesse local, por domicílio, que representa entre 25 a 30 % da fatura de energia elétrica. A produção de energia térmica através de sistemas de aquecimento solar para pré-aquecimento de água quente para uso doméstico foi simulada utilizando-se o software TRNSYS, para diversas configurações de sistemas (área de coletor e capacidade de armazenamento). A relação entre a demanda de energia para aquecimento de água e a energia produzida pelo SAS foi parametrizada utilizando-se o conceito de fração solar mensal e anual. Foi considerada uma temperatura mínima de consumo de água quente de 40 °C e um perfil de consumo correspondente à taxa de ocupação média dos domicílios no local. Os dados climáticos necessários para a simulação foram obtidos a partir do ano meteorológico típico (TMY) para Porto Alegre. Os resultados obtidos das diversas simulações mostraram que é possível obter uma economia direta para consumidor de até 58% de energia consumida pelo chuveiro elétrico e uma economia de energia estimada em 12.399 kWh para o sistema elétrico ao longo de 20 anos. Estes resultados podem ser melhorados com a diminuição do custo unitário do SAS ou através de incentivos decorrentes da diminuição dos custos de ampliação da capacidade da rede elétrica por parte das concessionárias, decorrentes da mudança do perfil de carga do sistema.

Palavras-chave: Energia solar térmica. Chuveiro elétrico. Simulação. Perfis de consumo de energia elétrica. Análise econômica.

ABSTRACT

The contribution of alternative energy sources, particularly solar thermal, to diversify the Brazilian energy matrix is important, mainly due to increased demand of electricity consumption, caused by the progress and development of the population as well as the country. Part of this increase is a consequence of the simultaneous use of thousands of electric showers, mostly during peak hours, considered one of the chief responsible for the high peak in the demand curve between 6.00 and 9.00PM. Given this, the use of solar energy, through solar heating systems for domestic use, meets this purpose. After the analysis of the average monthly consumption of electricity provided by the supplier AES Sul in the period of one year in a residential complex in the city of Canoas – RS, it was possible to estimate the cost of using electric showers in that location, per household, which was between 25 to 30% of the electricity bill. The production of thermal energy through solar heating systems for preheating domestic hot water was simulated using the TRNSYS software for various system configurations (collector area and storage capacity). The relationship between energy demand for water heating and energy produced by SAS was parameterized using the concept of monthly and annual solar fraction, considering a minimum temperature of hot water of 40 ° C, and a profile of consumption corresponding to the average occupancy rate of households at the site. The climatic data required for the simulation were obtained from the typical meteorological year (TMY) to Porto Alegre and the results of several simulations showed that it is possible to get direct savings to the consumer up to 58% of energy consumed by electric shower and energy savings estimated at 12,399 kWh for the electricity system over a period of 20 years. These results can be improved by reducing the unit cost of SAS or through incentives from lowering the cost of expanding the capacity of the electric grid by suppliers, resulting from the change of the system load profile.

Keywords: Solar thermal Energy. Electric shower. Simulation. Profiles of electricity consumption. Economic analysis.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento
AES SUL	Distribuidora Gaúcha de Energia S/A
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DASOL	Departamento Nacional de Aquecimento Solar
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GIS	Sistema de Informação Geográfico (<i>Geographic Information System</i>)
GOES	Satélite Geoestacionário
IEA	Agencia Internacional de Energia (<i>International Energy Agency</i>)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LABSOLAR/UFSC	Laboratório de Energia Solar da Universidade Fed. de Santa Catarina
LCS	Ciclo de Vida Econômico (<i>Live Cycle Saving</i>)
MME	Ministério de Minas e Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SAS	Sistema de Aquecimento Solar
SHC	Programa de Refrigeração e Aquecimento Solar (<i>Solar Heating and Cooling Programme</i>)
SWERA	Avaliação dos Recursos de Energia Eólica e Solar (<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>)
TIRM	Taxa de Retorno de Investimento Modificada
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TMY	Ano Meteorológico Típico (<i>Typical Meteorological Year</i>)
TRNSYS	Programa de Simulação de Sistema Transitório (<i>Transient System Simulation Program</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área [m ²]
A_c	Área da superfície do coletor [m ²]
CF	Fluxo de caixa [R\$]
$C_{inicial}$	Investimento inicial [R\$]
C_p	Calor específico à pressão constante [J/(kg K)]
C_w	Consumo individual de água quente [L]
d	Taxa de juros ou taxa de desconto [%]
F	Fração solar anual [-]
f	Fração solar mensal [-]
F_R	Fator de remoção de calor do coletor [-]
G_T	Irradiância global incidente na cobertura do coletor [W/m ²]
H_c	Distância entre saída e entrada do coletor [m]
H_o	Distância entre a saída do reservatório e entrada do coletor [m]
H_r	Altura do retorno do coletor no reservatório [m]
H_t	Altura do reservatório [m]
I	Irradiância global horizontal [W/m ²]
I_b	Irradiância direta horizontal [W/m ²]
I_d	Irradiância difusa horizontal [W/m ²]
I_t	Irradiância global em superfície inclinada [W/m ²]
I_o	Irradiância extraterrestre [W/m ²]
L_A	Energia auxiliar utilizada [kJ]
L_s	Energia fornecida pelo SAS [kJ]
L_w	Energia utilizada pelo SAS [kJ]
m	Massa do fluido [kg]
\dot{m}	Vazão mássica [kg/s]
PW	Valor presente [R\$]
Q	Energia para aquecimento do fluido [J]
Q_s	Energia máxima recebida pelo fluido [J]
\dot{Q}_u	Taxa de energia térmica transferida para o fluido (ganho útil) [W]
R_b	Razão entre a irradiância na superfície inclinada em relação à horizontal [-]
S	Radiação absorvida pela placa [W/m ²]
T	Temperatura [°C]

T_a	Temperatura ambiente [°C]
T_D	Temperatura do fluido para a demanda [°C]
T_h	Temperatura do fluido na saída do coletor [°C]
T_i	Temperatura de entrada do coletor [°C]
T_L	Temperatura do fluido para a demanda [°C]
T_m	Temperatura média na entrada do coletor [°C]
T_o	Temperatura de saída do coletor [°C]
T_s	Temperatura do fluido que entra no coletor [°C]
UA	Condutância térmica [W/K]
U_L	Coefficiente global de perdas térmicas [W/(m ² K)]
V_h	Volume do fluido na saída do coletor [m ³]
V_k	Volume do segmento que ultrapassa os limites do reservatório [m ³]
V_L	Volume do fluido para a demanda [m ³]

Gregos

α	Absortividade da cobertura do coletor [-]
β	Ângulo de inclinação do coletor [°]
ρ	Massa específica da água [kg/m ³]
ρ_g	Refletividade do solo [-]
η	Eficiência térmica do coletor [-]
η_o	Eficiência ótica do coletor [-]
τ	Transmissividade da cobertura do coletor [-]

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Consumo total anual de energia elétrica e o consumo do setor residencial.	19
Tabela 5.1 - Características principais do SAS utilizado na simulação.	50
Tabela 5.2 - Valores para o consumo de água quente por pessoa, obtidos em diversas referências.....	52
Tabela 5.3 - Componentes do programa TRNSYS utilizados na simulação dos sistemas.....	56
Tabela 6.1 - Incertezas na desagregação na demanda fornecida pela concessionária.....	61
Tabela 6.2 - Estimativa do consumo médio mensal de energia elétrica domiciliar e o valor desagregado representando o consumo do chuveiro elétrico, em kWh.....	61
Tabela 6.3 - Estimativa do consumo domiciliar total anual de energia elétrica, consumo anual devido ao chuveiro elétrico e consumo médio mensal por domicílio	62
Tabela 6.4 - Estimativa do custo da energia elétrica consumida por domicílio	62
Tabela 6.5 - Modelos dos SAS utilizados nas simulações	63
Tabela 6.6 - Resultados da simulação de número 1 utilizando SAS sem uso de energia auxiliar, reservatório de 200 L.....	65
Tabela 6.7 - Resultados da simulação de número 2 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, reservatório de 200 L.	66
Tabela 6.8 - Resultados da simulação de número 3 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, reservatório de 300 L.	67
Tabela 6.9 - Resultados da simulação de número 4 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, reservatório de 400 L.	67
Tabela 6.10 - Resultados da simulação de número 5 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, área de 3,46 m ² e reservatório de 200 L	68
Tabela 6.11 - Resultados da simulação de número 6 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, área de 3,46 m ² e reservatório de 300 L.	69
Tabela 6.12 - Resultados da simulação de número 7 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, área de 3,46 m ² e reservatório de 400 L	69
Tabela 6.13 - Resultados da simulação de número 8 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar	70
Tabela 6.14 - Valores econômicos adotados para o sistema de aquecimento solar	72
Tabela 6.15 - Informações de entrada da análise econômica para o caso 2	73
Tabela 6.16 - Critérios utilizados no cenário 1 para operação do SAS	73
Tabela 6.17 - Critérios utilizados no cenário 2 para operação do SAS	73

Tabela 6.18 - Critérios utilizados no cenário 3 para operação do SAS	73
Tabela 6.19 - Critérios utilizados no cenário 4 para operação do SAS	74
Tabela 6.20 - Resultado da análise econômica do caso 2.....	74
Tabela 6.21 - Resultado da análise econômica do caso 5.....	74
Tabela 6.22 - Resultado da análise econômica do caso 8.....	74
Tabela 6.23 - Resultados da análise de economia de energia elétrica com o uso do SAS	75
Tabela 6.24 - Resultados da análise econômica na expansão da rede elétrica	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Fluxograma das aplicações da energia solar.....	22
Figura 3.2 - Incidência de radiação em uma superfície.....	24
Figura 3.3 - Mapa de irradiação direta normal, total anual no Brasil em kWh/(m ² ano).	25
Figura 3.4 - Mapa de irradiação global horizontal, total anual no Brasil em kWh/(m ² ano). ...	26
Figura 3.5 - Mapa de irradiação solar global inclinada (inclinação igual à latitude local), total anual no Brasil, em kWh/(m ² ano).	26
Figura 3.6 - Evolução do mercado de aquecimento solar brasileiro.	27
Figura 3.7 - Percentual de coletores instalados.	28
Figura 3.8 - Distribuição dos tipos de coletores instalados.	29
Figura 3.9 - Produção e operação de energia.	30
Figura 3.10 - Capacidade de energia térmica em operação.....	30
Figura 4.1 - Sistema de aquecimento por termossifão.....	33
Figura 4.2 - Sistema de aquecimento por bombeamento.....	33
Figura 4.3 - Coletor solar plano.....	34
Figura 4.4 -Coletor com tubo evacuado.	35
Figura 4.5 - Curva de eficiência dos coletores solares.	38
Figura 4.6 - Curva de eficiência dos coletores solares.	39
Figura 4.7 - Coletores instalados em série.....	40
Figura 4.8 - Coletores instalados em paralelo.	40
Figura 4.9 - Reservatório Térmico	42
Figura 4.10 - Sequência da solução algébrica para reservatório térmico	44
Figura 4.11 - Localização da fonte de energia auxiliar em um SAS.....	47
Figura 4.12 - Demonstrativo de SAS em operação ou desligado.....	48
Figura 5.1 - Bairro Guajuviras em Canoas - RS.....	49
Figura 5.2 - Esquema utilizado para a simulação do sistema de aquecimento solar.....	50
Figura 5.3 - Curva característica de carga para o consumo de energia elétrica para aquecimento de água para banho, em um dia típico.....	51
Figura 5.4 - Temperatura da água.....	53
Figura 5.5 - Consumo de água quente definido.....	57
Figura 5.6 - Modelo da montagem do sistema termossifão para simulação sem aquecimento auxiliar.....	58

Figura 5.7 - Modelo da montagem do sistema termossifão para simulação com aquecimento auxiliar.....	58
Figura 5.8 - Valores mensais do consumo de energia elétrica no bairro Guajuviras.	59
Figura 6.1 - Estimativa do consumo horário médio mensal domiciliar de energia elétrica no período de um ano.	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.1	Objetivos Específicos	16
1.1.2	Justificativa	17
2	AQUECIMENTO DE ÁGUA E CONSUMO DE ENERGIA	19
3	PANORAMA DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL E NO MUNDO	22
3.1	ENERGIA SOLAR.....	22
3.2	POTENCIAIS PARA APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL	24
3.3	EXPECTATIVAS DE DESENVOLVIMENTO NA ÁREA DE AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL	27
3.4	SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR NO MUNDO	28
4	SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	32
4.1	COLETORES SOLARES	33
4.2	LIGAÇÕES DE COLETORES EM SÉRIE E PARALELO	39
4.3	RESERVATÓRIO TÉRMICO	41
4.3.1	Estratificação nos Reservatórios Térmicos	42
4.4	FONTE DE ENERGIA AUXILIAR.....	46
4.5	PROBLEMAS MAIS COMUNS ENCONTRADOS NOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR	47
5	METODOLOGIA DE TRABALHO	49
5.1	SOFTWARES DE SIMULAÇÃO	53
5.1.1	Simulação do Sistema de Aquecimento de Água	55
5.2	DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	59
6	RESULTADOS	60
6.1	TRATAMENTO DOS DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	60
6.2	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	62
6.2.1	Análise Econômica do SAS	71
7	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	79
	ANEXO A - PARÂMETROS OPERACIONAIS DO COLETOR SOLAR E RESERVATÓRIO TÉRMICO	84

ANEXO B - CHUVEIROS ELÉTRICOS.....	86
ANEXO C - RELATÓRIO PARCIAL DO MÊS JANEIRO DE 2012	88
ANEXO D - HORÁRIOS MÉDIOS MENSAIS	89
ANEXO E - ARQUIVO <i>TMY</i> PARCIAL	90
ANEXO F - ARQUIVO PARCIAL DE SAÍDA DE DADOS DO SIMULADOR.....	91
ANEXO G - COLETORES SOLARES.....	92

1 INTRODUÇÃO

A demanda de energia elétrica aumenta cada vez mais em todas as regiões do Brasil e do mundo, tornando-as dependente dos combustíveis fósseis e de grandes investimentos em fontes geradoras de energia elétrica.

Há uma década, o Brasil enfrentou uma crise de energia fazendo com que o País passasse por um racionamento de energia elétrica. Esta energia é essencial para o seu crescimento econômico, para o desenvolvimento e o bem estar da sociedade.

Além do incremento do consumo, é cada vez mais elevado o pico da curva de demanda de energia elétrica no horário de ponta, parte deste causado pelo uso simultâneo de milhares de chuveiros elétricos instalados nos domicílios brasileiros. Estes equipamentos, fabricados em larga escala, possuem baixo custo e são extremamente fáceis de instalar, o que faz com que na grande maioria das residências brasileiras haja pelo menos um chuveiro elétrico instalado.

Conforme pesquisa realizada pela Eletrobrás/Procel (MME, 2011) para quantificar o tipo de posse de equipamentos elétricos no Brasil, constatou-se que 80,9 % das residências aquecem água para o banho, onde 73,5 % dos sistemas de aquecimento utilizam energia elétrica, 5,9 % utilizam gás e 0,4 % utilizam energia solar.

A contribuição dos chuveiros elétricos no consumo de energia elétrica no Brasil continuará com elevado percentual no que se refere a aquecimento de água, principalmente nas regiões com população de baixa renda.

Para que o sistema energético brasileiro supra esse aumento de demanda ao longo dos anos, faz-se necessário o investimento de expressivos montantes de recursos para financiar estudos, pesquisas e construções inovadoras para geração de energia. Mediante isso, o uso racional de energia e planos de economia vem em um ascendente crescimento, fazendo com que os estados brasileiros utilizem fontes renováveis de energia, por serem gratuitas e não degradarem o planeta.

O uso da energia solar para aquecimento de água para banho não é considerada fonte de geração de energia elétrica, mas sim como contribuição auxiliar no sistema energético e ambiental brasileiro melhorando a eficiência energética.

As ações para sua disseminação em moradias populares baseiam-se em projetos pilotos que vêm sendo realizados por concessionárias de energia elétrica, companhias de habitação e governo federal (NASPOLINI; RUTHER, 2010).

Com a criação de programas de tecnologias mais eficientes para o desenvolvimento dos sistemas de aquecimento solar (SAS) para população de baixa renda, esses poderão trazer

benefícios para o setor elétrico reduzindo a demanda e o consumo de energia no horário de ponta. Conforme a região, os chuveiros elétricos poderão ser usados como uma fonte complementar de água quente ou serem substituídos completamente.

Grande parte do território brasileiro tem sua localização geográfica tropical e subtropical, possuindo um elevado potencial para a utilização da energia solar térmica. Entretanto, a principal dificuldade no aproveitamento dessa fonte de energia para aquecimento de água é o investimento inicial, em equipamentos e instalações, que é elevado comparado com a instalação de chuveiros elétricos.

A tecnologia solar para o aquecimento de água no Brasil possui um grande potencial para contribuir com a malha energética, podendo diminuir o pico da curva de demanda no horário de ponta. No entanto, para consolidar-se e ampliar sua participação na produção energética global, é preciso primeiro vencer algumas barreiras como: custo mais acessível para a população, difusão de informações sobre as funcionalidades e qualidades do SAS e melhorar a qualificação e confiabilidade dos instaladores.

Os resultados obtidos no presente trabalho são de considerável valia para que ações públicas sejam realizadas na implantação desse modelo de sistema de aquecimento de água utilizando energia térmica em residências de consumidores de baixa renda.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto do uso de sistemas de aquecimento de água com energia solar para a substituição ou diminuição do uso dos chuveiros elétricos em residências de baixa renda, diminuindo a curva de pico de demanda no horário de ponta entre as 18 e 21 horas.

1.1.1 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos dessa dissertação:

- Analisar os dados de demanda de energia elétrica em uma zona residencial de Canoas, RS, fornecido pela concessionária AES Sul (Distribuidora Gaúcha de Energia S/A) e através da aplicação de hipóteses de hábitos e perfis de consumo de energia para o banho, estimar a demanda para esse propósito;

- Dimensionar um sistema de aquecimento solar (SAS) para atender uma demanda típica de consumo residencial, baseado em dados climatológicos da região;
- Analisar os resultados e fazer uma avaliação sobre a utilização da energia solar para aquecimento de água para o banho e qual o impacto produzido na geração e distribuição de energia elétrica.
- Fazer uma análise da viabilidade econômica ao longo da vida útil desse sistema, que é em torno de 20 anos, e mensurar a quantidade de energia que é possível reduzir ao longo desse período.

1.1.2 Justificativa

Sistemas de aquecimento de água utilizando energia solar em residências vêm sendo utilizados há alguns anos em países desenvolvidos. No Brasil, uma grande parcela da população desconhece os benefícios do uso de energia renovável e tem como padrão a utilização de chuveiros elétricos, que sobrecarregam a rede de distribuição no horário de ponta.

No Brasil a utilização da energia solar é pouco disseminada e há diferentes formas de aproveitamento dos recursos da radiação solar dependendo da finalidade, neste caso, o aquecimento de água para banho em residências de baixa renda.

O desafio do setor energético Brasileiro consiste na ampliação da geração de energia elétrica para garantir o abastecimento de milhões de pessoas. Desta forma, é necessária a diversificação de fontes de energia na malha energética brasileira. A utilização da energia solar, por ser uma fonte renovável de energia e estar à disposição da maioria das pessoas apresenta grande potencial para substituir ou reduzir o uso da energia elétrica e pode contribuir com a diminuição do pico de demanda no horário de ponta.

A utilização de aquecedor solar para o aquecimento de água para banho, além de utilizar o Sol como fonte de energia, não compromete a qualidade de vida dos usuários e traz benefícios para a sociedade nos seus diversos segmentos.

A simples introdução de sistemas de aquecimento solar não significa um bom aproveitamento energético. As instalações necessitam ser corretamente dimensionadas, instaladas e mantidas. Caso um desses aspectos não seja corretamente levado em consideração, o desempenho do sistema poderá ser inferior ao que inicialmente estava previsto.

O SAS pode ser um grande aliado na diminuição do pico de demanda no horário de ponta. Os custos iniciais são elevados quando comparados aos aquecedores de água que utilizam energia elétrica, os chuveiros elétricos. Ao longo do tempo, considerando a economia

na conta de energia elétrica paga pelo consumidor e a redução de investimentos para a geração de energia no horário de ponta, torna-se viável sua utilização.

Neste contexto, as concessionárias de distribuição de energia elétrica reduzem a demanda no horário de ponta, sendo possível postergar investimentos na geração de energia e na ampliação da capacidade instalada, desta forma, disponibilizando energia que supre outros consumidores com melhor qualidade. Os usuários reduzem o consumo de energia elétrica, têm disponibilidade de água aquecida sem o uso de energia elétrica e ficam menos expostos ao aumento das tarifas de energia.

2 AQUECIMENTO DE ÁGUA E CONSUMO DE ENERGIA

O consumo residencial de energia elétrica vem crescendo significativamente no Brasil nas últimas décadas. Entre 1989 e 2011, o consumo de energia elétrica no setor residencial aumentou 151%, desde 43,7 TWh em 1989 até 111,9 TWh em 2011 (BEN, 2012). Conforme números apresentados na Tab.2.1. O consumo do setor, em relação ao consumo total de energia elétrica, apresenta pequenas variações, mas fica em torno de 24 %.

O maior incremento de consumo neste período aconteceu na região sul do País, correspondendo aos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, aqueles que apresentam as temperaturas médias anuais mais baixas do País.

Tabela 2.1 - Consumo total anual de energia elétrica e o consumo do setor residencial.

Ano	Consumo total de energia elétrica, TWh	Consumo setor residencial, TWh	Consumo setor residencial, %	Incremento em dez anos,%
1989	212,4	43,7	20,6	-
1999	314,7	81,3	25,8	86
2009	426,0	101,8	23,9	25
2011	480,1	111,9	23,6	-

Fonte: BEN (2012)

No setor residencial o consumo de energia elétrica deve-se fundamentalmente à utilização de diversos eletrodomésticos (refrigeradores, freezers, máquinas de lavar roupa, ferro elétrico, TV e ar condicionado), além da iluminação. Dentre os equipamentos que mais consomem energia está o chuveiro elétrico, responsável por 15 a 30% do consumo final de energia elétrica neste setor, em função da região do país (GHISI et al., 2007). Além disso, é o equipamento que possui a maior potência instalada, entre 4 a 8 kW, e está presente em quase 98% das residências no sul do País (NASPOLINI; RUTHER, 2010 e PROCEL, 2011).

Conforme Prado et al. (2007), o chuveiro elétrico responde por aproximadamente 25% do consumo de energia elétrica doméstica e este percentual pode alcançar 35% da demanda total das famílias de baixa renda.

Apesar de sua praticidade, facilidade de instalação e principalmente o seu custo reduzido, o chuveiro elétrico é utilizado principalmente no horário de ponta, entre as 18 e 21 horas. Nesse período, as curvas de carga correspondentes ao setor residencial apresentam um aumento significativo da demanda, principalmente na região sul do país, e o chuveiro elétrico é o principal responsável por isso, representando aproximadamente 60% da carga residencial (NASPOLINI; RUTHER, 2010).

O consumo de energia por unidade habitacional, em 2010, foi de 154 kWh/mês. Segundo a EPE (2011), a projeção da taxa de expansão média anual do setor residencial, para o período 2010-2020, é de 4,5%, significando que o consumo de energia por unidade habitacional alcançará valores na ordem de 240 kWh/mês.

Associado ao aumento da demanda causado pelo uso de chuveiros elétricos nesse período, esses equipamentos operam com elevada potência e em curto período de tempo, cujo resultado é um baixo fator de carga (PRADO; GONÇALVES, 1998), tornando-se um grave problema para o setor elétrico nacional. Além disso, e do ponto de vista das concessionárias de energia elétrica, a não cobrança de tarifa horossazonal para esse tipo de consumidor, é vista como outro aspecto negativo do uso do chuveiro elétrico.

Com o aumento da demanda de energia elétrica nesse setor e seu uso intensivo no horário de ponta, foi estimado por Colle et al. (2003) que o custo de expansão da rede elétrica para suprir essa demanda possa estar em torno de US\$ 980,00 por chuveiro instalado.

O uso de energia solar térmica para atender parte da demanda de energia no setor residencial para promover o aquecimento de água vem crescendo significativamente nos últimos anos, em diversos países. Isso acontece, principalmente, através da adoção de incentivos fiscais, taxas de juros reduzidas ou mesmo devido à introdução de códigos técnicos, tornando o uso da energia solar obrigatória para o aquecimento parcial de água para consumo doméstico e calefação, como em alguns países na Europa. No Brasil também se verifica crescimento nos últimos anos. A partir de 2000 pôde-se observar o surgimento de várias ações para disseminação dessa tecnologia, principalmente através de recursos provenientes do fundo setorial de energia elétrica, supervisionados pela ANEEL, através do Programa de Eficiência Energética (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2012).

Algumas concessionárias do setor elétrico utilizam os recursos destinados aos programas de eficiência energética para instalar em residências de baixa renda ou em instituições filantrópicas sistemas de aquecimento de água, buscando minimizar o efeito do uso do chuveiro elétrico no horário de ponta. A CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) vem se destacando nesse tipo de aplicações. Em 2000, foram instalados SAS em cem habitações populares no conjunto habitacional Sapucaias, em Contagem, MG.

Após cinco anos, foi realizada uma avaliação da operação destes sistemas (Fantinelli e Pereira, 2012 apud Vasconcellos e Limberger, 2012). Apesar de inúmeros problemas encontrados (venda de equipamentos, falta de manutenção, etc.), constatou-se que a economia média obtida na tarifa de energia elétrica foi de 34,6%, decorrente do uso de SAS. Inúmeros outros projetos de inclusão da população de baixa renda no mercado de SAS aconteceram

desde então, como os projetos Ilha do Mel - Paraná, Projeto Cingapura em São Paulo e nos conjuntos habitacionais SIR e Maria Eugênia, em Governador Valadares (ABRAVA, 2013).

Outro exemplo interessante foi a instalação de SAS no residencial Solar Buona Vitta, localizado em Florianópolis, SC. Neste projeto, foram selecionadas 90 famílias com perfil de baixa renda. Destas, 60 famílias receberam um SAS enquanto as demais 30 famílias serviram como grupo de referência. Estudos preliminares realizados por Salazar (2004) mostraram que houve uma redução no pico da curva de demanda de até 62%.

Estes estudos mostram que o uso de SAS em aplicações massivas poderia, além de reduzir efetivamente o gasto mensal de energia elétrica, melhorando o padrão de vida de populações de baixa renda, impactar efetivamente na diminuição do pico da curva de carga do sistema no horário de ponta. Além disso, o sistema elétrico nacional pode beneficiar-se pela postergação da construção de novas usinas de geração, minimizar o uso de gás ou óleo combustível nas termoeletricas, reduzindo o custo da energia elétrica gerada e minimizando impactos ambientais e usar efetivamente a energia solar como parte de um *mix* de energéticos disponíveis (TRZESNIEWSKI, 1995).

3 PANORAMA DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL E NO MUNDO

Neste capítulo será apresentada uma revisão da utilização dos sistemas de aquecimento solar (SAS) e dos aspectos mais importantes relacionados ao aproveitamento de energia solar térmica para aquecimento de água para uso doméstico.

3.1 ENERGIA SOLAR

A maior fonte de energia disponível na Terra provém do Sol. A energia solar é indispensável para a existência de vida na Terra, sendo o ponto de partida para a realização de processos químicos e biológicos.

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica e/ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destaca o efeito fotovoltaico (BAPTISTA, 2006 e VIANA et al, 2010).

A Fig. 3.1 apresenta duas formas de aproveitamento da energia solar, isto é, a passiva e a ativa.

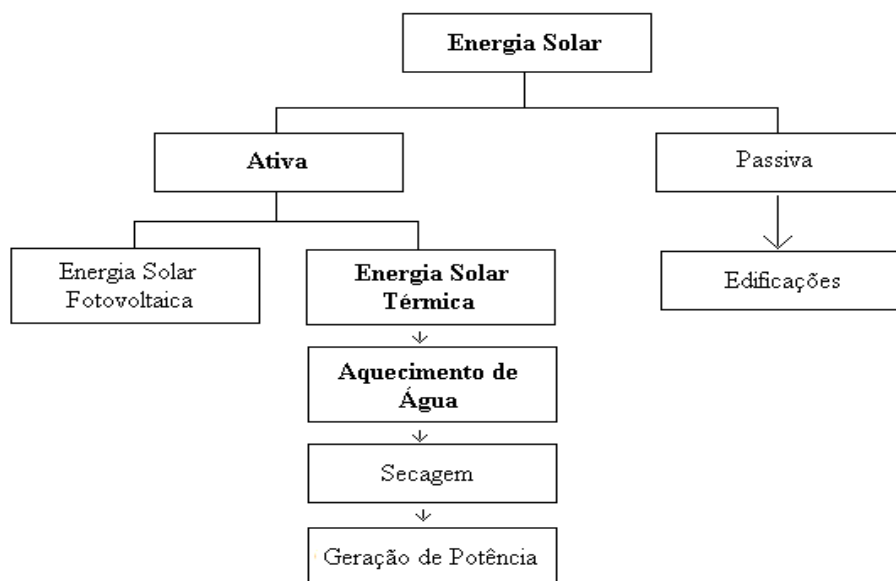


Figura 3.1 - Fluxograma das aplicações da energia solar

O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo-se com isso as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção (PERERA; HIRSCH; FRIES, 2003).

O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores solares planos, evacuados ou de concentração. Os coletores solares planos e evacuados são mais usados em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes, hospitais, etc.) para o aquecimento de água. Os concentradores solares destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como para a produção de vapor. Neste último caso, pode-se gerar energia mecânica com o auxílio de uma turbina a vapor e, posteriormente eletricidade.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação solar sobre determinados materiais semicondutores, destacando o efeito fotovoltaico, onde os fótons de energia provenientes do Sol são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares.

Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são para aquecimento de água e para geração fotovoltaica de energia elétrica (ANEEL, 2002).

A energia solar total incidente no coletor solar é composta pela soma de três componentes: radiação direta, radiação difusa e radiação refletida pela terra. A radiação direta é aquela proveniente do disco solar. A radiação difusa é aquela originada por todo o hemisfério celeste, excluindo-se o disco solar. É formada pela radiação difusa isotrópica, que é a parcela recebida uniformemente por toda a abóbada celeste; pela difusa circumsolar, que é a radiação solar concentrada na parte do céu ao redor do sol e pela radiação difusa do brilho do horizonte, que é a radiação próxima ao horizonte, presente principalmente em dias de céu claro. A radiação refletida pela terra, albedo, é originada pela reflexão da radiação incidente em superfícies próximas ao coletor, como edificações, pavimentos e vegetação, conforme mostra a Fig. 3.2 (DUFFIE; BECKMAN, 2006 e PEREZ, 1987).

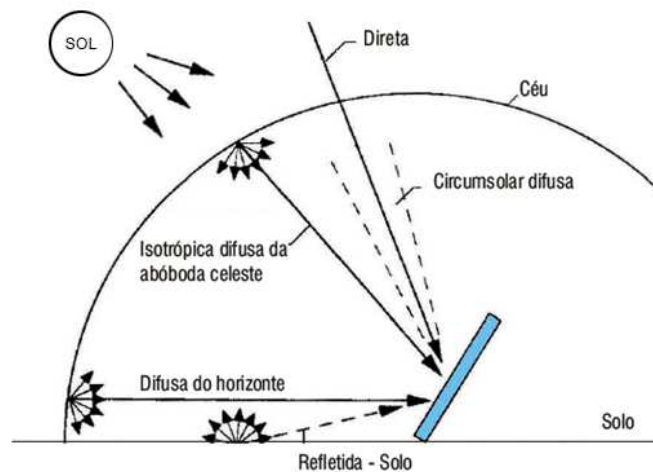


Figura 3.2 - Incidência de radiação em uma superfície.

Fonte: Adaptada de Duffie e Beckman (2006).

3.2 POTENCIAIS PARA APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Qualquer processo de dimensionamento de sistemas de energia solar implica na disponibilidade de dados climáticos, principalmente de radiação solar, para o local do projeto.

No Brasil, apesar desses dados serem medidos em diversas estações meteorológicas espalhadas pelo território, através do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), sua disponibilidade é restrita. Diversos trabalhos foram realizados a fim de fornecer solução para esse problema, destacando-se o Atlas Solarimétrico do Brasil e o Atlas Brasileiro de Energia Solar, realizado no âmbito do projeto SWERA (PEREIRA et al., 2006).

O projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) tem como objetivo fundamental, dentro das pesquisas climáticas, desenvolver uma base de dados, confiável e de alta qualidade, dos recursos de energia solar, para possibilitar a inclusão de energias renováveis na matriz energética de países em desenvolvimento (PEREIRA et al., 2006).

Como premissas foram coletadas informações de alta qualidade sobre os recursos solar e eólico, compilados na forma de sistemas de informações geográficas, GIS (*Geographic Information System*), para países em desenvolvimento de três grandes grupos regionais: África, América Latina e Ásia. Os dados disponíveis visam auxiliar principalmente os órgãos do governo e investidores privados, engajados no desenvolvimento dos mercados de energia nos países dessas regiões, na avaliação do potencial técnico, econômico e ambiental de investimentos em tecnologias de energias renováveis (VIANA et al., 2010).

A Fig. 3.3 mostra o mapa do Brasil com a distribuição da irradiação solar direta normal, em kWh/(m²ano). Observa-se que uma considerável parte do território, que se espalha do

nordeste até o sul, apresenta níveis de irradiação direta normal acima de 2.000 kWh/(m²ano). A similaridade dos níveis da radiação direta ao longo dessa extensa área é de extrema relevância, especialmente se forem consideradas as grandes diferenças climáticas existentes do nordeste até o sul do Brasil.

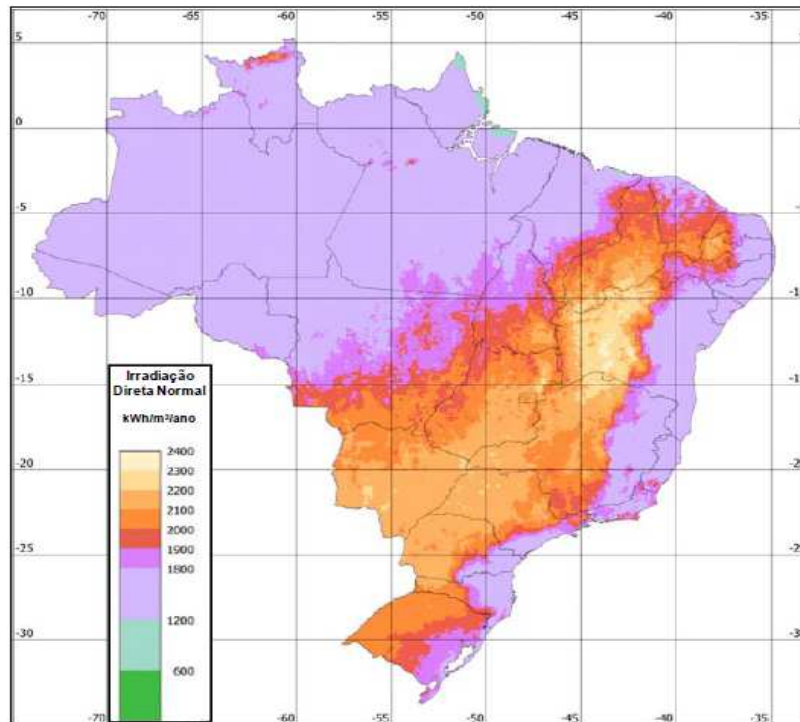


Figura 3.3 - Mapa de irradiação direta normal, total anual no Brasil em kWh/(m²ano).

Fonte: Viana et al. (2010).

A avaliação do potencial da energia solar deve ser realizada não apenas com base nos níveis de irradiação direta normal, mostrados na Fig. 3.3, mas também por meio da comparação com os níveis de irradiação global horizontal e de irradiação global inclinada, apresentadas nos mapas das Fig. 3.4 e 3.5.

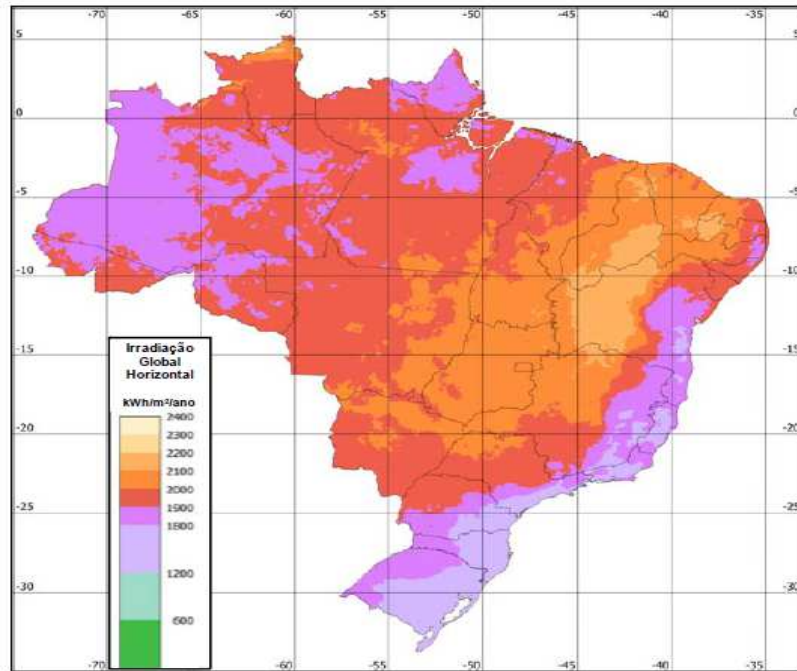


Figura 3.4 - Mapa de irradiação global horizontal, total anual no Brasil em kWh/(m²ano).

Fonte: Viana et al. (2010).

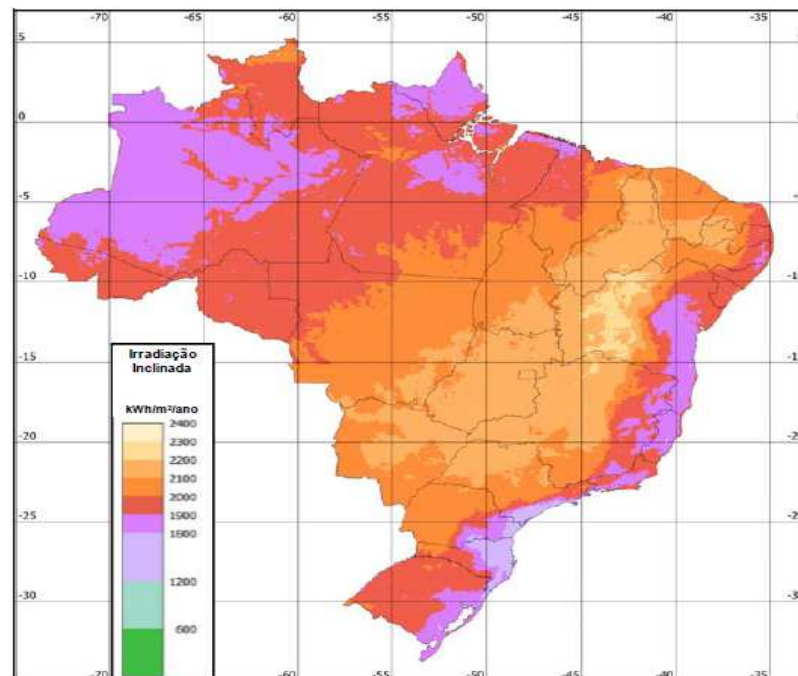


Figura 3.5 - Mapa de irradiação solar global inclinada (inclinação igual à latitude local), total anual no Brasil, em kWh/(m²ano).

Fonte: Viana et al. (2010).

3.3 EXPECTATIVAS DE DESENVOLVIMENTO NA ÁREA DE AQUECIMENTO SOLAR NO BRASIL

Conforme pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (DASOL ABRAVA) em 2011, a expectativa de alcançar alguns objetivos para a ampliação no uso de SAS em residências e para melhor agregação de conhecimento do sistema para instaladores e consumidores, depende de:

- Crescimento médio de 20 % a.a. nos próximos 4 anos;
- Garantir disponibilidade no mercado de produtos etiquetados, em vários modelos e, principalmente, de ampliar a rede de fabricantes;
- Capacitar mão de obra de instalação: Rede Procel Solar, SENAI e outros;
- Aprender sobre novos ensaios e critérios de avaliação;
- Desenvolver a indústria e laboratórios para novos testes;
- Definir as variáveis de controle, acompanhamento e ações corretivas;
- Garantir dentro das regras, atendimento adequado às projeções de demanda do mercado, sem impactos negativos de custo ao consumidor.

A Fig. 3.6 mostra o crescimento na utilização de SAS no Brasil entre os anos de 2006 e 2011 de acordo com pesquisa realizada pela ABRAVA (DASOL ABRAVA, 2011). Pode ser notado que o crescimento anual fica em torno de 10%, abaixo da projeção original de 20% ao ano.

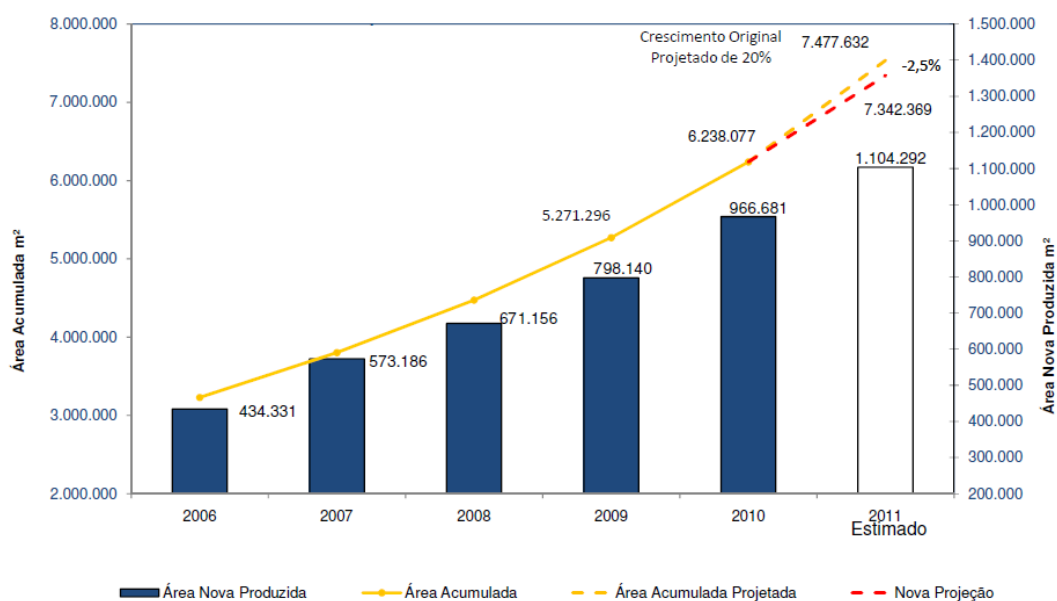


Figura 3.6 - Evolução do mercado de aquecimento solar brasileiro.

Fonte: DASOL ABRAVA (2011).

3.4 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR NO MUNDO

O relatório do *Solar Heating and Cooling Programme* (SHC), sob os auspícios da *International Energy Agency* (IEA), apresenta informações estatísticas e estimativas sobre a utilização da energia solar em 55 países, a partir de informações coletadas de órgãos do governo, especialistas e entidades responsáveis pelo desenvolvimento de energia renovável de cada região (WEISS; MAUTHNER, 2012).

No final do ano de 2010, uma capacidade de 195,8 GWt, correspondente a um total de 297,7 milhões de metros quadrados em área de coletores solares, encontram-se instaladas nestes 55 países, que representam 4,2 bilhões de pessoas e correspondem a 61 % da população do mundo. A capacidade instalada nestes países representa mais de 90 % do mercado de energia solar térmica em todo mundo.

A grande maioria desta capacidade térmica instalada está na China, correspondendo a 117,6 GWt e na Europa, correspondendo a 36,1 GWt, que juntos representam 78,5 % do total instalado. O restante foi dividido entre os Estados Unidos e Canadá, 16 GWt, na Ásia, excluindo a China, 9,4 GWt, na Austrália e Nova Zelândia, 6,0 GWt, na América do Sul e Central, 5,5 GWt em Israel, Jordânia, Líbano, Marrocos e Tunísia, 4,4 GWt e na África 0,8 GWt, conforme mostrado na Fig. 3.7.

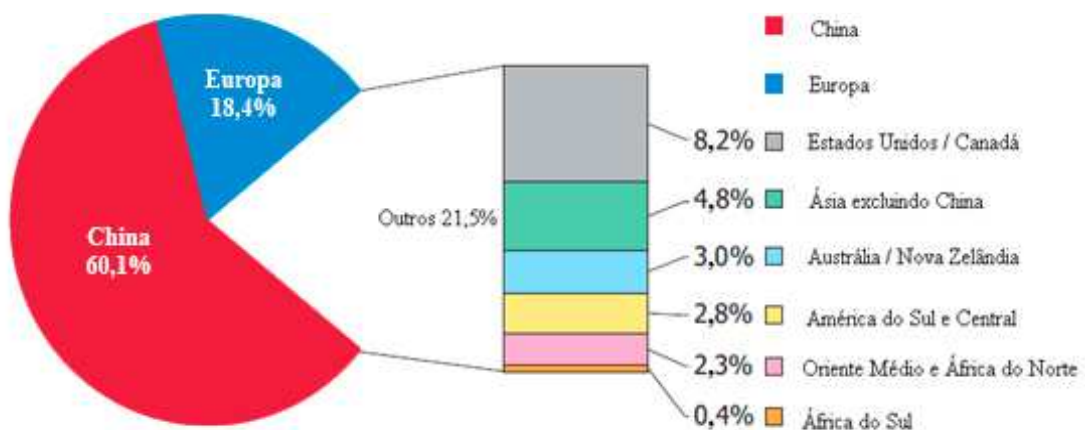


Figura 3.7 - Percentual de coletores instalados nos 55 países analisados.

Fonte: Weiss e Mauthner (2012).

A distribuição da capacidade acumulada em operação por tipo de coletor é 31,7 % de coletores planos com cobertura, 56,6 % de coletores evacuados, 11 % coletores planos sem cobertura e 0,7 % de outros tipos, conforme mostra a Fig. 3.8.

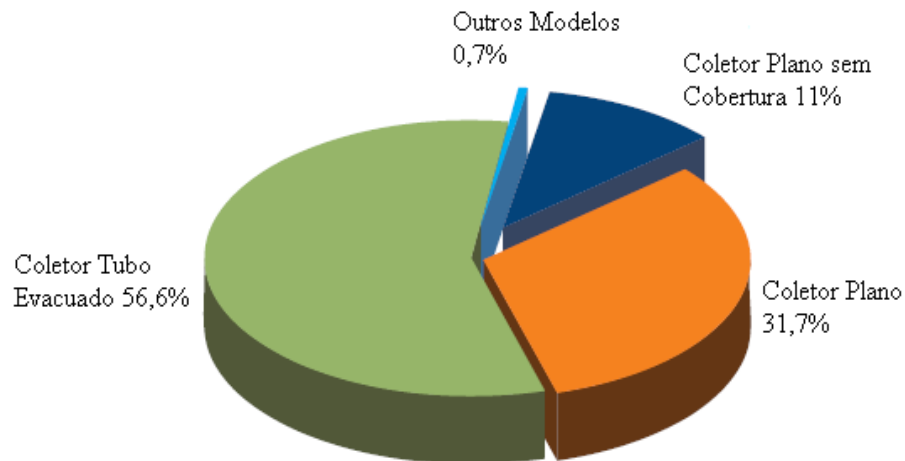


Figura 3.8 - Distribuição dos tipos de coletores instalados.

Fonte: Adaptada de Weiss e Mauthner (2012).

Apenas no ano de 2010, a capacidade térmica instalada foi de 42,2 GWt, correspondente a 60,2 milhões de metros quadrados de coletores solares. Isso significa um aumento em instalações de novos coletores de 13,9 % em relação a 2009.

Os principais locais estavam na China 34,3 GWt e Europa 3,93 GWt, que juntos representam 94,7 % destas novas instalações. Os 5,3 % restantes foram divididos nos demais países.

Dos tipos de coletores instalados apenas em 2010, 17,9 % corresponderiam a coletores planos com cobertura, 77,8 % de coletores evacuados, 4,1 % de planos sem cobertura e 0,2 % de diferentes tipos.

A produção de energia dos SAS em operação no ano de 2010 nos 55 países foi estimada em 162,125 GWh, equivalente a 583,64 TJ. Isso corresponde a uma economia de energia na ordem de 17,3 milhões de toneladas de óleo e uma redução na emissão de 53,1 milhões de toneladas de CO₂.

Os coletores de tubo evacuados são os mais utilizados no mundo, em função de sua ampla utilização na China, sendo o maior mercado e com elevado crescimento para este modelo de coletor (WEISS; MAUTHNER, 2012).

Cerca de 75 % dos sistemas de aquecimento solar instalados operam por meio de termossifão ou circulação natural, e o restante são por circulação forçada ou bombeamento. Do total dos SAS, 85 % são utilizados para aquecer água para uso doméstico, 10 % são utilizados em hotéis, hospitais e escolas e 5 % para outras aplicações, como redes de processos industriais (WEISS; MAUTHNER, 2012).

Em comparação com outras formas de energia renovável, excluindo a geração hidroelétrica, o aquecimento solar contribui para atender a demanda global de energia, perdendo apenas para a energia eólica, como mostrado na Fig. 3.9.

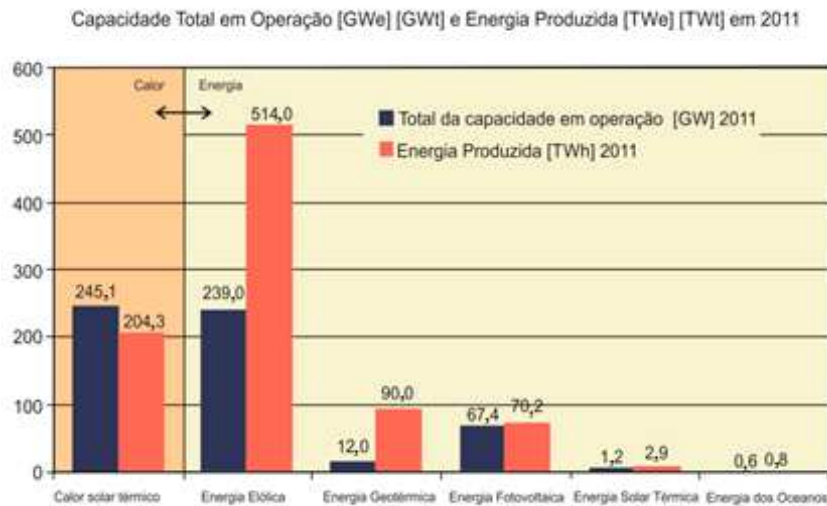


Figura 3.9 - Produção de energia e capacidades instaladas de diversas fontes renováveis.

Fonte: Weiss e Mauthner (2012).

A Fig. 3.10 mostra a capacidade (potência) térmica instalada em 10 países divididos pelos principais tipos de coletores solares utilizados: coletor plano (CP), coletor de tubo evacuado (CTE) e coletor plano sem cobertura (CPSC).

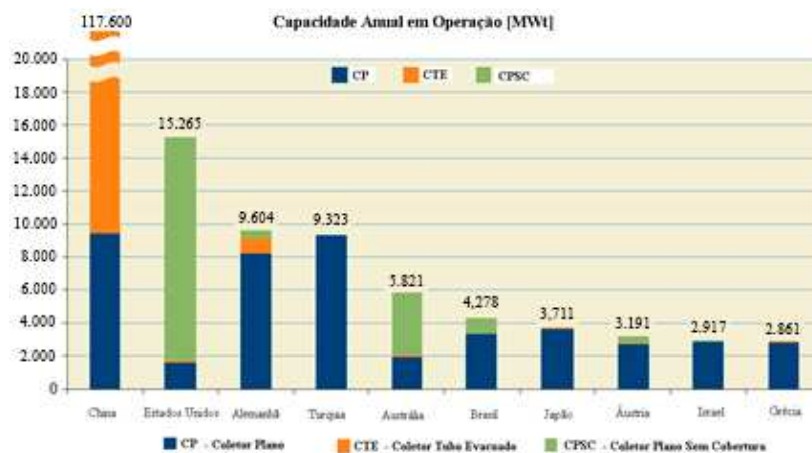


Figura 3.10 - Capacidade de energia térmica em operação.

Fonte: Adaptada Weiss e Mauthner (2012).

O Brasil tem hoje 6 milhões de metros quadrados de área acumulada de coletores solares instalados, o equivalente a 750 campos de futebol, com 4,2 GW_t de potência térmica.

Isso equivale ao dobro da capacidade das Usinas Nucleares Angra I e II somadas. (DASOL ABRAVA, 2011).

Caso esses índices de crescimento se mantenham, a projeção é de que em 2015 sejam instalados 15 milhões de metros quadrados, ou seja, 1,5 vezes o volume atual. A previsão faz parte do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, com base no relatório do Ministério de Minas e Energia intitulado 'Plano de Ação Para Incentivo ao Uso de Aquecimento Solar de Água no Brasil (DASOLABRAVA, 2011).

A China detém mais de 50 % do parque solar instalado no mundo, enquanto que, apesar do crescimento, o Brasil não passa de 7 %. O crescimento da produção de sistemas de aquecimento solar de água na última década foi de, em média, 15 %. Saltou para 18,9 % em 2009 e para 21,1 % em 2010, com 1 milhão de metros quadrados produzidos, empregando 30 mil funcionários (DASOL ABRAVA, 2011).

4 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de aquecimento de água com energia solar é composto basicamente por coletores solares, reservatório para armazenamento de água quente, tubulações e um sistema de aquecimento auxiliar.

Estes sistemas podem ser classificados como direto ou indireto: quando os coletores solares aquecem a própria água que será consumida denomina-se sistema direto. Se o coletor solar aquece um segundo fluido e este transfere o calor para a água que será consumida, denomina-se sistema indireto (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

Os coletores solares são responsáveis pela absorção da radiação solar. A energia proveniente do Sol, captada pelas placas do aquecedor solar, é transferida para o fluido que circula no interior de suas tubulações.

O reservatório térmico é um recipiente para armazenamento da água quente. Geralmente são tanques de aço inox isolados termicamente com poliuretano expandido. Desta forma, a água é conservada aquecida para consumo posterior.

Para garantir o fornecimento de água quente de forma ininterrupta, é necessário um sistema auxiliar de aquecimento para prever situações de baixos níveis de irradiação solar (dias chuvosos). O sistema auxiliar pode ser elétrico ou a gás.

O tipo de circulação da água pelo sistema de aquecimento com energia solar é classificado como passivo (termossifão ou convecção natural), conforme mostrado na Fig. 4.1, e ativo (por bombeamento ou circulação forçada), conforme mostrado na Fig. 4.2.

A circulação de água no SAS passivo ocorre quando o coletor aquece o fluido, neste caso água, de forma a estabelecer uma diferença de massa específica entre a água do fundo do reservatório térmico e do coletor, ocasionando uma direção para o escoamento do fluido. Nesse caso, o reservatório térmico deverá estar localizado acima do coletor, fornecendo a energia potencial necessária e impedindo a circulação reversa, principalmente à noite, quando a temperatura do coletor é inferior à temperatura do reservatório. Este processo ocorre até que haja um equilíbrio na temperatura da água (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

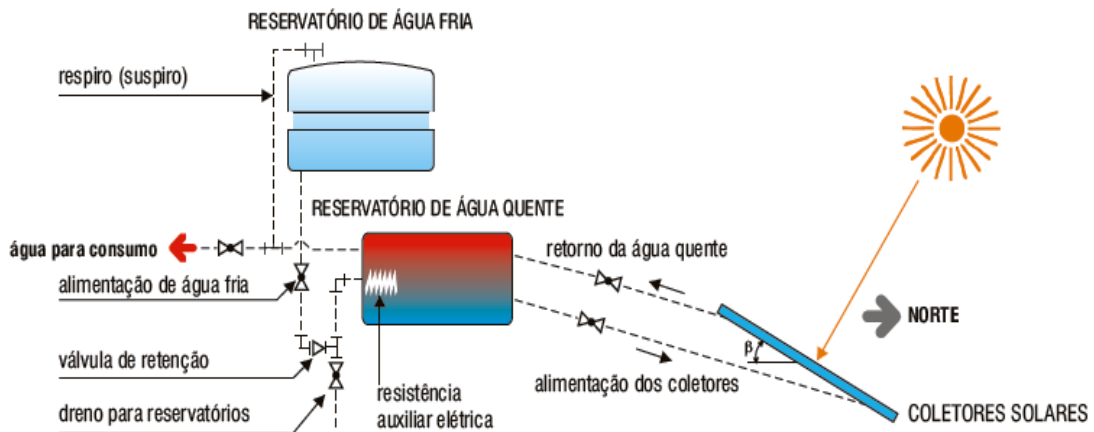


Figura 4.1 - Sistema de aquecimento por termosifão.

Fonte: Prado et al. (2007).

Quando a circulação do fluido de trabalho se faz por uma bomba, o SAS é conhecido por sistema de bombeamento ou circulação forçada, conforme mostrado na Fig. 4.2. A grande vantagem deste sistema é a possibilidade da instalação dos coletores solares em nível superior ao reservatório térmico, o que resolve muitas vezes os problemas de falta de espaço na edificação ou mesmo problemas arquitetônicos (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

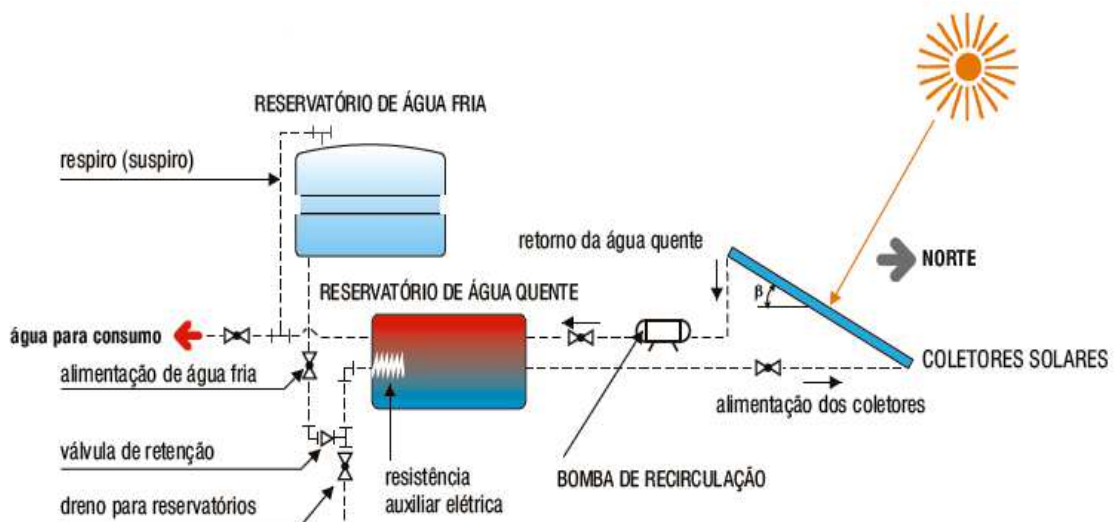


Figura 4.2 - Sistema de aquecimento por bombeamento.

Fonte: Prado et al. (2007).

4.1 COLETORES SOLARES

O coletor solar tem como função receber a radiação emitida pelo Sol e transferi-la, sob forma de calor, ao fluido de trabalho. Quando a radiação solar é absorvida pela superfície

absorvedora, atravessando a cobertura do coletor, geralmente de vidro, ocorre o efeito “estufa”, isto é, o vidro é parcialmente opaco para a radiação no infravermelho, reduzindo as perdas térmicas por radiação e também por convecção para o meio externo. A superfície absorvedora é geralmente fabricada com materiais metálicos, cobre ou alumínio, mas também pode ser feita com outros tipos de materiais, incluindo os poliméricos. Normalmente estas superfícies são pintadas com uma tinta especial e escura para aumentar a absorção da radiação solar (BAPTISTA, 2006; DUFFIE; BECKMAN, 2006).

Desta forma, quando a radiação solar atinge a placa absorvedora esta é parcialmente absorvida e parcialmente refletida. Da absorção da radiação é obtida a energia térmica, que é transferida da placa absorvedora para os tubos ou canais, onde o fluido escoa (HIRSCH; FRIES, 2004).

No caso do aquecimento de água para o banho, onde a temperatura desejada é em média 40 °C no ponto de consumo, coletores planos, conforme mostrado esquematicamente na Fig. 4.3 ou de tubos-evacuados, conforme Fig. 4.4 são satisfatórios. A Fig. 4.3 apresenta um esquema de um coletor solar plano.

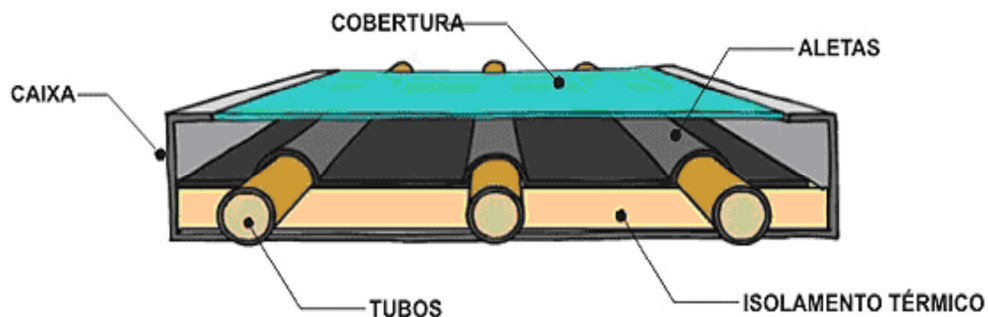


Figura 4.3 - Coletor solar plano.

Fonte: SOLETROL (2012).

Coletores de tubos evacuados utilizam formas diferentes para a extração de calor. As formas mais comuns são: por transferência direta, a utilização de tubos de calor e a tubo em U.

O coletor com característica por transferência direta é o mais utilizado pela sua simplicidade de fabricação, tornando o custo mais baixo.

Os tubos verticais são ligados entre si na parte superior do coletor. A água circula pelo conjunto de tubos e troca calor com água que circula na parte superior do coletor (VIEIRA, 2011). A Fig. 4.4 mostra uma associação de tubos evacuados.



Figura 4.4 - Coletor com tubo evacuado.

Fonte: Coelho (2011).

As principais diferenças entre estes modelos de coletores estão nas perdas térmicas, temperaturas de operação e no custo de aquisição. Os coletores de tubos evacuados apresentam um rendimento térmico médio maior que os coletores planos, operando com temperaturas que podem ser superiores aos 100 °C. Esse rendimento superior é função da minimização das perdas térmicas, uma vez que esses coletores utilizam superfícies absorvedoras com pintura seletiva de baixa emissividade, o que diminui consideravelmente as perdas térmicas por radiação além de reduzir significativamente as perdas térmicas por convecção pelo uso de tubos evacuados. Os coletores planos operam com temperaturas entre 40 a 80 °C e o seu custo no Brasil é ainda muito menor quando comparado ao coletor de tubos evacuados (PASSOS, 2011).

No Brasil, em função de sua condição climática, as perdas térmicas dos coletores planos são relativamente baixas (temperaturas ambientes médias elevadas) quando comparadas a países do hemisfério norte. Desta forma, os coletores planos são mais indicados para o processo de aquecimento de água em domicílios no país, por apresentar melhor relação custo benefício (PASSOS, 2011).

O uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, mas há demanda significativa em outros setores, como edifícios públicos e comerciais, aplicações industriais, hospitais, restaurantes, hotéis e similares.

A eficiência térmica do coletor solar plano é medida pela razão entre a potência térmica transferida para o fluido de trabalho e a irradiação incidente na superfície da placa coletora, por unidade de área, conforme Eq. 4.1:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{G_T A_c} \quad (4.1)$$

onde \dot{Q}_u é a taxa de calor transferida para o fluido de trabalho (taxa de calor útil), G_T é a irradiação solar global incidente na cobertura do coletor e A_c é a área da superfície do coletor.

A taxa de calor transferida para o fluido pode ser calculada de duas maneiras. Na primeira, através do balanço de energia no coletor, no lado do fluido de trabalho, conforme apresentado na Eq. 4.2:

$$\dot{Q}_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (4.2)$$

onde \dot{m} é a vazão mássica do fluido no coletor, C_p o calor específico do fluido à pressão constante, T_o a temperatura na saída do fluido e T_i a sua temperatura na entrada.

Na segunda forma, a taxa de calor transferida para o fluido é determinada através de um balanço de energia no coletor, considerando a energia absorvida pelo coletor e as perdas térmicas para o ambiente. O ganho máximo na taxa de transferência de calor do coletor solar ocorre quando a temperatura de entrada do fluido é igual à temperatura ambiente, minimizando, desta forma, as perdas térmicas para o ambiente, conforme mostrado pela Eq. 4.3.

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (4.3)$$

onde F_R é o fator de remoção de calor do coletor, definido como a razão entre a taxa de energia transferida para o fluido sobre a taxa de energia que chega ao coletor solar, S é a radiação absorvida pela placa do coletor, U_L é o coeficiente global de perda térmica e T_a a temperatura ambiente. O termo F_R equivale à eficiência de um trocador de calor convencional. Tal fator pode ser obtido experimentalmente ou ser estimado analiticamente.

A irradiação solar absorvida pelo coletor é dada pela Eq. 4.4:

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho_g (I_b + I_d) (\tau\alpha)_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (4.4)$$

onde I_b e I_d representam a irradiância direta e difusa, respectivamente, R_b é um fator geométrico representando a relação entre a irradiância direta na superfície inclinada e a irradiância em uma superfície horizontal, $(\tau\alpha)$ é o produto da transmissividade pela absorvidade do conjunto

cobertura e placa absorvedora (os sub-índices desse termo, b e d , representam as frações direta e difusa da radiação solar consideradas para seu cálculo), ρ_g é a refletividade do solo e β é o ângulo de inclinação do coletor em relação a uma superfície horizontal.

A Eq. 4.3 pode ser reescrita na Eq. 4.5, considerando-se as propriedades óticas do coletor solar, conforme o modelo de Hottel-Whillier (1958) e Bliss (1959).

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [G_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] \quad (4.5)$$

Desta forma, a Eq. 4.1 que descreve a eficiência térmica do coletor operando em condições de regime permanente pode ser reescrita conforme a Eq. 4.6:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{G_T A_c} = \frac{F_R [G_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)]}{G_T} \quad (4.6)$$

ou

$$\eta_i = F_R(\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G_T} \quad (4.7)$$

Através do modelo proposto, representado pela Eq. 4.7, pode ser verificado que a eficiência instantânea do coletor solar é caracterizada pela equação de uma reta, onde as duas constantes dessa equação, $F_R(\tau\alpha)$ e $F_R U_L$ podem ser obtidas experimentalmente. A variável independente nessa equação é representada por $\left(\frac{T_i - T_a}{G_T}\right)$. A Fig. 4.5 mostra uma curva de eficiência instantânea para um coletor hipotético.

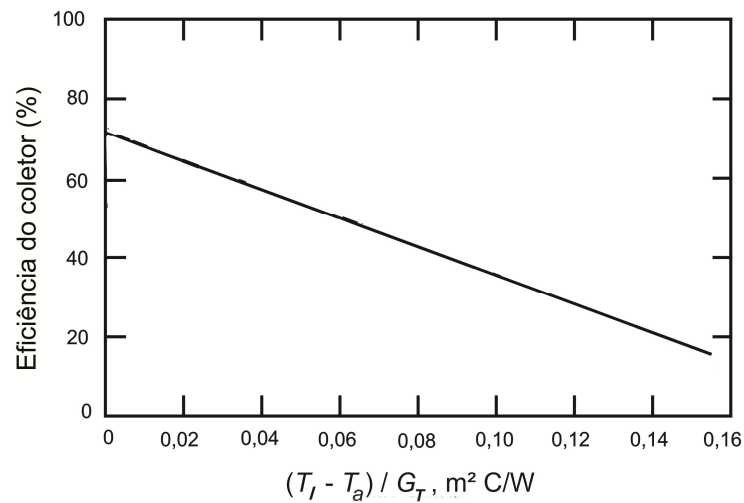


Figura 4.5 - Curva de eficiência dos coletores solares.

Fonte: Adaptada de Duffie e Beckman (2006).

Diversas normas internacionais descrevem os procedimentos experimentais para a obtenção dos pontos de eficiência instantânea de coletores solares, como por exemplo, a ASHRAE/ANSI Standard 93-2003. Pelo procedimento desta norma e utilizando o exemplo da Fig. 4.5, o parâmetro $F_R(\tau\alpha)$ é o ponto da intersecção entre a reta e o eixo y. O parâmetro $F_R U_L$ é a inclinação da reta.

No entanto, conforme pode ser verificado na Fig. 4.6 a curva de eficiência instantânea não pode ser considerada exatamente uma reta, uma vez que as perdas térmicas desses coletores não são processos lineares. Nesse caso, tanto a norma brasileira ABNT NBR 15747-2 de 2009, quanto aquela na qual está embasada, a norma europeia EN 12975-2 de 2006 definem a eficiência instantânea a partir da Eq. 4.8:

$$\eta = \eta_o - a_1 \left(\frac{T_m - T_a}{G_T} \right) - a_2 G_T \left(\frac{T_m - T_a}{G_T} \right)^2 \quad (4.8)$$

onde η_o é a eficiência ótica do coletor, quando $(T_m - T_a)/G_T$ for igual a zero e a_1 e a_2 são os parâmetros de ajuste estatístico dos pontos experimentais para um curva de segunda ordem. Nesta equação, o termo entre parênteses é chamado de temperatura média reduzida e T_m é a temperatura média do fluido, entre a saída e a entrada do coletor.

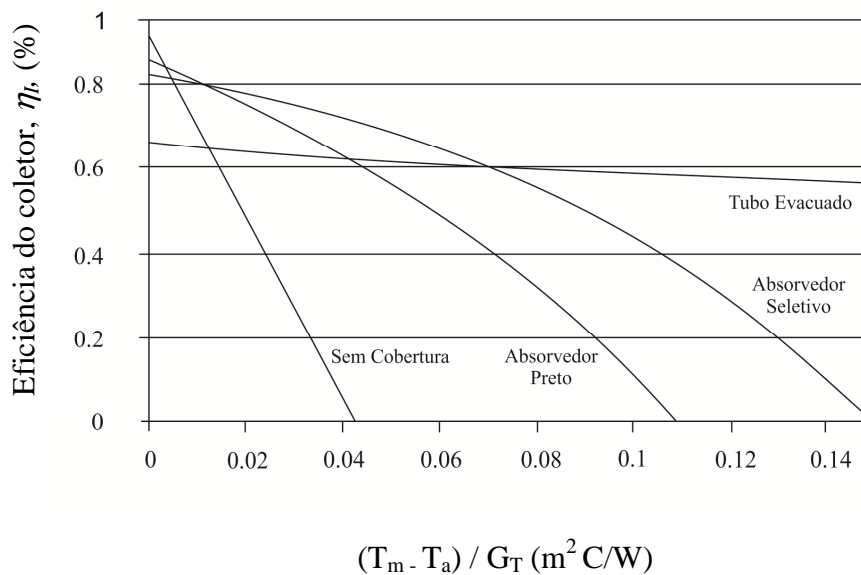


Figura 4.6 - Curva de eficiência dos coletores solares.

Fonte: Adaptada de Duffie e Beckman (2006).

A área de coletores solares a serem usados numa instalação depende das características da demanda e do tamanho do reservatório térmico. Também pode variar conforme o índice de insolação de uma região ou de acordo com as condições de instalação (CARVALHO, 2008).

O ângulo de inclinação do coletor em relação à horizontal, β , depende do tipo de aplicação. Para sistemas de aquecimento de água de uso doméstico, utiliza-se como referência a latitude do local, acrescida de 10 a 15°. Esse aumento dado ao ângulo da latitude permite uma maior geração de energia térmica no inverno, que é a condição mais crítica.

4.2 LIGAÇÕES DE COLETORES EM SÉRIE E PARALELO

Os coletores são instalados na maioria dos casos em grupos, formando um banco de coletores. A área de abrangência é a soma de todos os coletores que compõem o conjunto. A eficiência equivalente é calculada pela composição do que cada coletor produz, dependendo do tipo de ligação e do fluxo desenvolvido.

O banco de coletores pode ser ligado em série, paralelo ou através da combinação de ambos os tipos de ligações. Independente da forma de conexão, o equilíbrio hidráulico deve ser garantido (DEUMAN, 2011).

As características de uma associação em série são:

- Menor desempenho global do coletor;
- Aumento da perda de pressão;
- Temperatura de saída mais elevada.

A Fig. 4.7 mostra uma ligação em série de coletores.

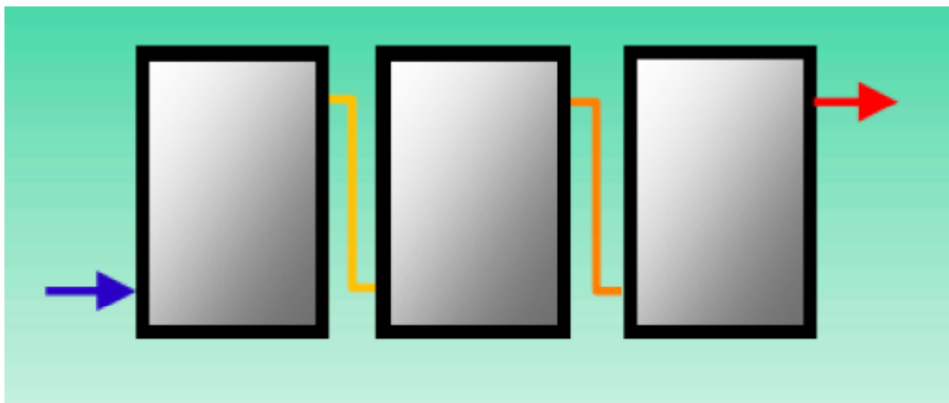


Figura 4.7 - Coletores instalados em série.

Fonte: Deuman (2011).

As características de uma associação em paralelo são:

- Alto desempenho;
- Diminuição na perda de pressão;

A Fig. 4.8 mostra uma ligação em paralelo de coletores.

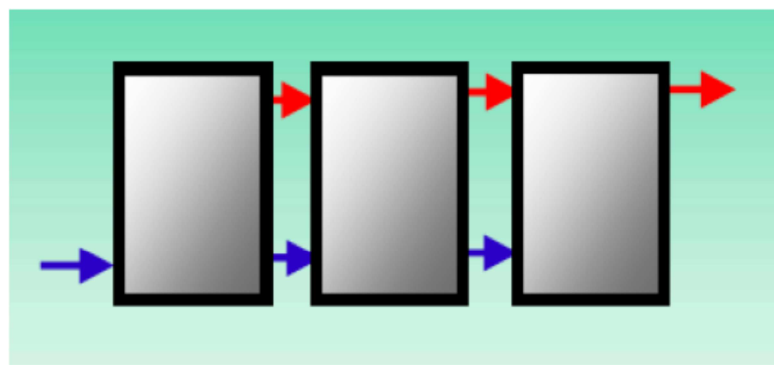


Figura 4.8 - Coletores instalados em paralelo.

Fonte: Deuman (2011).

A escolha do tipo de arranjo depende basicamente do número de coletores solares que serão conectados. Para instalações pequenas, geralmente utilizam-se arranjos em paralelo.

4.3 RESERVATÓRIO TÉRMICO

A variação da radiação solar entre dias ensolarados e nublados, períodos de chuva ou de baixa insolação, provoca um desequilíbrio entre o período de produção de água quente pelos coletores solares e o seu uso. O reservatório térmico, mostrado na Fig. 4.9, faz a compensação entre a produção e o uso da água quente e deve responder, no mínimo, às exigências impostas a todos os reservatórios de água quente (PRADO et al., 2007).

Com relação aos tipos de reservatórios térmicos, estes podem ser horizontais ou verticais e podem operar a alta ou baixa pressão. Podem funcionar em desnível ou em nível com a caixa de água fria. Para a fabricação dos reservatórios, utiliza-se, preferencialmente, aço inoxidável.

Outro importante ponto a ser observado é a qualidade do isolamento térmico que reveste o reservatório. A espessura do isolamento deve ser projetada de modo que as perdas térmicas para o meio sejam as menores possíveis.

Segundo Duffie e Beckman (2006), o desempenho térmico anual do SAS é relativamente insensível à capacidade do reservatório de água quente, desde que sua capacidade seja maior que 50 L de água por área unitária de coletores solares. Quando se considera os custos de armazenamento, a faixa ótima de capacidade desses reservatórios situa-se entre 50 a 200 L por área unitária de coletores solares, sendo usual utilizar-se como referência o valor de 75 L/m².

Faixas de capacidade de armazenamento também são definidas por Hirsch e Fries (2004) que recomendam que o reservatório térmico deva ter capacidade de 1,5 a 2 vezes a quantidade de água quente diária utilizada. Reservatórios térmicos de elevada capacidade de armazenamento poderão aumentar a frequência de utilização do sistema de energia auxiliar, aumentando consideravelmente os custos de operação do sistema. Na Fig. 4.9 mostra-se um modelo de reservatório térmico.



Figura 4.9 - Reservatório Térmico

Fonte: SOLETROL (2012).

4.3.1 Estratificação nos Reservatórios Térmicos

A estratificação da água armazenada no reservatório consiste na formação de camadas ou estratos de água com diferentes temperaturas e acontece, particularmente, em sistemas operando com circulação natural, em baixas vazões. A água mais quente tende a ocupar a parte superior do reservatório enquanto a água fria, mais densa, ocupa a parte inferior.

A estratificação melhora o desempenho do SAS, ao contrário do que acontece em sistemas com circulação forçada, onde há uma tendência de uniformização da temperatura da água no reservatório, possibilitando que o fluido de trabalho entre no coletor a uma menor temperatura. O posicionamento do reservatório na posição vertical beneficia a estratificação, porém, nem sempre é possível devido a limitações do projeto da edificação, devendo-se adotar então a posição horizontal (COELHO, 2011).

Durante a operação do sistema, em função da variação da massa específica com relação a temperatura, o armazenamento de água quente no reservatório pode apresentar um modelo de estratificação significativo, com temperatura no topo mais elevada que a temperatura no fundo. Para simular esse efeito foram desenvolvidos alguns modelos, divididos em duas categorias, chamados de múltiplos nós e *plug-flow*. A escolha de qual modelo utilizar depende das condições práticas em que o reservatório funcionará. Em casos em que há um grau de estratificação mais elevado, o modelo *plug-flow* é mais utilizado (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

No modelo de múltiplos nós, a abordagem é feita dividindo o reservatório em N seções ou nós e é feito um balanço de energia entre cada seção consecutiva. Assim, o resultado é um conjunto de N equações diferenciais que podem ser resolvidas para as temperaturas de cada nó, em função do tempo. Esse modelo é utilizado onde o grau de estratificação é menor, ocasionado pela menor diferença de temperatura.

O modelo de múltiplos nós considera que as vazões de entrada se distribuem em apenas um segmento e que neste ocorre uma mistura total. Não considera a tendência de desestratificação com o tempo devido à difusão e condução do calor pelas paredes do reservatório (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

Na segunda categoria, chamada *plug-flow*, as várias seções se movem: quando uma seção na entrada ou na saída se move, ocorre igual deslocamento, em volume, nas demais seções (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

O ponto no qual o fluido com maior temperatura é determinado para entrar no tanque pode estar a uma posição fixa ou a uma posição variável. Se o fluido é considerado para entrar numa posição fixa, pode ser necessário combinar nós acima ou abaixo da entrada para evitar inversões de temperatura. Se a entrada é considerada como numa posição variável, uma posição é selecionada de modo a evitar inversões de temperatura (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

À medida que um determinado volume de fluido esteja sendo retirado para o consumo, no mesmo instante o mesmo volume é adicionado, vindo da rede de abastecimento, até completar o volume do reservatório, sendo armazenado no fundo do mesmo. Assim os segmentos que se encontram acima desse novo volume de fluido tendem a mover-se no sentido do topo em quantidade equivalente a que foi consumida.

O modelo de estratificação no reservatório térmico adotado no presente trabalho é o *plug-flow* e baseia-se na hipótese de que os segmentos do fluido no interior do reservatório possuem tamanhos variáveis, conforme mostrado na Fig. 4.10. Neste exemplo, o reservatório é inicialmente representado por 3 segmentos de fluido.

O primeiro passo da análise é para registrar a mudança de temperatura de cada segmento do tanque devido à perda de calor para o próprio tanque e a condução de calor entre os segmentos. O ganho de energia é calculado considerando uma temperatura constante do fluido de volume $V_h = \dot{m}\Delta t/\rho$ que entra no reservatório durante um intervalo de tempo Δt .

No segundo passo, o fluido de volume V_h e temperatura T_h é inserido no reservatório na proveniente do coletor solar. Esta porção de fluido se instala na parte superior do reservatório. Segmentos que se encontram abaixo desse ponto movem-se para baixo do reservatório em uma quantidade de fluido igual ao que circulou no coletor durante o intervalo de tempo.

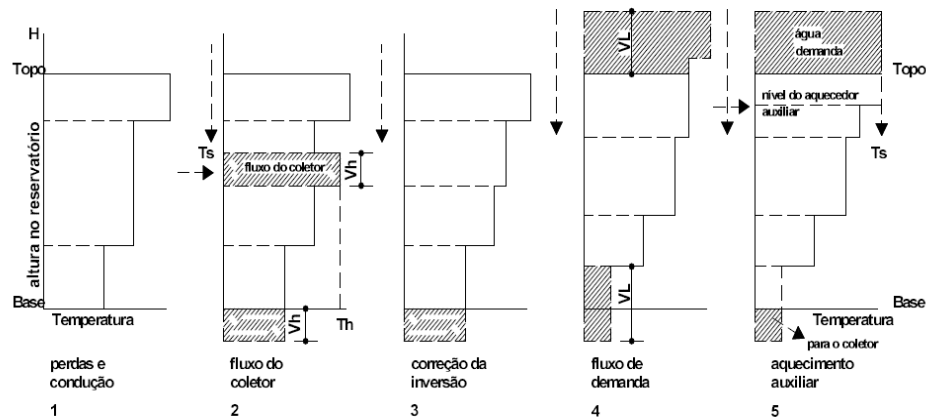


Figura 4.10 - Sequência da solução algébrica para reservatório térmico

Fonte: Morrison e Braun (1985).

No terceiro passo, se o processo produz uma inversão de temperatura, o novo segmento de fluido é misturado com os segmentos abaixo e acima do mesmo até que a inversão térmica tenha sido removida.

No quarto passo, o fluxo do fluido para o consumo é considerado um novo segmento de volume $V_L = \dot{m}\Delta t / \rho$ na temperatura T_L de reposição. Esse volume é adicionado à base do reservatório. Com isso, os segmentos que se encontram acima dessa nova porção de fluido movem-se no sentido do topo, em uma quantidade equivalente aquela que foi consumida. Sendo assim, o deslocamento total do fluido no reservatório na parte superior do reservatório é igual ao volume para consumo V_L e na parte inferior é igual à diferença entre os volumes do coletor e de consumo ($V_h - V_L$).

No quinto passo, considera-se a atividade do aquecedor auxiliar interno. Caso o aquecimento auxiliar precise ser acionado, avalia-se a potência energética do dispositivo e então os segmentos acima do aquecedor auxiliar são aquecidos até atingir a temperatura desejada.

Após os procedimentos serem realizados, um novo perfil de temperatura e volume é estabelecido no reservatório e todo o processo é repetido. Segmentos e frações de segmentos no novo perfil do reservatório térmico que se encontram fora dos limites do reservatório são enviados para o topo (demanda) e para a base (coletor). A temperatura média do fluido entregue à demanda é descrita na Eq. 4.9.

$$T_D = \frac{(V_h T_h + c T_K V_K) + \sum_{j=1}^{k-1} T_j V_j}{V_L} \quad (4.9)$$

onde j é a separação entre o centro dos segmentos, c e k são, respectivamente, a fração do segmento do fluido e o segmento que está dividido pelo limite superior ou inferior do reservatório e devem satisfazer as seguintes condições:

$$0 \leq c < 1 \quad (4.10)$$

$$V_L - V_h = c V_k + \sum_{j=1}^{k-1} V_k \quad (4.11)$$

A Eq. 4.12 representa a temperatura média do fluido que retorna ao coletor:

$$T_R = \frac{(V_L T_L + c T_K V_K) + \sum_{J=k+1}^{Nr} T_K V_K}{V_h} \quad (4.12)$$

onde as seguintes condições devem ser satisfeitas:

$$0 \leq c < 1 \quad (4.13)$$

$$V_h - V_L = c V_K + \sum_{j=k+1}^{Nr} V_k \quad (4.14)$$

onde Nr é o número de segmentos no reservatório.

A principal vantagem desse modelo é que pequenos segmentos de fluido são acrescentados quando a estratificação está se formando, enquanto que regiões com temperatura uniforme como acima do aquecedor auxiliar é representada por grandes segmentos de fluido. A variação do volume dos segmentos que representam a estratificação da temperatura no reservatório varia com a taxa de fluxo do coletor. Se a taxa de fluxo do coletor é alta, haverá pouca estratificação no volume do pré-aquecimento do tanque e o modelo algébrico irá produzir poucos segmentos. Mas, se a taxa de fluxo é baixa e o tanque está estratificado, pequenos segmentos serão

gerados. O volume dos segmentos diminuirá com a redução do tempo de passo da simulação. Para evitar a geração de muitos segmentos, são misturados segmentos adjacentes se possuírem diferença de temperatura inferior a 0,5 °C.

4.4 FONTE DE ENERGIA AUXILIAR

O sistema auxiliar de energia tem a função de complementar o aquecimento solar em períodos de baixa insolação ou consumo excessivo, mantendo a temperatura da água para consumo no valor definido pelo usuário.

Pode ser elétrico, a gás ou mesmo através da energia térmica gerada por uma bomba de calor ligada em série. O aquecimento auxiliar pode ser localizado internamente ao reservatório ou externamente. Quando externo, pode ser de acumulação ou de passagem, sendo, neste caso, o de passagem o mais usual (MOTTA, 2005).

As formas mais utilizadas de acoplamento da fonte auxiliar de energia no SAS, conforme Duffie e Beckman (2006) são apresentadas na Fig. 4.11. Segundo Treis (1991), a escolha da melhor opção deve ser avaliada de acordo com as condições de operação do sistema.

Na opção A, uma resistência elétrica é inserida no interior do reservatório, mantendo a temperatura na parte superior igual à requerida pelo consumo. Tem como vantagem utilizar a energia acumulada nas seções inferiores à resistência elétrica. As resistências elétricas podem ser acionadas manualmente ou de forma automática com o uso de um termostato (COELHO, 2011).

Na opção B, um aquecedor de passagem é colocado entre o reservatório térmico e o consumo. Desta forma, o sistema aproveita toda energia acumulada no interior do reservatório.

Na opção C, o sistema auxiliar está em paralelo com o reservatório térmico adicionando energia diretamente para a água que vem da rede de alimentação, sempre que a energia auxiliar seja necessária. A desvantagem desse método é que tanto a água aquecida no SAS como a água aquecida no sistema auxiliar de energia deverão ter a temperatura acima do *set point* definido pelo usuário, de forma que a mistura das duas correntes de água forneçam a temperatura definida pelo *set point*.

O sistema auxiliar elétrico, devido ao seu baixo investimento inicial e a disponibilidade de eletricidade, é o mais difundido no mercado brasileiro. Quando externos (opção B ou C), o aquecimento elétrico de passagem é o mais utilizado. Na opção B, o aquecedor de passagem poderá ser inclusive, um chuveiro eletrônico com controle de potência, opção muito difundida em instalações de baixa renda.

O chuveiro eletrônico é modelado para quando necessário, adicionar calor ao fluxo de água consumida, em uma taxa menor ou igual à potência máxima pré-definida para o dispositivo, de modo a atingir a temperatura desejada.

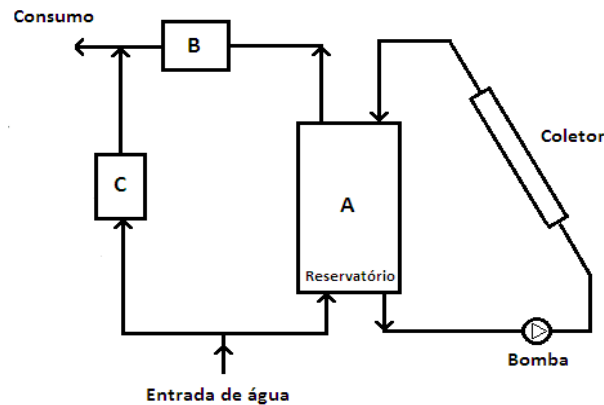


Figura 4.11 - Localização da fonte de energia auxiliar em um SAS.

Fonte: Adaptada de Treis(1991).

4.5 PROBLEMAS MAIS COMUNS ENCONTRADOS NOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

As falhas que ocorrem durante o funcionamento do SAS se referem na maioria das vezes ao projeto mal dimensionado, materiais utilizados e capacitação dos instaladores.

Conforme Deuman (2009), dois estudos foram realizados para avaliar o desempenho de funcionamento de alguns SAS, baseados em entrevistas realizadas em empresas responsáveis pelas inspeções de SAS.

O primeiro estudo foi baseado na análise de informações obtidas em 125 SAS instalados na Holanda com diferentes modelos, apresentando os seguintes resultados:

- A média de consumo de água por residência foi de 86 litros por dia, representando 25 litros por pessoa, com a temperatura da água de 60 °C;
- O rendimento dos coletores diminuiu em 10 % ao longo de 30 anos, mas mesmo assim, a disponibilidade de água quente não foi prejudicada substancialmente;
- Sessenta SAS apresentaram falhas no sistema de bombeamento de água, devido a um mau funcionamento nas bombas e sete apresentaram problemas em tubulações, não operando em perfeito estado.

O segundo estudo, realizado também na Holanda no início de 2001, apresentou um inventário dos sistemas instalados, com base em informações de 113 SAS que operaram entre 1997 e 2000 para verificar o percentual das instalações que ainda estavam em funcionamento.

Como mostrado na Fig. 4.12, um número significativo de SAS apresentaram problemas de funcionamento no decorrer dos anos. No entanto, é importante salientar que algumas destas instalações estavam em caráter experimental. Neste sentido, foi estimado que 17 % dos SAS instalados há mais de 20 anos deixaram de funcionar por diversos defeitos (DEUMAN, 2009).

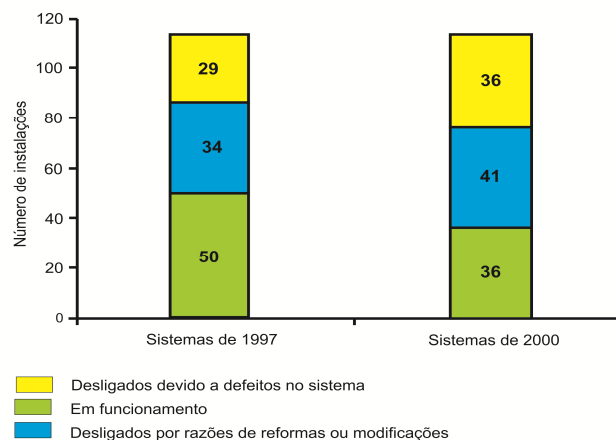


Figura 4.12 - Demonstrativo de SAS em operação ou desligados, conforme estudos realizados na Holanda.
Fonte: Deuman (2009).

Na análise da bibliografia, observou-se que na última década, no Brasil e no mundo, inúmeros trabalhos científicos envolvendo pesquisas práticas e por métodos de simulação utilizando SAS ativos e passivos foram realizados com o intuito de promover o conhecimento de suas funcionalidades e benefícios para o uso doméstico. Neste contexto, no Brasil, onde os chuveiros elétricos são largamente utilizados para aquecimento de água para banho, resultando em um elevado pico de demanda de energia elétrica no horário de ponta, os SAS podem contribuir para minimizar esse efeito, principalmente em residências de baixa renda.

5 METODOLOGIA DE TRABALHO

Neste trabalho será realizada uma avaliação dos impactos gerados pela utilização da energia solar térmica sobre o consumo de energia elétrica para aquecimento de água para banho, tanto do ponto de vista do usuário como da concessionária. O trabalho será focado principalmente em usuários de baixa renda. Foi utilizada como premissa a instalação massiva de SAS de baixo custo em um bairro residencial de grande porte na região metropolitana de Porto Alegre.

A escolha do SAS de baixo custo foi baseada nos padrões utilizados na maioria dos projetos descritos no Cap. 2, onde o sistema foi financiado ou doado através de programas governamentais. O sistema escolhido para as simulações é composto de um coletor solar de placa plana fechado, com área de 1,73 m², associado a um reservatório térmico de 200 L, em uma configuração chamada de sistema integrado, operando em termossifão.

A região do estudo, o Conjunto Habitacional Guajuviras, conforme mostrado na Fig. 5.1 é um bairro da cidade de Canoas, RS, que se localiza na parte nordeste da cidade, sendo atendido pela concessionária de energia elétrica AES Sul.



Figura 5.1 - Bairro Guajuviras em Canoas - RS

Fonte: Bairro Guajuviras... (2013).

Este local foi ocupado no dia 17 de abril de 1987 e é uma das mais conhecidas invasões de terras do sul do Brasil. Lá residem cerca de 30 mil pessoas em aproximadamente 6.000 mil moradias (casas e blocos de 4 andares). Conforme dados divulgados pela Prefeitura Municipal de Canoas (PMC, 2012), o bairro apresenta 5 habitantes por domicílio, em média e uma renda média, per capita, de R\$ 419,00.

A produção de energia térmica pelos SAS foi estimada a partir de simulações realizadas com o software TRNSYS (*Transient System Simulation Program*), V.17 (KEILHOLZ, 2010). O sistema de aquecimento solar utilizado como referência, operando com circulação natural (termossifão) é da marca TRANSSEN, modelo Itapuã V1.7, cujas principais características estão mostradas na Tab. 5.1. Os demais parâmetros operacionais utilizados nas simulações estão no Anexo A.

Tabela 5.1 - Características principais do SAS utilizado na simulação.

A_c, m^2	1,76
$F_R (\tau\alpha)_n$	0,709
$F_R U_L, KJ / (m^2 hK)$	6,443
$\eta, \%$	54,8
$\beta, ^\circ$	$\phi + 15^\circ$
Volume do reservatório térmico, L	200
UA do reservatório térmico, $KJ / (hK)$	3,8
Posição do reservatório	Horizontal
H_c - distância entre saída e entrada do coletor, m	1,20
H_r - altura do retorno do coletor no reservatório, m	0,62
H_t - altura do tanque, m	0,69
H_o - distância entre a saída do reservatório e entrada do coletor, m	1,80

O esquema com as dimensões principais do SAS utilizado na simulação é apresentado na Fig. 5.2, utilizando as informações da Tab. 5.1.

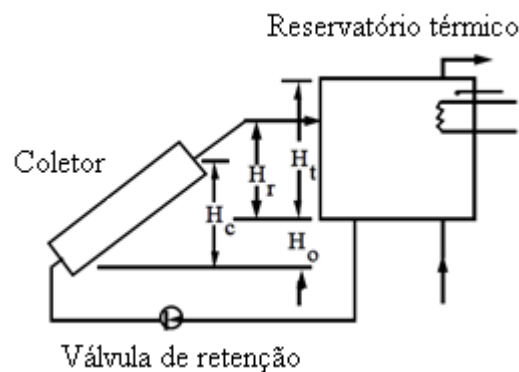


Figura 5.2 - Esquema utilizado para a simulação do sistema de aquecimento solar.

Fonte: Keilholz (2010)

O perfil de consumo de energia elétrica para aquecimento de água para banho foi baseado nas pesquisas realizadas pelo Procel (Eletrobrás Procel, 1988 e Eletrobrás Procel, 2007) que encontraram como valores típicos as curvas mostradas na Fig. 5.3.

Nesta figura estão representados os perfis de consumo para um dia típico em 1988 e para a pesquisa realizada em 2005. Fica evidente que a maior demanda ocorre no horário de pico, entre as 18 e 20 h. Pode-se notar também que houve uma mudança acentuada no perfil nesse período, acentuando-se o uso do chuveiro elétrico durante o início do dia. Foi mostrado nessa pesquisa que há pelo menos uma pessoa utilizando o chuveiro elétrico em 31% dos domicílios entre as 6 e 8 h da manhã.

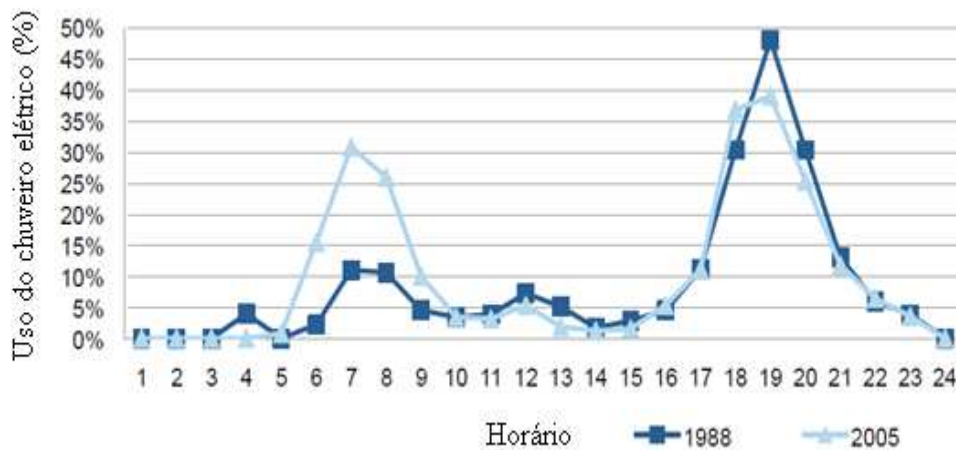


Figura 5.3 - Curva característica de carga para o consumo de energia elétrica para aquecimento de água para banho, em um dia típico.

Fonte: ELETROBRÁS (1988) e PROCEL (2007).

A quantidade de água quente consumida por pessoa, em apartamentos e residências de baixa renda varia de acordo com a localização geográfica, clima, renda e tipo de instalação. Em países onde há necessidade de aquecimento de ambiente, a água quente produzida por um único sistema pode ser aplicada para esse fim e para o banho (PRADO; GONÇALVES, 1998).

O consumo de água quente durante o banho também vem sendo motivo de pesquisas, principalmente devido à necessidade de ações para promover o uso consciente da água. Na Tab. 5.2 são apresentados alguns valores obtidos em diversos estudos relacionados. Pode ser verificada a grande variabilidade apresentada entre as diversas fontes, decorrentes de hábitos de uso e também condições climáticas dos locais.

Tabela 5.2 - Valores para o consumo de água quente por pessoa, obtidos em diversas referências.

Referência	Consumo de água quente por pessoa, L/dia
Ilha et al. ^a (1994)	60
Ilha et al. ^b (1994)	36
Vine et al. (1987) ^c	100
Meyer e Tshimankinda (1998)	44
DeOreo e Mayer (2000)	23,8
Prado e Gonçalves (1998)	45
Feitosa e Filho (2009)	30

^a Apartamento; ^b Casa rural; ^c Considerando chuveiro, banheira e pia

Estudos realizados no Brasil (Eletrobrás Procel, 2007) mostraram que o tempo médio de banho é em torno de 10 min/pessoa. Considerando os diversos modelos de chuveiros elétricos disponíveis no mercado nacional, mostrados no Anexo B, pode notar-se que as vazões variam entre 3 a 4 L/min. Considerando essas informações e as mostradas na Tab. 5.2, utilizou-se como referência para esse estudo um consumo de água quente médio de 40 L/pessoa. Considerando 5 banhos/dia por residência (considerando o número de habitantes por moradia para o local de estudo), a demanda diária de água quente foi estipulada como 200 L/dia. A temperatura da água para banho estabelecida como referência neste trabalho foi de 40 °C.

Para a simulação foram utilizados os dados climáticos da cidade de Porto Alegre, medidos pelo 8º Distrito de Meteorologia, pertencente ao INMET, uma vez que não existe estação climatológica na cidade de Canoas e também pela proximidade entre ambas. Os dados receberam tratamento prévio e foi construído um ano meteorológico típico de acordo com o padrão TMY 3, a partir de uma base de aproximadamente 11 anos (SOUZA, 2013; WILCOX; MARION, 2008).

A Fig. 5.4 apresenta a variação da temperatura média mensal da água na estação de tratamento, situada na cidade de Sapucaia do Sul, próxima da cidade de Canoas. A temperatura média anual é de aproximadamente 21 °C. Para as simulações feitas nesse trabalho, foi utilizada a temperatura 17 °C para a condição da água na entrada do reservatório térmico, valor médio para os meses de inverno. Essa escolha define uma opção conservativa para a análise do desempenho térmico do sistema de aquecimento de água.

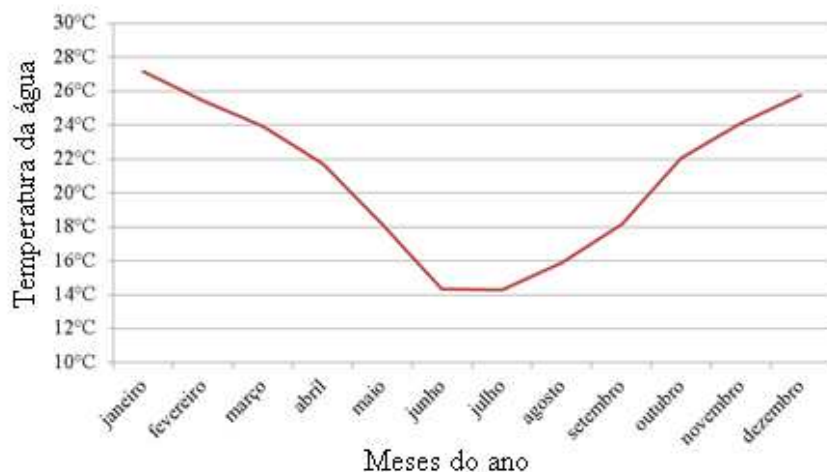


Figura 5.4 – Perfil de temperatura da água na estação de tratamento, na cidade de Sapucaia do Sul, ao longo do ano.

Fonte: DMAE (2013).

5.1 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

As simulações computacionais têm sido largamente utilizadas para descrever o comportamento em diferentes possibilidades de aplicações, permitindo uma rápida visualização dos resultados que possam ocorrer quando há alterações em variáveis afetando o sistema em desenvolvimento.

A simulação pode antecipar o comportamento de experimentos em curto espaço de tempo sem proporcionar nenhum risco ao sistema, diferentemente de um experimento em laboratório, que pode durar dias ou meses e pode demandar um alto custo financeiro.

Os programas de simulação têm sido divididos em duas categorias: a primeira refere-se aos propósitos especiais, programas que representam o desempenho de tipos específicos de sistemas e nestes programas, as equações para os componentes são combinações algébricas, geralmente mais fáceis, mas não flexíveis na simulação. Programas da segunda categoria, de propósitos gerais, são mais flexíveis e podem ser usados num espectro maior de sistemas onde as equações representam os componentes dos sistemas (coletores, reservatórios, bombas e demais componentes) (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

Na prática pode ser mais fácil ter informações pela simulação ao invés do experimento. Outro fator importante da simulação é a possibilidade de simular condições climáticas extremas (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

A confiabilidade dos programas de simulação dos SAS vem dos seus resultados serem muito próximos aos resultados em experimentos laboratoriais. Estes programas evoluem com

sua utilização e com isso a fidelidade nos resultados será obtida após determinado tempo de uso.

O software utilizado neste trabalho para a simulação do SAS é o TRNSYS versão 17. Este programa está disponível comercialmente desde 1975. Originalmente desenvolvido para sistemas térmicos solares, atualmente é usado em simulações de quaisquer sistemas térmicos.

O TRNSYS é um programa com estrutura modular, onde todos os componentes dos sistemas estão separados individualmente e disponíveis de maneira organizada na biblioteca padrão do programa (KEILHOLZ, 2010).

Cada componente é modelado através de equações matemáticas que descrevem seu comportamento físico, como por exemplo, módulos que calculam a radiação solar sobre superfícies inclinadas utilizando os diversos modelos de estimativa de radiação.

O TRNSYS apresenta uma biblioteca pré-definida de componentes, denominados *Types*, para a elaboração de diversos projetos.

Os componentes devem ser selecionados da biblioteca, alimentados com valores de entrada e são ligados através de conexões nos quais os dados de saída de um componente se tornam os dados de entrada de outro, de modo que seja garantido um fluxo de informações entre eles.

A técnica de simulação modular, utilizada pelo programa, reduz a complexidade da simulação do sistema uma vez que representa um grande problema através de vários problemas menores, que podem ser resolvidos de forma mais simples. Além disso, a sua modularidade garante ainda mais flexibilidade, permitindo que seja montada qualquer configuração desejada do sistema. (KEILHOLZ, 2010).

Os resultados das simulações utilizando o TRNSYS foram comparados com dados experimentais para diversas configurações de SAS e disponíveis na literatura. Por exemplo, Passos (2011), analisou e validou seis estudos realizados no Brasil, relacionados ao aquecimento solar de água para banho utilizando sistemas por termossifão. Abreu (2000) analisou o desempenho de três diferentes configurações de SAS na cidade de Florianópolis-SC, considerando a fração solar como critério de análise. Lourenço (2000) analisou a economia de energia, em Porto Alegre-RS, utilizando gás como energia auxiliar. Salazar (2004) validou em experimento realizado no LABSOLAR-UFSC, o modelo computacional do SAS acoplado, disponível no software TRNSYS, com o intuito de aumentar a confiabilidade do sistema.

Outro estudo similar foi realizado por Ayompe et al. (2011) que validou os experimentos de sistemas utilizando coletores planos e evacuados por circulação forçada na Europa. Os sistemas foram equipados com uma unidade automatizada que controlava os

coletores e o perfil da demanda de água quente para simular o uso de água quente em uma habitação doméstica europeia típica.

Nesse trabalho, utilizando a configuração descrita anteriormente, foram definidos os modelos de simulação a serem utilizados, as condições de entrada e saída de cada componente e as variáveis necessárias para o estudo. A simulação do SAS foi realizada em intervalo horário, conforme a disponibilidade dos dados climáticos. Como sistema de aquecimento auxiliar foi utilizado um aquecedor de passagem simulando um chuveiro elétrico, desabilitando dessa forma o aquecimento interno do reservatório de água quente.

5.1.1 Simulação do Sistema de Aquecimento de Água









O primeiro passo para a montagem de um sistema de simulação é a escolha dos componentes na biblioteca. Há vários componentes disponíveis em uma lista para diferentes tipos de sistemas. No processamento da simulação estes componentes são executados por sub-rotinas escritas em Fortran, com código aberto, sendo possível que novos componentes sejam criados e incluídos na biblioteca.

Os componentes necessários para as simulações de SAS destinados ao aquecimento exclusivo de água para banho, realizadas neste trabalho, estão disponíveis na biblioteca padrão do programa. Estes componentes são apresentados na Tab. 5.3 e descritos na continuação:

Type 99 – Leitor e processador de dados climáticos. Este componente atende o propósito principal de leitura dos dados meteorológicos, a partir de um arquivo externo de entrada com dados meteorológicos organizados em um intervalo de tempo e o processamento destes dados afim de fornecer a quantidade de radiação solar incidente na superfície do coletor;

Type 45 – Sistema termossifão coletor-reservatório. O sistema é composto por um coletor solar de placa plana, um tanque de armazenamento estratificado localizado acima do coletor, uma válvula de retenção para evitar o fluxo reverso e água como fluido de trabalho. O sistema é analisado através da divisão do ciclo termossifão num número de segmentos normais à direção do fluxo. A taxa de fluxo é obtida pela solução numérica do conjunto de equações resultante. A estratificação no reservatório térmico é caracterizada usando o modelo *plug flow*;

Tabela 5.3 - Componentes do programa TRNSYS utilizados na simulação dos sistemas.

Subrotina	Componente
	Type 99 - Leitor e processador de dados de radiação
	Type 45 - Sistema termossifão coletor-reservatório
	Type 6 - Aquecedor auxiliar
	Type 11 - Válvula de temperatura
	Type 14 - Perfil de consumo de água quente
	Type 24 - Integrador
	Type 25 - Impressora
	Type 65 - Plotter

Type 6 – Aquecedor auxiliar. Um aquecedor auxiliar (chuveiro elétrico) é modelado para elevar a temperatura de um fluxo de água. O aquecedor auxiliar transfere calor para o fluido, sempre que sua temperatura for menor que a temperatura estabelecida;

Type 11 – Válvula de temperatura. Este componente opera em diversas funções, chegando em 10 opções de operações diferentes (1 a 10), sendo que para cada configuração representa um modelo físico diferente do componente. Para os sistemas de aquecimento de água simulados no presente trabalho, serão utilizados dois modelos de configuração. Quando a configuração for no modo 4, representará uma válvula termostática, e quando configurado no modo 1, representará um misturador;

Type 14 – Perfil de consumo de água quente. Tem como função na simulação representar o perfil de consumo de água quente. Numa simulação transiente é conveniente empregar um padrão de comportamento. Assim esta subrotina apresenta uma função de carga que consiste de um

conjunto de pontos discretos, indicando o valor da função em períodos de tempo durante um ciclo e esse ciclo se repetirá N horas por dia conforme distribuição de consumo estabelecido;

Type 24 – Integrador. Este componente integra uma série de variáveis em um determinado período de tempo. Cada integrador pode integrar até 500 variáveis diferentes, e é capaz de reiniciar periodicamente após um determinado número de horas ou depois de cada mês do ano.

Type 25 – Impressora. É utilizada para imprimir os resultados da simulação conforme as variáveis selecionadas, nos intervalos de tempo especificados, através de arquivos de dados de saída. Além disso, é capaz de acrescentar novos dados ou substituir um arquivo existente.

Type 65 – Plotter. Exibe gráficos enquanto a simulação está sendo executada e exibe as variáveis do sistema selecionadas. Este componente é recomendado e amplamente utilizado, uma vez que fornece informação referente à simulação e permite ao usuário ver imediatamente se o sistema não está funcionando. Ao contrário da impressora não gera arquivos com os resultados da simulação.

O perfil de hábito de consumo de água para banho para a simulação foi definido conforme o estudo realizado pelo Procel e descrito anteriormente na Fig. 5.3. Para a implementação no TRNSYS e utilizando a sub-rotina *Type 14*, o perfil foi definido conforme mostrado na Fig. 5.5, com uso de 40,1 L de água pela manhã, entre 7 e 8 h horas e 159,9 L no final do dia, entre as 18 e as 21 h, totalizando um consumo diário de 200 litros de água quente para banho.

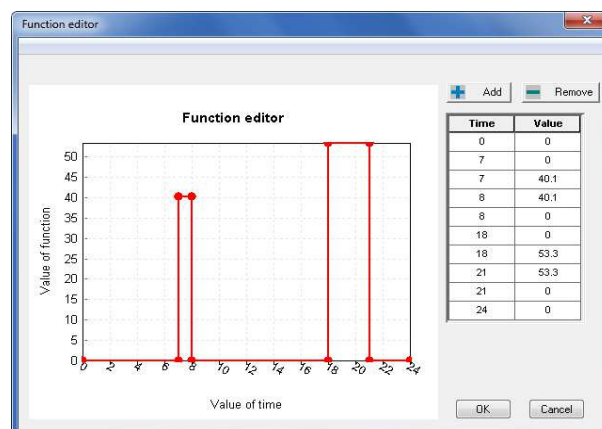


Figura 5.5 – Perfil de consumo de água quente usado na simulação.

A montagem do SAS para a simulação é feita através de conexões dos componentes selecionados para um determinado projeto. As Figs. 5.6 e 5.7 mostram, respectivamente, os modelos da plataforma para simulação dos SAS: modelo termossifão ou sistema passivo, sem a utilização do aquecedor auxiliar (chuveiro elétrico) e o modelo termossifão com um aquecedor

auxiliar (chuveiro elétrico), com potência elétrica pré-estabelecida em 19,8 kJ/h ou 5.5 kW, a fim de complementar o aquecimento da água para alcançar a temperatura de referência de 40 °C.

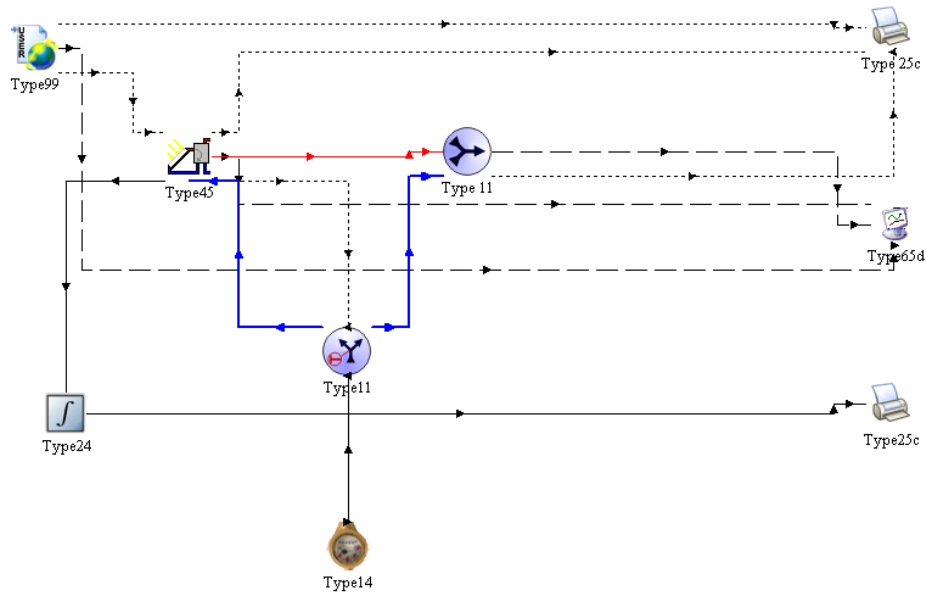


Figura 5.6 - Modelo da montagem no TRNSYS do sistema termossifão para simulação sem aquecimento auxiliar.

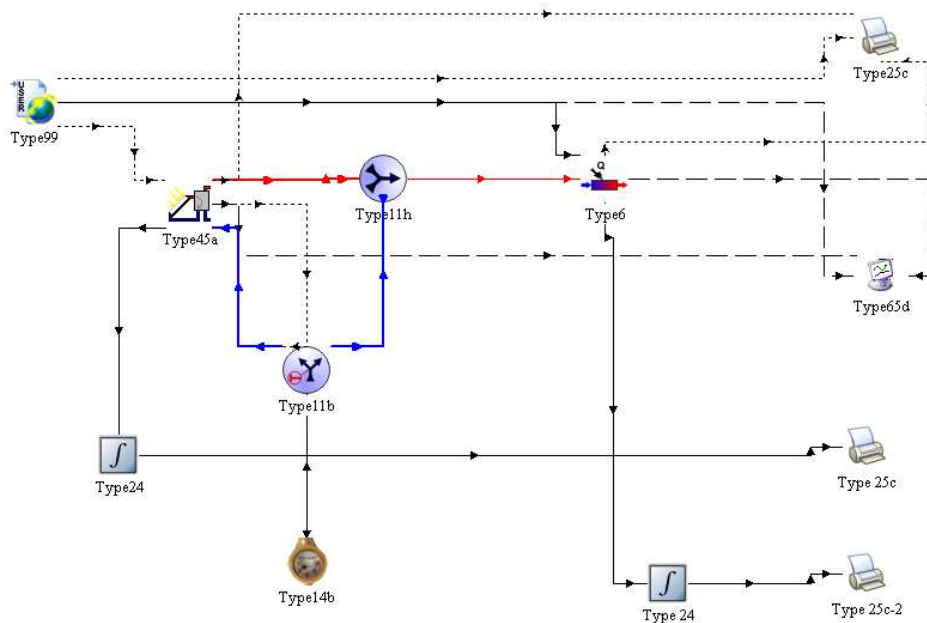


Figura 5.7 - Modelo da montagem no TRNSYS do sistema termossifão para simulação com aquecimento auxiliar

5.2 DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os dados de consumo de energia elétrica foram obtidos da AES Sul, empresa responsável pelo fornecimento de energia elétrica para o bairro de Guajuviras, e extraídos do Alimentador 31, Subestação Canoas 3. No Anexo C é mostrado parte destes relatórios.

Os dados de consumo de energia são medidos a cada minuto e disponibilizados em arquivos mensais. Para esse estudo foram utilizados os relatórios compreendidos entre abril de 2011 até março de 2012, completando um período de doze meses. Na Fig. 5.8 são apresentados os consumos médios mensais de energia elétrica medidos no alimentador.

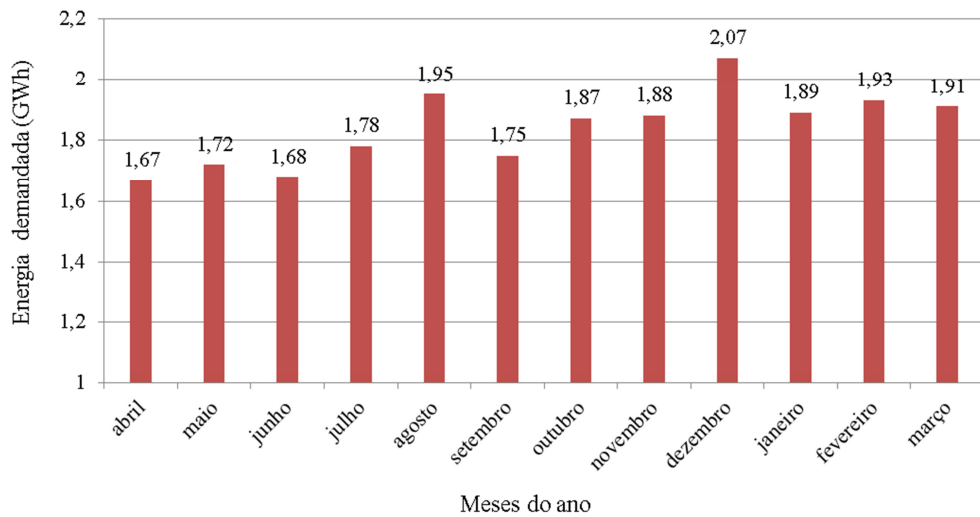


Figura 5.8 - Valores mensais do consumo de energia elétrica no bairro Guajuviras – Canoas RS (Período de abril de 2011 a março de 2012)

6 RESULTADOS

6.1 TRATAMENTO DOS DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os dados de consumo global de energia elétrica fornecidos pela Concessionária para o alimentador que atende a região de estudo foram desagregados de modo a representar o consumo final do chuveiro elétrico. A estimativa do consumo desagregado deste equipamento foi obtida a partir da aplicação das seguintes hipóteses:

- Para cada mês e para cada hora, foram calculados os valores médios do consumo de energia elétrica, desconsiderando-se possíveis variações dos perfis de consumo nos finais de semana e feriados;
- A estimativa do consumo de energia elétrica do chuveiro foi considerada como 30% do consumo total para aquela hora, baseado nos estudos de usos individuais de equipamentos elétricos realizados pela Eletrobrás Procel (2007);
- Foi considerada a existência de apenas um chuveiro elétrico por domicílio, e o número total de residências no bairro é igual a 6136, conforme informações disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Canoas (PMC, 2012).

A Fig. 6.1 mostra uma estimativa do consumo horário médio mensal domiciliar de energia elétrica utilizada por domicílio, de Abril de 2011 até Março de 2012. A tabela com as informações de consumo de energia elétrica encontra-se no Anexo D.

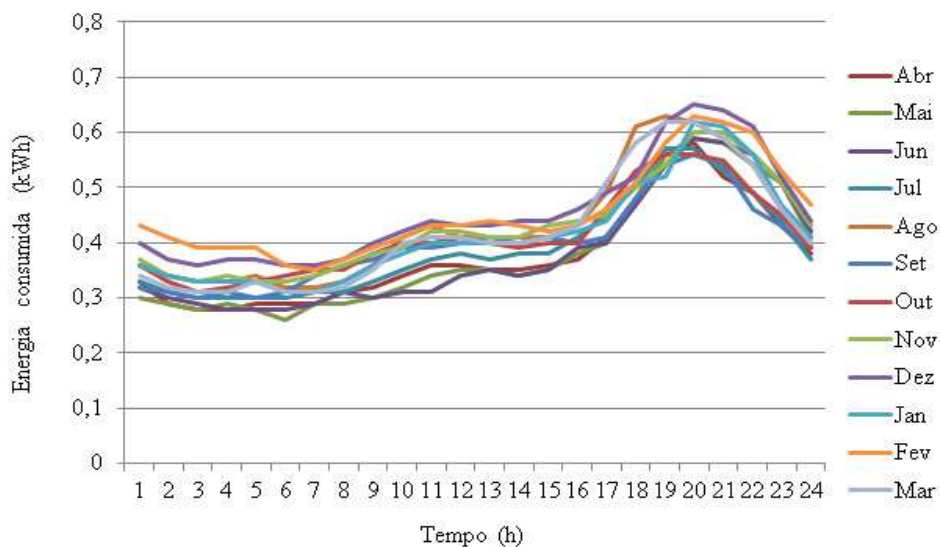


Figura 6.1 - Estimativa do consumo horário médio mensal domiciliar de energia elétrica no período de um ano, para a região de estudo no período de abril de 2011 a março de 2012

Analisando-se a Fig. 6.1 pode-se verificar que o consumo de energia elétrica neste local não representa exatamente o perfil mostrado na Fig. 5.3. O consumo de energia elétrica sofre uma pequena redução entre 0 h até as 5 h, provavelmente associado à iluminação pública, incrementa no intervalo entre 10 a 13 h e, a partir das 16 h, incrementa progressivamente até atingir um pico de consumo por volta das 20 h. Este segundo pico no consumo de energia, além do uso da iluminação nesse período, pode ser atribuído ao uso massivo do chuveiro elétrico no horário de ponta, sendo responsável pelo aumento do consumo em até 100 %.

Para o cálculo médio desagregado do consumo de energia elétrica, foram estimadas algumas incertezas referentes ao consumo dessa energia. Essas incertezas podem alterar os resultados dos valores médios mensais finais. As informações extraídas no alimentador são de uma região relativamente extensa, havendo então alguns fatores que devem ser levados em consideração na análise dos resultados de consumo, pois implica diretamente na média mensal por domicílio. A Tab. 6.1 mostra alguns fatores que influenciam sobre a desagregação da demanda total fornecida pela concessionária.

Tabela 6.1 - Incertezas na desagregação na demanda fornecida pela concessionária

Consumo de energia elétrica para iluminação pública	8 %
Consumo de energia elétrica pelas ligações clandestinas (gatos)	3 %
Consumo de energia pelo comércio e outras atividades não residenciais	12 %
Perdas na transmissão	2 %
Total de incertezas	25%

Embora a estimativa do consumo desagregado do chuveiro elétrico seja realizada a partir de outros estudos, baseados em amostragens, os resultados apresentados pela aplicação das hipóteses anteriores constituem um indicador razoável do consumo deste equipamento.

Através da aplicação desta metodologia, obteve-se a estimativa do consumo médio mensal de energia elétrica domiciliar, apresentado na Tab. 6.2 e anual, mostrado na Tab. 6.3 junto com a estimativa do consumo desagregado por equipamento, representando o consumo do chuveiro elétrico.

Tabela 6.2 - Estimativa do consumo médio mensal de energia elétrica domiciliar e o valor desagregado representando o consumo do chuveiro elétrico, em kWh

	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
Consumo total domiciliar	203	211	205	218	239	215	230	230	254	232	236	239
Chuveiro	61	63	61	65	72	64	69	69	76	70	71	72

Tabela 6.3 - Estimativa do consumo domiciliar total anual de energia elétrica, consumo anual devido ao chuveiro elétrico e consumo médio mensal por domicílio

Consumo total anual domiciliar	2.712 kWh
Consumo anual do chuveiro	813 kWh
Média mensal por domicílio	226 kWh

O valor final da tarifa de energia elétrica praticada pela AES Sul no ano de 2012, considerado como referência neste estudo foi de R\$ 0,45/kWh, com os impostos incluídos. Utilizando os valores estimados de consumo de energia apresentados na Tab. 6.2, apresentam-se na Tab. 6.4 os valores relativos ao uso da energia elétrica total e para o chuveiro elétrico.

Tabela 6.4 - Estimativa do custo da energia elétrica consumida por domicílio

	Consumo, kWh	Custo, R\$
Anual	2.712	1.220,40
Chuveiro	813	365,85
Média mensal	226	101,70
Média mensal do chuveiro	68	30,60

6.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Utilizando os modelos matemáticos para análise do desempenho térmico de sistemas de aquecimento solar, descritos no Cap. 3 e, de acordo com a metodologia descrita no Cap. 4, foram simulados dois SAS, ambos operando no modo termossifão: o primeiro sistema não possui aquecimento auxiliar (interno ou externo) e, desta forma, a energia disponível é originada somente da fonte solar. Neste caso, a temperatura da água quente para consumo pode ou não atingir a temperatura definida como *set-point*, neste caso 40 °C. O segundo sistema simulado é geometricamente similar ao primeiro, utilizando neste caso um aquecedor auxiliar externo, do tipo *passagem*, representando o uso de um chuveiro eletrônico como fonte de energia. As representações destes dois sistemas no ambiente de simulação do TRNSYS foram apresentadas nas Fig. 5.6 e 5.7. As rotinas utilizadas pelo TRNSYS ou *types* foram descritos na Tab. 5.3 e os parâmetros do SAS foram descritos na Tab. 5.1.

Para as simulações foram utilizados os dados climáticos de Porto Alegre, organizados em um arquivo *TMY*, já comentado anteriormente, representando o comportamento mais provável destes parâmetros. O arquivo apresenta 365 dias de informações e cada dia com 24 conjuntos de

dados representando as variáveis horárias utilizadas na simulação (temperatura ambiente, irradiação solar, velocidade do vento, temperatura de orvalho, etc.), resumidamente mostrado no Anexo E.

Para cada simulação, os resultados são apresentados em um arquivo de saída originado pelas *printers* definidas em função do tipo de representação desejada. Os resultados são apresentados hora a hora, da mesma forma que os dados climáticos de entrada e para o mesmo período do arquivo *TMY*, ou seja, 365 dias. Para fins unicamente de informação apresenta-se no Anexo F um detalhe do arquivo de saída para uma das simulações realizadas.

Os modelos dos SAS utilizados nas simulações estão descritos na Tab. 6.5. O coletor plano com cobertura utilizado nas simulações é o Itapuã V 1.7, fabricado e comercializado pela Transsen. As informações técnicas sobre o coletor solar estão descritas no Anexo G.

Tabela 6.5 - Modelos dos SAS utilizados nas simulações

Simulação	Características	Aquec. de passagem
1	SAS com 1,73 m ² de área de coletor e reservatório térmico de 200 L	Não
2	SAS com 1,73 m ² de área de coletor e reservatório térmico de 200 L	Sim
3	SAS com 1,73 m ² de área de coletor e reservatório térmico de 300 L	Sim
4	SAS com 1,73 m ² de área de coletor e reservatório térmico de 400 L	Sim
5	SAS com 3,46 m ² de área de coletor e reservatório térmico de 200 L	Sim
6	SAS com 3,46 m ² de área de coletor e reservatório térmico de 300 L	Sim
7	SAS com 3,46 m ² de área de coletor e reservatório térmico de 400 L	Sim
8	SAS com 2,00 m ² de área de coletor e reservatório térmico de 200 L	Sim

Os resultados das simulações são apresentados utilizando como referência os conceitos de fração solar mensal, f , e fração solar anual, \mathcal{F} , ambos definidos por Duffie e Beckman (2006). A fração solar é a relação entre duas quantidades de energia similares, térmicas nesse caso, desprezando-se a existência de quantidades de energia elétrica, chamadas de parasitas, para acionamento de bombas e controladores necessários para a operação do SAS. Para um sistema de aquecimento de água, pode-se chamar de L_w a energia necessária para atender a demanda por um SAS de área zero (i.é, um sistema de aquecimento convencional, com

eletricidade ou gás), L_A a energia auxiliar utilizada por um SAS e L_S a energia fornecida pelo SAS. Assim, conforme a Eq. 6.1, assume-se que:

$$L_w = L_A + L_S \quad (6.1)$$

Para o mês i , a fração solar, é definida conforme a Eq. 6.2:

$$f_i = \frac{L_{w,i} - L_{A,i}}{L_{w,i}} = \frac{L_{S,i}}{L_{w,i}} \quad (6.2)$$

A fração solar f_i , tal como descrita na Eq. 6.2 também é chamada de economia fracional de energia, representando a parcela de energia fornecida pelo sistema de aquecimento solar em relação a um sistema de aquecimento convencional, conforme definição de Fischer et al. (2012).

Aplicando-se o mesmo conceito em base anual, integrando-se as quantidades de energia ao longo do ano, tem-se a fração solar anual, definida pela Eq. 6.3:

$$F = \frac{L_w - L_A}{L_w} = \frac{L_S}{L_w} = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_i L_{w,i}}{\sum_{i=1}^{12} L_{w,i}} \quad (6.3)$$

A energia térmica que deve ser fornecida em um sistema de aquecimento convencional, L_w , é a demanda mensal de água quente, determinada a partir da Eq. 6.4:

$$L_w = Nn C_w \rho c_p (T_m - T_w) \quad (6.4)$$

onde N é o número de dias do mês, n é o número de pessoas, C_w é o consumo individual de água quente (L), ρ é a massa específica da água, c_p é o calor específico da água à pressão constante, T_m é a temperatura mínima aceitável para a água de consumo e T_w é a temperatura de referência da água de alimentação .

A energia auxiliar, L_A , e a energia térmica fornecida pelo SAS, L_S , são obtidas a partir da simulação anual para uma dada condição de área de coletor e volume do reservatório, para o local considerado. A partir destes resultados, calculam-se então as frações solar mensal e anual, mostradas na continuação.

A Tab. 6.6 mostra os resultados da simulação do primeiro modelo utilizado, um coletor com $1,73 \text{ m}^2$ e reservatório térmico de 200 L, sem o uso do aquecimento auxiliar (Caso 1, Tab. 6.5). Como pode ser visto, a ausência do sistema de aquecimento auxiliar implica que a demanda de água quente será satisfeita completamente apenas no mês de dezembro. Nos meses de outubro a fevereiro, excetuando-se dezembro, a demanda de água quente é parcialmente atendida, com valores entre 91 a 98%. O problema torna-se mais crítico a partir de abril até setembro, onde a demanda de água quente atendida cai de 69% até o valor mínimo de 32%, em julho.

Tabela 6.6 - Resultados da simulação de número 1 utilizando SAS sem uso de energia auxiliar, reservatório de 200 L.

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	f_i
Janeiro	583.833	–	595.447	0,98
Fevereiro	507.149	–	537.744	0,94
Março	524.324	–	595.447	0,88
Abril	399.006	–	576.237	0,69
Mai	259.315	–	595.447	0,43
Junho	195.989	–	576.237	0,34
Julho	191.532	–	595.447	0,32
Agosto	246.265	–	595.447	0,41
Setembro	377.399	–	576.237	0,65
Outubro	547.730	–	595.447	0,91
Novembro	558.403	–	576.237	0,96
Dezembro	596.610	–	595.447	1,00
F				0,71

A Tab. 6.7 apresenta os valores da simulação de número 2 (Caso 2, Tab. 6.5), que na verdade é o mesmo da simulação de número 1 com a introdução de um sistema de aquecimento auxiliar, um aquecedor de passagem, simulando o uso do chuveiro elétrico.

Como pode ser notado, os valores da fração solar, mensal e anual, são exatamente os mesmos da Tab. 6.6, uma vez que os dois sistemas são idênticos. Nessa situação, a demanda de água quente é completamente atendida ao longo do ano, as custas de um consumo de energia elétrica proporcional a $(1-f_i)$. Para esse caso, a energia auxiliar anual é de 2.046.583 kJ, correspondendo a um consumo de energia elétrica anual de 568,5 kWh.

Tabela 6.7 - Resultados da simulação de número 2 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, reservatório de 200 L.

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	f_i
Janeiro	583.833	13.661	595.447	0,98
Fevereiro	507.149	32.524	537.744	0,94
Março	524.324	73.170	595.447	0,88
Abril	399.006	179.214	576.237	0,69
Maio	259.315	338.179	595.447	0,43
Junho	195.989	382.231	576.237	0,34
Julho	191.532	405.960	595.447	0,32
Agosto	246.265	351.229	595.447	0,41
Setembro	377.399	200.821	576.237	0,65
Outubro	547.730	49.765	595.447	0,91
Novembro	558.403	19.829	576.237	0,96
Dezembro	596.610	0.906	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		2.046.583		
F				0,71

Os resultados apresentados na Tab. 6.8 correspondem à simulação de número 3 (Caso 3, Tab. 6.5), onde se mantém a mesma área de coletores que os dois casos anteriores, mas aumenta-se o volume do reservatório térmico de 200 para 300 L. Como pode ser visto, com o aumento do reservatório obteve-se um pequeno acréscimo na fração solar nos meses de outubro a fevereiro. Janeiro alcançou 99%, enquanto nos meses de março a setembro a fração solar manteve-se na mesma ordem de grandeza que nos casos anteriores ou apresentaram uma pequena diminuição, como no mês de julho que foi para 31%. A energia auxiliar anual é de 2.046.023 kJ, correspondendo a um consumo de energia elétrica anual de 568,30 kWh. Conforme Ampatzi et al. (2013), para um acréscimo pequeno da capacidade de armazenamento para a mesma área de coletor solar, o aumento da fração solar é marginal.

Tabela 6.8 - Resultados da simulação de número 3 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, reservatório de 300 L.

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	f_i
Janeiro	592.504	6.985	595.447	0,99
Fevereiro	514.131	28.305	537.744	0,95
Março	527.656	72.201	595.447	0,88
Abril	394.638	185.172	576.237	0,68
Mai	258.704	338.347	595.447	0,43
Junho	189.465	386.363	576.237	0,32
Julho	184.674	407.809	595.447	0,31
Agosto	243.761	351.064	595.447	0,40
Setembro	365.470	208.989	576.237	0,63
Outubro	551.453	45.672	595.447	0,92
Novembro	562.749	15.116	576.237	0,97
Dezembro	597.492	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		2.046.023		
\mathcal{F}				0,71

A Tab. 6.9 corresponde aos resultados da simulação de número 4 (Caso 4, Tab. 6.5). com a mesma área de coletores que os casos anteriores, mas com um volume no reservatório térmico de 400 L. Essa configuração do SAS apresenta resultados semelhantes ao caso 3, onde a fração solar atingindo 99% em janeiro e 31% em julho. Dessa forma, a simulação mostra que não houve alterações expressivas na fração solar utilizando reservatório térmico de 300 ou 400 L. A energia auxiliar anual é de 2.046.628 kJ, correspondendo a um consumo de energia elétrica anual de 568,50 kWh.

Tabela 6.9 - Resultados da simulação de número 4 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, reservatório de 400 L.

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	f_i
Janeiro	592.129	5.365	595.447	0,99
Fevereiro	512.550	27.123	537.744	0,95
Março	524.257	73.237	595.447	0,88
Abril	391.442	186.777	576.237	0,67
Mai	261.201	336.270	595.447	0,43
Junho	191.003	387.167	576.237	0,33
Julho	190.092	407.380	595.447	0,31
Agosto	247.754	349.729	595.447	0,41
Setembro	362.450	215.769	576.237	0,62
Outubro	553.298	44.198	595.447	0,92
Novembro	564.607	13.613	576.237	0,97
Dezembro	597.465	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		2.046.628		
\mathcal{F}				0,71

Os resultados apresentados na Tab. 6.10 correspondem a simulação de número 5 (Caso 5, Tab. 6.5)., duplicando-se a área do coletor solar em relação aos casos anteriores, correspondendo a 3,46 m² e reservatório térmico de 200 L. O sistema de aquecimento auxiliar é elétrico, de passagem. Com o aumento da área de coletor, a fração solar nos meses de janeiro a abril e outubro a dezembro torna-se unitária, mostrando que a demanda de água quente é totalmente atendida. Nos meses de maio a setembro a demanda de água quente é parcialmente atendida, com valores da fração solar variando entre 62 a 95 %. A fração solar anual é de 89%. A energia auxiliar anual é de 756.728 kJ, correspondendo a um consumo de energia elétrica anual de 210,20 kWh, representando um consumo igual a 37% dos casos anteriores.

Tabela 6.10 - Resultados da simulação de número 5 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, área de 3,46 m² e reservatório de 200 L

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	f_i
Janeiro	595.789	0,00	595.447	1,00
Fevereiro	539.671	0,00	537.744	1,00
Março	597.486	0,00	595.447	1,00
Abril	578.196	0,00	576.237	1,00
Maio	463.424	134.069	595.447	0,77
Junho	367.498	210.721	576.237	0,63
Julho	370.624	226.862	595.447	0,62
Agosto	442.770	154.724	595.447	0,74
Setembro	549.576	28.643	576.237	0,95
Outubro	597.493	0,00	595.447	1,00
Novembro	578.215	0,00	576.237	1,00
Dezembro	597.493	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		756.728		
F				0,89

Os resultados apresentados na Tab. 6.11 correspondem ao caso 6 (Caso 6, Tab. 6.5)., onde é mantida mesma área de coletor que o caso anterior 3,46 m², mas aumenta-se o volume do reservatório térmico de 200 para 300 L. Com essa configuração obteve-se um pequeno aumento na fração solar nos meses maio, agosto e setembro, em torno de 2% em relação ao caso anterior. Nos meses de junho e julho houve um decréscimo da fração solar de aproximadamente 1% em relação ao caso anterior. A fração solar anual para estes dois casos ficou em torno de 89%. A energia auxiliar anual é de 740.441 kJ, correspondendo a um consumo de energia elétrica anual de 205,67 kWh.

Tabela 6.11 - Resultados da simulação de número 6 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, área de 3,46 m² e reservatório de 300 L.

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	f_i
Janeiro	595.802	0,00	595.447	1,00
Fevereiro	539.762	0,00	537.744	1,00
Março	597.493	0,00	595.447	1,00
Abril	578.219	0,00	576.237	1,00
Mai	471.716	125.778	595.447	0,79
Junho	362.630	215.589	576.237	0,62
Julho	367.487	230.007	595.447	0,61
Agosto	452.263	145.230	595.447	0,75
Setembro	556.086	22.133	576.237	0,96
Outubro	597.493	0,00	595.447	1,00
Novembro	578.219	0,00	576.237	1,00
Dezembro	597.493	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		740.441		
F				0,89

A Tab. 6.12 corresponde aos resultados do caso 7 (Caso 7, Tab. 6.5)., com a mesma área de coletores que os casos 5 e 6, mas com um volume no reservatório térmico de 400 L. Essa configuração do SAS apresenta resultados semelhantes aos casos 5 e 6 analisados anteriormente, não apresentando alterações significativas na fração solar. A energia auxiliar anual é de 726.117 kJ, correspondendo a um consumo de energia elétrica anual de 201,69 kWh. Os casos 5, 6 e 7 apresentaram similaridade aos casos 2, 3 e 4, mostrando que a duplicação do volume do reservatório térmico não influi significativamente nas frações solares mensais e anual.

Tabela 6.12 - Resultados da simulação de número 7 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar, área de 3,46 m² e reservatório de 400 L

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	f_i
Janeiro	595.801	0,00	595.447	1,00
Fevereiro	539.671	0,00	537.744	1,00
Março	597.493	0,00	595.447	1,00
Abril	578.219	0,00	576.237	1,00
Mai	479.723	117.770	595.447	0,80
Junho	359.796	218.424	576.237	0,62
Julho	367.843	229.647	595.447	0,61
Agosto	459.812	137.682	595.447	0,77
Setembro	557.325	20.894	576.237	0,96
Outubro	597.493	0,00	595.447	1,00
Novembro	578.119	0,00	576.237	1,00
Dezembro	597.493	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		726.117		
F				0,89

Os resultados das simulações não mostraram variações significativas da fração solar anual em função dos volumes dos reservatórios analisados (200, 300 e 400 L). Desta forma entende-se que o reservatório de 200 L seja a melhor opção para a aplicação de aquecimento solar para as condições estabelecidas, apresentando a melhor relação custo/benefício.

As duas áreas utilizadas na simulação correspondem a uma condição real com um ou dois coletores operando em paralelo. Na primeira condição atinge-se uma fração solar anual de 0,71, que está dentro da faixa recomendada desde um ponto de vista econômico, mas as frações solares nos meses de inverno ficam em torno de 0,31. Visando buscar uma solução intermediária entre as duas áreas de coletor utilizadas nas simulações anteriores, de 1,73 e 3,46 m², analisou-se o caso de um coletor hipotético com área de 2 m², com a mesma curva característica dos coletores anteriores. Essa simulação, denominada de Caso 8, utilizou um reservatório térmico de 200 L.

Os resultados apresentados na Tab. 6.13 correspondem então a esse caso, com o uso do aquecedor auxiliar elétrico de passagem. Conforme mostram os resultados, nos meses dezembro e janeiro a demanda de água quente é completamente atendida pelo sistema solar. De fevereiro até abril e de setembro a novembro, a demanda é atendida parcialmente, com valores mínimos de 74%. Julho é o mês mais crítico, com fração solar de apenas 37 %. A energia auxiliar anual é de 1.674.118 kJ, correspondendo a um consumo de energia elétrica anual de 465,03 kWh. Essa solução permite aumentar a fração solar nos meses de inverno, quando comparada ao Caso 2, diminuindo o consumo anual de energia elétrica em 19 %.

Tabela 6.13 - Resultados da simulação de número 8 utilizando SAS com o uso de energia auxiliar

	$L_{S,i}$ (kJ)	$L_{A,i}$ (kJ)	$L_{w,i}$ (kJ)	f_i
Janeiro	595.773	0,00	595.447	1,00
Fevereiro	528.042	11.638	537.744	0,98
Março	563.771	33.728	595.447	0,94
Abril	456.288	121.932	576.237	0,79
Maiο	298.382	299.112	595.447	0,50
Junho	226.478	351.742	576.237	0,39
Julho	223.122	374.369	595.447	0,37
Agosto	283.870	313.624	595.447	0,47
Setembro	427.660	150.560	576.237	0,74
Outubro	588.233	9.263	595.447	0,98
Novembro	571.797	6.423	576.237	0,99
Dezembro	597.489	0,00	595.447	1,00
$\sum L_{A,i}$		1.674.118		
F				0,76

6.2.1 Análise Econômica do SAS

Muitos critérios econômicos foram propostos e usados para avaliar e otimizar os sistemas que utilizam energia solar mas, mesmo assim, não há um acordo universal sobre qual deve ser usado (DUFFIE; BECKMAN, 2006).

Os parâmetros avaliados para o consumidor são o tempo de retorno de investimento no SAS (*payback time*), o *VPL* (valor presente líquido) e a *TIRM* (taxa interna de retorno modificada).

Tempo de retorno de investimento é o tempo necessário para o fluxo de caixa anual tornar-se positivo, isto é, o tempo necessário para que a economia financeira em energia elétrica do sistema convencional se iguale ao total investido no sistema de aquecimento solar, utilizando para isso a quantia economizada anualmente no consumo de energia elétrica. O investimento no SAS é considerado viável quando o tempo de retorno não supera o tempo de vida útil dos equipamentos.

Valor presente líquido (*VPL*), ou método do valor atual é uma fórmula matemático-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial. É o cálculo de quanto os pagamentos futuros somados a um custo inicial estariam valendo atualmente.

Conforme mostrado por Duffie e Beckmam (2006), o valor presente, *PW*, de um pagamento simples a ser feito no futuro é calculado pela Eq. 6.5:

$$PW = \frac{1}{(1+d)^T} \quad (6.5)$$

onde *T* é o período considerado (vida útil), *d* é (TMA) taxa mínima de atratividade ou taxa de juros, usada para ajustar os custos futuros para os valores atuais. No presente trabalho foi considerada igual à taxa de juros oficial, de 5 % ao ano. Assim, com uma taxa de juros constante, pode-se generalizar a aplicação do conceito do valor presente conforme a Eq. 6.6:

$$PW = A \left(\frac{1}{(1+d)^T} \right) \quad (6.6)$$

onde *A* representa uma série uniforme de pagamentos iguais efetuados a cada período, corrigida ou não pelo índice de inflação.

A *TIRM* é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento inicial (valor presente) dos fluxos de caixa negativos com o valor final. Nesse caso, o sistema de aquecimento solar com os seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa. Em análises de investimentos significa a taxa de retorno de um projeto, sendo calculada através da Eq. 6.7.

$$\sum_{j=0}^n \frac{FCS_j}{(1+k)^j} = \frac{\sum_{j=0}^n FCE_j(1+k)^{n-j}}{(1+TIRM)^n} \quad (6.7)$$

onde *FCS* é o fluxo de caixa negativo, *FCE* o fluxo de caixa positivo, *k* o capital inicial aplicado e $j= 1,2,3\dots n$.

Os valores referentes aos custos adotados nesta análise foram levantados em 2013 e são apresentados na Tab. 6.14. Estes valores são aplicados para consumidores individuais e para um sistema que não é o mais barato encontrado no mercado.

Tabela 6.14 - Valores econômicos adotados para o sistema de aquecimento solar

Descrição	Valor, R\$
Coletor solar (m ²)	289,00
Reservatório 200 L	1.200,00
Instalação	700,00
Vida útil do SAS	20 anos

Considerando as informações mostradas na Tab. 6.14, foram construídos quatro cenários distintos e aplicados para os casos 2, 5 e 8. Os cenários são alimentados com informações de entrada, como valor do investimento, taxa de juros, tempo de vida útil e receita esperada, conforme mostrado na Tab. 6.15, onde as informações do caso 2 estão inseridas. Os cenários tem o intuito de mostrar resultados utilizando diferentes critérios nas informações quanto ao uso e ao custo de operação do SAS ao longo da vida útil.

A análise dos cenários foi realizada alterando apenas um dos critérios estabelecidos, tais como, acréscimo no percentual do preço da energia, redução no número de moradores, perda da eficiência de conversão do sistema e custo de manutenção.

Tabela 6.15 - Informações de entrada da análise econômica para o caso 2

DADOS DE ENTRADA	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04
Horizonte de planejamento (n): tempo (anos)	20	20	20	20
Taxa Mínima de Atratividade (i): Taxa de juros (%)	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%
Investimento inicial (FC0) - (R\$)	R\$ 2.400,00	R\$ 2.400,00	R\$ 2.400,00	R\$ 2.400,00
Custo estimado de manutenção e operação - (R\$)	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 100,00
Receita esperada - (R\$)	Variavel	Variavel	R\$ 296,29	R\$ 369,95
Fluxo de caixa: Diferença entre receitas e custos - (R\$)	Variavel	Variavel	R\$ 269,29	R\$ 369,95

Os cenários criados para demonstrar a utilização e operação dos SAS estão mostrados nas Tabs. 6.16 a 6.19, alterando um critério definido em cada tabela.

Tabela 6.16 - Critérios utilizados no cenário 1 para operação do SAS

Preço da energia: Acréscimo em 3% ao ano, aumentando assim a receita
Subsidio: Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa
Manutenção: Considerando os 20 anos de vida útil sem necessidade de manutenção e limpeza no SAS
Eficiência do sistema: Considerando que o nível de eficiência seja o mesmo durante toda sua vida útil
TMA: Considerando aplicação do valor investido na poupança com rendimento anual de 5%

Tabela 6.17 - Critérios utilizados no cenário 2 para operação do SAS

Preço da energia: Constante
Subsidio: Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa
Manutenção: Considerando os 20 anos de vida útil sem necessidade de manutenção e limpeza no SAS
Eficiência do sistema: Apresentando uma diminuição do rendimento de 10% ao final da vida útil, ou seja, uma perda de rendimento de 0,5% ao ano
TMA: Considerando aplicação do valor investido na poupança com rendimento anual de 5%

Tabela 6.18 - Critérios utilizados no cenário 3 para operação do SAS

Considerando: Após a aquisição do sistema uma pessoa deixa o local, a economia diminuirá em 20%
Preço da energia: Constante
Subsidio: Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa
Manutenção: Considerando os 20 anos de vida útil sem necessidade de manutenção e limpeza no SAS
Eficiência do sistema: Considerando que o nível de eficiência seja o mesmo durante toda sua vida útil
TMA: Considerando aplicação do valor investido na poupança com rendimento anual de 5%

Tabela 6.19 - Critérios utilizados no cenário 4 para operação do SAS

Preço da energia: Constante
Subsídio: Inexistente tanto para a aquisição do sistema quanto na tarifa
Manutenção: Considerando que por ano seja gasto R\$ 100,00 para realização de limpeza interna e externa dos painéis, substituição de canos e demais peças que possam dar problema
Eficiência do sistema: Considerando que o nível de eficiência seja o mesmo durante toda sua vida útil
TMA: Considerando aplicação do valor investido na poupança com rendimento anual de 5%

Os resultados da avaliação econômica utilizando os cenários descritos anteriormente estão demonstrados nas Tabs. 6.20 a 6.22.

Tabela 6.20 - Resultado da análise econômica do caso 2

	Caso 2			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de retorno (anos)	7	9	11	13
VPL (R\$)	4.519,12	2.005,14	1.292,37	964,15
TIRM (%)	10,71	8,24	7,29	6,79

Tabela 6.21 - Resultado da análise econômica do caso 5

	Caso 5			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de retorno (anos)	9	11	14	16
VPL (R\$)	4.019,12	1.505,14	792,37	464,15
TIRM (%)	9,67	7,22	6,28	5,78

Tabela 6.22 - Resultado da análise econômica do caso 8

	Caso 8			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tempo de retorno (anos)	8	9	12	13
VPL (R\$)	4.441,12	1.927,14	1.214,37	886,15
TIRM (%)	10,53	8,06	7,11	6,62

Todos os sistemas demonstraram ser pouco atrativos no ponto de vista de investimento do consumidor já que o menor tempo de retorno foi de 7 anos. Nessa análise se utilizou valores comerciais unitários dos equipamentos e sem nenhum incentivo ou subsídio do Governo ou da concessionária.

Para a concessionária de energia elétrica, o parâmetro avaliado é a economia da expansão da rede e os ganhos na energia conservada anualmente sem o uso no horário de ponta. Com isso estima-se a quantia de energia que poderia ser poupada pela utilização do SAS a fim de diminuir o pico de demanda. Desta forma, se demonstra quanto é poupado por cada residência que opte em utilizar um SAS em substituição do chuveiro elétrico. Conforme mostra a Tab. 6.23, a economia de energia por domicílio é obtida através da conversão da energia térmica produzida pelo SAS em energia elétrica nos casos 2, 5 e 8 da Tab. 6.5.

Tabela 6.23 - Resultados da análise de economia de energia elétrica com o uso do SAS

	Caso 2		Caso 5		Caso 8	
	L _{s,i} (kJ)	kWh	L _{s,i} (kJ)	kWh	L _{s,i} (kJ)	kWh
Janeiro	583.833	162	595.789	165	595.773	165
Fevereiro	507.149	141	539.671	150	528.042	147
Março	524.324	146	597.486	166	563.771	157
Abril	399.006	111	578.196	161	456.288	127
Maior	259.315	72	463.424	129	298.382	83
Junho	195.989	54	367.498	102	226.478	63
Julho	191.532	53	370.624	103	223.122	62
Agosto	246.265	68	442.770	123	283.870	79
Setembro	377.399	105	549.576	153	427.660	119
Outubro	547.730	152	597.493	166	588.233	163
Novembro	558.403	155	578.215	161	571.797	159
Dezembro	596.610	166	597.493	166	597.489	166
Anual		1.385		1.744		1.489

A economia da expansão na rede para uso do chuveiro elétrico no horário de ponta é determinada pela diferença entre o custo anual da energia auxiliar utilizada pelo SAS e o modo tradicional, ou seja, o chuveiro nos casos 2, 5 e 8, conforme mostra Tab. 6.24.

Tabela 6.24 - Resultados da análise econômica na expansão da rede elétrica

	Caso 2	Caso 5	Caso 8
Custo de expansão (US\$)	980,00	980,00	980,00
Custo de energia auxiliar/custo do chuveiro elétrico	255,82/365,85	94,59/365,85	209,26/365,85
Economia de energia por domicílio (%)	30	74	43
Economia (US\$)	294,00	725,20	421,40

Com a redução de investimento pelo Governo na expansão da rede elétrica para manter a funcionalidade de milhares de chuveiros elétricos, parte desse investimento poupado poderia ser usado para a redução no preço do SAS para novas moradias de baixa renda. Desta forma, haveria uma política de incentivo direta aos consumidores residenciais, ocasionando o aumento do uso desses SAS e, conseqüentemente, o conhecimento das pessoas sobre esse sistema, mostrando uma forma diferente para aquecer água para banho e diminuindo o consumo de energia elétrica.

7 CONCLUSÃO

As vantagens da utilização de sistemas de aquecimento de água para uso doméstico vêm sendo demonstradas tanto para a economia anual de energia elétrica do usuário, quanto para a concessionária de energia elétrica, através da demanda evitada no horário de ponta. Além disso, o uso destes sistemas vem crescendo a uma taxa de aproximadamente 10% ao ano, sendo a China um dos países onde se encontra a maior potência instalada.

Neste trabalho foi analisado o caso da implantação de SAS em um bairro residencial localizado na cidade de Canoas, RS e os impactos analisados desde um ponto de vista energético e financeiro. Os resultados mostram a viabilidade do uso de energia solar para sistemas de aquecimento (SAS) na região Sul do Brasil.

Resultados similares foram encontrados por Colle (2003), Passos (2011), Salazar (2004) quando analisaram a viabilidade técnico-financeira da utilização de sistemas de aquecimento solar em residências de baixa renda em substituição total ou parcial do uso de energia elétrica para aquecimento de água para o banho. Tendo como resultados um percentual significativo de economia na energia elétrica e, conseqüentemente, a diminuição da curva de demanda no horário de ponta.

Através da análise e processamento dos dados fornecidos pela concessionária de energia elétrica que atende o local de estudo, foi possível obter o consumo médio mensal de energia elétrica por domicílio, que foi em torno de 226 kWh, através da aplicação de hipóteses de desagregação do consumo. Da mesma forma que em outros estudos, foi possível observar através de análises gráficas o elevado pico na curva de demanda no horário de ponta, comparado com as demais horas do dia, sendo o chuveiro elétrico um dos principais responsáveis por essa diferença.

Após definido e ajustado o modelo de SAS utilizado neste trabalho, foi usado um arquivo TMY com dados meteorológicos da região e aplicado em diversas simulações. As simulações foram realizadas com o auxílio do programa TRNSYS, permitindo a obtenção de resultados horários da operação do SAS, como as temperaturas da água desde a entrada no coletor como na saída para o consumo e analisar as informações do uso do aquecedor auxiliar quando necessário.

Através dessa metodologia, foi estimada a quantidade de energia elétrica economizada ao longo do tempo de operação dos SAS, em comparação ao uso do chuveiro elétrico.

Os resultados foram analisados a partir da definição da fração solar mensal e anual, para cada caso considerado e estimada a energia utilizada pelo aquecedor auxiliar (chuveiro elétrico).

A análise financeira do investimento realizado foi feita utilizando-se os conceitos de *VPL* ou valor presente líquido, a *TIRM*, taxa interna de retorno modificada e o tempo de retorno de investimento *payback time*.

Os resultados mostram ser tecnicamente viável a utilização de SAS para aquecimento de água para banho para a região estudada, em substituição parcial ao chuveiro elétrico. A fração solar anual para as topologias de SAS analisadas ficou sempre superior a 70%.

Foram mostrados, para os casos 2, 5 e 8, reduções da conta de energia paga pelo consumidor de 30%, 74% e 43%, respectivamente.

Para a análise financeira direta ao consumidor sem nenhum incentivo na compra do SAS os resultados mostraram não ser um negócio atrativo, pois, o tempo de retorno varia de 7 a 16 anos dependendo do cenário escolhido. A *TIRM* apresentou valores superiores à taxa de juros utilizada no presente trabalho, tendo uma variação de 5,78 a 10,71%, ou seja, são valores aceitáveis em um planejamento econômico, mas não o suficiente, já que o tempo de retorno é relativamente expressivo. Analisando uma situação de aquisições de centenas de unidades de SAS, certamente o valor de investimento diminuirá, como resultado diminuindo também o tempo de retorno de investimento e melhorando a *TIRM*.

Além disso, utilizando-se sistemas de aquecimento solar para aquecimento ou pré-aquecimento de água, é possível reduzir a sobrecarga do sistema elétrico no horário de ponta, produzindo uma economia superior a 50% em termos de expansão do sistema. A não utilização do chuveiro elétrico no horário de ponta pouparia ao longo de 20 anos uma energia em torno de 4.890 kWh a 12.056 kWh, dependendo do modelo de SAS utilizado.

Com os incentivos fornecidos pelo governo a fim de atender boa parte da população de baixa renda que adquirem suas novas moradias com financiamentos em longo prazo, é benéfico economicamente investir em SAS ao invés de continuar pagando pelo uso do chuveiro elétrico. Isso resultará na redução do pico da curva de demanda no horário de ponta, trará maior qualidade e melhor estabilidade na energia gerada.

Para futuros trabalhos, sugere-se a aplicação dessa mesma metodologia em regiões com temperaturas mais baixas como, por exemplo, cidades da Serra Gaúcha ou Serra Catarinense. Em função de dados climáticos de tais regiões, será possível avaliar as diferenças nos resultados simulados para uso do aquecedor auxiliar (chuveiro elétrico) e a influência da temperatura da água fria na entrada do reservatório.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **ABNT NBR 15747-2**: sistemas solares térmicos e seus componentes – coletores solares: parte 2: métodos de ensaio. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009. 117p.
- ABRAVA. Disponível em: <<http://www.abrava.com.br>>. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar – condicionado, Ventilação e Aquecimento. Acesso em: 02 mar. 2011.
- ABREU, S. L. **Utilização da energia solar em substituição a chuveiros elétricos**. Fontes não convencionais de energia: as tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa, v. 1, n. 1, p. 123-135, 2000.
- AES SUL. Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.aessul.com.br>>. Distribuidora Gaúcha de Energia S/A. Acesso em: 14 jan. 2012.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002.
- ASHRAE/ANSI. **Standard 93-2003**: methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, 2003.
- AMPATZI, E.; KNIGHT, I.; WILTSHIRE, R. The potential contribution of solar thermal collection and storage systems to meeting the energy requirements of North European housing. **Solar Energy**, v. 91, p. 402-421, 2013.
- AYOMPE, L.M; DUFFY, A; MCCORMACK, S.J; CONLON, M., Validated TRNSYS model for forced circulation solar water heating systems with flat plate and heat pipe evacuated tube collectors. **Applied Thermal Engineering**, vol 31, pp. 1532-1542, 2011.
- BAIRRO Guajuviras em Canoas - R S. **Google Maps**. Mountain View: Google, 2013. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps>>. Acesso em: 20 mar. 2013.
- BAPTISTA, A. S. C. **Análise da viabilidade econômica da utilização de aquecedores solares de água em resorts no nordeste do Brasil**. 2006. 171 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- BEN. **Balanco Energético Nacional**. Relatório Final: EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Brasil. 2012. 272 p.
- BLISS R.N. The derivation of several plate and efficiency factor useful in the design of flat-plate solar heat collector. **Solar Energy**, v. 4, n. 3, p. 55-64, 1959.
- CARVALHO, C. H. F. **Projeto de um Sistema de Aquecimento Solar de Água para Pousadas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras - UFL, Minas Gerais, 2008. 55p.
- COELHO, D. M. **Identificação de Variáveis Críticas e Simulação do Uso de Coletores Solares em Prédios Residenciais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2011. 125p.

COLLE, S. GLITZ, K. L. Z; SALAZAR, J. P; ABREU, S. L. Cost optimization of low-cost solar domestic hot water systems assisted by electric energy. In: INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY - SOLAR WORLD CONGRESS. **Proceedings of the ISES**. Suécia, 2003.

COSTA, S. F. **Desempenho energético de edifícios residenciais no contexto da regulamentação térmica com recurso ao energy plus e TRNSYS**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2012. 169 p.

DASOL. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. São Paulo: Departamento Nacional de Aquecimento solar, 2008. 138 p.

DASOL ABRAVA. **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. São Paulo: Departamento Nacional de Aquecimento Solar e Associação Brasileira de Refrigeração, Ar – condicionado, ventilação e Aquecimento, 2011. 12 p.

DASOL ABRAVA. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/2011/06/ja-sao-6-milhoes-de-metros-quadrados-de-aquecimento-solar/>>. Departamento Nacional de Aquecimento Solar e Associação Brasileira de Refrigeração, Ar – condicionado, ventilação e Aquecimento. Acesso em: 10 maio 2012.

DEOREO, W.B.; MAYER, P.W. **The end uses of hot water in single family homes from flow trace analysis**. EUA: Aquacraft Inc. Report. 2000.

DMAE. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/>>. Departamento Municipal de Água e Esgoto. Acesso em: 10 jun. 2013.

DEUMAN. MACAGNAN; M. CARRAMIÑANA; R. **Estudio de colectores solares y depósitos acumuladores**. Consultoria en Energia y Cambio Climático. Chile, 2009.

DEUMAN. MACAGNAN; M. CARRAMIÑANA; R. **Fiscalización e inspección de instalaciones de sistemas solares térmicos**. Consultoria en Energia y Cambio Climático. Chile, 2011.

DUFFIE, J. A; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. 3. ed. New York: John Wiley, 2006.

ELETROBRÁS PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso da classe residencial no ano base 1987: classe residencial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1988.

ELETROBRÁS PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso da classe residencial no ano base 2005**. Rio de Janeiro: Eletrobrás Procel, 2007.

EPE, **Nota Técnica da Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais (DEA) 03/11: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2011-2020)**. Rio de Janeiro, 2011.

EN 12975-2: **EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION**. Thermal solar systems and components. solar collectors. part 2: test methods.: Bruxelas, 2006. 131 p.

FEITOSA, N.B; FILHO, C.F.M. **Quantidade de água necessária**. UFCG (Universidade Federal de Campina Grande). Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br>>. Acesso em: 9 mar. 2013.

FISCHER, S.; DRÜCK, H.; BACHMANN, S.; STREICHER, E.; ULLMANN, J. e TRAUB, B. Conventional collectors, heat stores and coatings. In: FISCHER, S. et al. **Polymeric materials for solar thermal applications**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2012.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, n. 35, p. 4107-4120, 2007.

HELIOTEK. Disponível em: <<http://www.heliotek.com.br>>. Acesso em: 08 abr. 2012.

HIRSCH, S; FRIES P. E. **Energia solar térmica**: manual sobre tecnologias, projeto e instalações. Alemanha: Comissão Europeia, 2004. 262 p.

HOTTEL, H.C.; WHILLIER, A. Evaluation of flat plate collector performance. In: **Transactions of the conference on the use of solar energy**. Tucson. 1958. v. 2, p. 74-104.

ILHA, M. S. O; GONÇALVES, O. M; KAVASSAKI, Y. **Sistemas prediais de água quente**. Escola Politécnica da USP – EPUSP, 1994.

INMETRO. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Acesso em: 20 fev. 2013.

KEILHOLZ, W. TRNSYS 17: **Transient System Simulation Program**: standard component library overview. v. 3. USA, 2010.

KEILHOLZ, W. TRNSYS 17: **Transient System Simulation Program**: using the simulation studio. v. 2. USA, 2010.

KLEIN, S.; ALVARADO, F. **TRNSYS, A Transient Simulation Program**. Madison: University of Wisconsin USA, 2010.

LOURENÇO, I. **Estudo de um Sistema de Aquecimento de Água Híbrido Gás-Solar**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2000. 125p.

MEYER, J. P; TSHIMANKINDA, M. Domestic hot water consumption in South African Townhouses. **Energy Conversion and Management**, v. 39, n. 7, p. 679-684, 1998.

MME. **Plano nacional de eficiência energética**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2011.

MORRISON, G. L.; BRAUN, J. E. System modeling and operation characteristics of thermosyphon solar water heaters. **Solar Energy**, EUA, v. 34, n. 4/5, p. 389 – 405, 1985.

MOTTA, G. C. **Redução no consumo de energia elétrica através de modificação do sistema convencional de aquecimento de água por placas de captação de calor através de radiação solar**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras – UFL, Minas Gerais, 2005. 39p.

- NASPOLINI, H. F; RUTHER, R. Agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho na habitação popular: impactos sobre a demanda de potência ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico. In: III CBENS; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 3; Belém, 2010. **Anais...** Belém, 2010.
- PASSOS, L. A. A. **Um estudo sobre os impactos técnicos e econômicos da agregação do aquecimento solar de água nos domicílios brasileiros.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2011. 126p.
- PEREIRA, B. E.; MATINS, R. F; ABREU, L. S; RUTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar.** Projeto SWERA - Solar and Wind Energy Resources Assessment. São José dos Campos. São Paulo, 2006. 64p.
- PERERA, O; HIRSCH, S; FRIES, P. **Renewable energy opportunities in the tourism industry.** França: UNEP - United Nations Environment Programme, 2003. 60 p.
- PEREZ, R; SEALS, R; STEWART, R; INEICHEN, P. A new simplified version of the Perez diffuse irradiation model for tilted surfaces. **Solar Energy**, EUA, v. 39, n. 3, p. 221-231, 1987.
- PMC. Disponível em: <<http://www.canoas.rs.gov.br>>. Prefeitura Municipal de Canoas. Acesso em: 15 jul. 2012.
- PRADO, A. T. R; ARRUDA, B. L; FILHO, B. M. A; TABORIANSKI, M. V. **Levantamento do estado da arte: energia solar. Tecnologias para habitações mais sustentáveis.** São Paulo, 2007. 60 p.
- PRADO, A. T. R; GONÇALVES, M. O. Water heating though electric shower and energy demand. **Energy and Buildings**, São Paulo, v. 29, p. 77-82, 1998.
- PROCEL. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso.** Rio de Janeiro: Programa nacional de conservação de energia elétrica, 2011.
- SALAZAR, J. P. L, C. **Economia de energia e redução do pico da curva de demanda para consumidores de baixa renda por agregação de energia solar térmica.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC, Florianópolis, 2004. 126p.
- SALAZAR, J. P.; ABREU, S. L.; COLLE, S. **Impact of compact solar domestic hot-water systems on the peak demand of a utility grid in Brazil.** Proceedings of the EuroSun. Alemanha, 2004.
- SALVADOR, E.; DAVID, R. M.; LEPETITGALAND, K. K. The energy efficiency evolution of the water heating process in Brazil's residential sector: the Procel seal program contribution. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON HEATING, COOLING AND BUILDINGS. 1., Portugal, 2008. **Anais...** Portugal, 2008
- SOLETROL. **Aquecedores solares de água.** Disponível em:<<Http://www.soletrol.com.br>>. Acesso em: 08 jan. 2011.
- SOUZA, G. K. **Comunicação privada.** 2013.

TREIS, F. L. **Simulação de sistemas de aquecimento de água por energia solar com circulação natural**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 1991. 119p.

TRZESNIEWSKI, J. A. **Electric utility interest in solar energy systems**. Master of Science – University of Wisconsin, Madison, 1995. 171 p.

VASCONCELLOS, L. E. M. LIMBERGER, M. A. C. **Energia Solar para Aquecimento de Água no Brasil**. Contribuições da Eletrobrás, Procel e Parceiros. 2012. Rio de Janeiro, 2012. 241 p.

VIANA, T. S. et al. Potencial de geração fotovoltaica com concentração. In: III CBENS - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 3., Belém, 2010. **Anais...** Belém, 2010.

VIEIRA, L. R. **Estratégias para minimizar o consumo de energia elétrica no apoio a sistemas solares de aquecimento de água**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2011. 81p.

VINE, E; DIAMONT, R; SZYDLOWSKI. Domestic hot water consumption in four low-income apartment buildings. **Energy**, v. 12, n. 6, p. 459-467, 1987.

WEISS, W. MAUTHNER, F. **Solar heat worldwide: markets and contribution to the energy**. Áustria: AEE - Institute for Sustainable Technologies, 2012. 63 p.

WILCOX, S; MARION, W. **Users manual for TMY3 Data Sets**. EUA: Technical Report. NREL/TP-581-43156, 2008.

ANEXO A - PARÂMETROS OPERACIONAIS DO COLETOR SOLAR E RESERVATÓRIO TÉRMICO

- Coeficiente linear da curva de rendimento do coletor $F_R (\tau\alpha)_n = 0,709$
- Negativo do coeficiente angular da curva de rendimento do coletor $F_R U_L = 6,443 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{hK})$
- Vazão mássica por área do coletor = $72 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$
- Coeficiente de modificação do ângulo de incidência $(b_0) = 0,1$
- Inclinação do coletor = 45°
- Número de ascensores do coletor = 6
- Diâmetro dos ascensores = $9,2 \text{ mm}$
- Diâmetro dos cabeçotes = 22 mm
- Comprimento dos cabeçotes = $1,00 \text{ m}$
- Números de nós usados na simulação = 6
- Distância entre a saída e entrada do coletor = $1,20 \text{ m}$
- Distância entre a saída do reservatório e entrada no coletor = $1,80 \text{ m}$
- Diâmetro do tubo de entrada do coletor = 22 mm
- Comprimento do tubo de entrada do coletor = 1 m
- Números de joelhos no tubo de entrada = 3

- Coeficiente de perda de calor dos tubos (entrada e saída) e isolamento = $1 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{hK})$
- Diâmetro do tubo de saída do coletor = 22 mm
- Comprimento do tubo de saída do coletor = 1 m
- Número de joelhos na saída do coletor = 3
- Altura do reservatório térmico = 0,61 m
- Distância entre o fundo do tanque e retorno para o coletor = 1,02 m
- Calor específico do fluido de trabalho = $4,19 \text{ kJ}/(\text{kgK})$
- Densidade do fluido de trabalho = $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Coeficiente de condutividade térmica do fluido no reservatório = $2,27 \text{ kJ}/(\text{mhK})$

ANEXO B - CHUVEIROS ELÉTRICOS



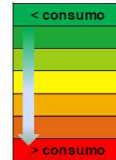
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE
E TECNOLOGIA

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM



TABELA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA - CHUVEIROS ELÉTRICOS - Edição 08/2011

CLASSES DE POTENCIA	POTENCIA (W)	UTILIZAÇÃO
A	$P \leq 2.400$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS QUENTES, COMO A REGIÃO NORTE
B	$2.400 > P \leq 3.500$	
C	$3.500 > P \leq 4.600$	
D	$4.600 > P \leq 5.700$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MÉDIOS A QUENTES, COMO A REGIÃO NORDESTE E CENTRO-OESTE
E	$5.700 > P \leq 6.800$	
F	$6.800 > P \leq 7.900$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS FRIOS, COMO AS REGIÕES SUL E SUDESTE
G	$P > 7.900$	



14/12/2011

MARCA	FAMÍLIA	MODELO	TENSÃO (V)	POTÊNCIA (W)	CONSUMO MENSAL MÁXIMO		CONSUMO MENSAL MÍNIMO		CLASSIFICAÇÃO DE POTENCIA	
					CONSUMO (kWh/mês)	ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA (°C)	CONSUMO (kWh/mês)	VAZÃO (l/min)		
CARDAL	D U C H A S U P R E M A	DUCHA SUPREMA	127	4500	20,3	20,6	11,8	3,7	C	
			127	5500	23,1	22,7	13,4	4,1	D	
		ASTRA DUCHA	220	4500	19,5	19,9	12,0	3,9	C	
			220	5500	24,4	24,5	13,9	4,4	D	
		DUCHA SUPREMA PLUS	127	4500	20,3	20,6	11,8	3,7	C	
			127	5500	23,1	22,7	13,4	4,1	D	
	S U P R E M A	ART BANHO	220	4500	19,5	19,9	12,0	3,9	C	
			220	5500	24,4	24,5	13,9	4,4	D	
		DUCHA COMPACTA	127	4500	20,3	20,6	11,8	3,7	C	
			127	5500	23,1	22,7	13,4	4,1	D	
		ASTRA ÚNICA	220	4500	19,5	19,9	12,0	3,9	C	
			220	5500	24,4	24,5	13,9	4,4	D	
	H I P E R	HIPER DUCHA	127	5500	23,7	22,7	9,1	3,1	D	
			220	5500	23,7	22,1	9,9	3,3	D	
		DIVINA DUCHA	220	6800	29,6	28,3	10,8	3,3	E	
			220	7500	31	28,4	11,5	3,5	F	
		HIPER DUCHA CLÁSSICA	127	5500	23,7	22,7	9,1	3,1	D	
			220	5500	23,7	22,1	9,9	3,3	D	
	D U C H A	HIPER DUCHA PRESSURIZADA	127	5500	23,7	22,7	9,1	3,1	D	
			220	5500	23,7	22,1	9,9	3,3	D	
		DIVINA DUCHA PRESSURIZADA	220	6800	29,6	28,3	10,8	3,3	E	
			220	7500	31	28,4	11,5	3,5	F	
		D U C H Ã O	DUCHÃO	127	5500	24,8	20,9	9,9	3,0	D
				220	5500	25,3	23,8	11	3,4	D
	220			6800	29,6	28,3	10,8	3,3	E	
	DUCHA TOTAL		220	7500	31,3	30,9	11,5	3,3	F	
			127	5500	24,8	22,1	10,5	3,4	D	
			220	5500	25,3	25,8	11	3,4	D	
	D U C H A	DUCHA 5 COMPACTA (BR/CR)	220	5500	22,8	24,2	9,1	3,0	D	
			220	5200	21,9	23,6	13,3	4,6	D	
			220	6500	26,9	29,2	9,9	3,4	E	
			220	7800	31,8	33,8	9,9	3,4	F	
			DUCHA 5 STANDARD, LUXO E SUPER LUXO	127	5500	22,8	24,2	9,1	3,0	D
				220	5200	21,9	23,6	13,3	4,6	D
		DUCHA CLASSICA (BR/CR)	220	6500	26,9	29,2	9,9	3,4	E	
			220	7800	31,8	33,8	9,9	3,4	F	
			DUCHA CLASSICA C/Desviador (BR/CR)	127	5500	23,6	24,9	9,3	3,0	D
				220	7800	32,1	33,1	10,0	3,4	F
			DUCHA CLASSICA C/Desviador (BR/CR)	127	5500	22,8	24,1	9,1	3,0	D
				220	7800	31,7	33,6	10,1	3,4	F
	DUCHA ELETRÔNICA	DUCHA ELETRÔNICA BLINDADA	220	6500	27,4	27,9	16,7	3,0	E	
			220	7800	34,3	34,6	17,9	3,0	F	
	P D O T C E H N A Z A	DUCHA POTENZA (BR/CR)	127	5500	22,8	24,2	9,1	3,0	D	
			220	7800	31,8	33,8	9,9	3,0	F	
		DUCHA POTENZA C/DESVIADOR (BR/CR)	127	5500	22,8	24,2	9,1	3,0	D	
			220	7800	31,8	33,8	9,9	3,0	F	
		DUCHA POTENZA PRESSURIZADA (BR/CR)	127	5500	22,8	24,2	9,1	3,0	D	
			220	7800	31,8	33,8	9,9	3,0	F	
DUCHA POTENZA PRESSURIZADA C/DESV. (BR/CR)		127	5500	22,8	24,2	9,1	3,0	D		
		220	7800	31,8	33,8	9,9	3,0	F		
DUCHA POTENZA DIGITAL PRESSURIZADA (BR/CR)	220	7800	33,2	34,5	18,4	3,4	F			
	DUCHA FLORENZA	DUCHA FLORENZA (BR/CR)	127	5500	22,8	24,2	9,1	3,0	D	
220		7800	31,8	33,8	9,9	3,0	F			
DUCHA FLORENZA C/DESVIADOR (BR/CR)		127	5500	22,8	24,2	9,1	3,0	D		
220	7800	31,8	33,8	9,9	3,0	F				
CEMAPI	CHUVEIRO	CT41237S	127	3700	21,4	19,4	14,3	4,1	C	
		CT41244S	127	4400	25,4	22,8	17,7	4,9	C	
		CT42239S	220	3900	21,2	20,1	11,7	3,1	C	
		CT42244S	220	4400	23,4	20,1	12,5	3,4	C	
		CT42255S	220	5500	28,8	25,6	13,1	3,6	D	
CORONA	DUCHA SS	DUCHA SS	127	4400	19,2	21,0	12,7	3,7	C	
			127	5400	23,0	23,2	15,3	5,1	D	
			220	4400	18,9	20,8	12,5	3,7	C	
			220	5200	23,1	24,0	15,1	4,9	D	
	BALLERINA	BALLERINA	127	4400	18,9	20,8	12,5	3,9	C	
			127	5400	22,9	25,3	15,0	5,1	D	
			220	4400	18,9	20,8	12,5	3,9	C	
			220	5350	22,7	24,2	14,8	4,7	D	

NOTA: Procure sempre pelo fio terra. Este deve ter uma etiqueta com a seguinte frase: "Importante para sua segurança. Para evitar riscos de choques elétricos, o fio terra deste aparelho deve ser conectado a um sistema de aterramento".
Estes Produtos estão também de acordo com as Normas Brasileiras de Segurança

"ESTES PRODUTOS TÊM SUA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SUPERIOR A 95%"



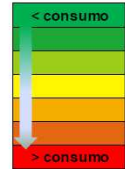
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE
E TECNOLOGIA

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM



TABELA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA - CHUVEIROS ELÉTRICOS - Edição 06/2011

CLASSES DE POTENCIA	POTENCIA (W)	UTILIZAÇÃO
A	$P \leq 2.400$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS QUENTES, COMO A REGIÃO NORTE
B	$2.400 > P \leq 3.500$	
C	$3.500 > P \leq 4.600$	
D	$4.600 > P \leq 5.700$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MÉDIOS A QUENTES, COMO A REGIÃO NORDESTE E CENTRO-OESTE
E	$5.700 > P \leq 6.800$	
F	$6.800 > P \leq 7.900$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS FRIOS, COMO AS REGIÕES SUL E SUDESTE
G	$P > 7.900$	



MARCA	FAMÍLIA	MODELO	TENSÃO (V)	POTÊNCIA (W)	CONSUMO MENSAL MÁXIMO		CONSUMO MENSAL MÍNIMO		CLASIFICACÃO DE POTENCIA
					CONSUMO (kWh/mês)	ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA (°C)	CONSUMO (kWh/mês)	VAZÃO (l/min)	
L O R E N Z E T T I	4	DUCHA ADVANCED MULTITEMPERATURAS	127	5500	25,6	24,1	11,3	3,4	D
			220	6000	27,8	25,8	11,5	3,4	E
			220	7500	34,9	30,9	13,5	4,2	F
		DUCHA ADVANCED TURBO MULTITEMPERATURAS	127	5500	25,6	24,1	11,3	3,4	D
			220	6000	27,8	25,8	11,5	3,4	E
			220	7500	34,9	30,8	13,4	4,2	F
		BELLA DUCHA	127	4800	22,4	23,1	9,5	3,0	D
			127	5500	25,3	26,1	9,6	3,0	D
			220	6800	28,6	29,2	9,9	3,2	E
		DUCHA FASHION	127	5500	25,1	25,9	9,6	3,0	D
			220	6800	28,2	29,2	10,0	3,2	E
			220	7500	31,7	33,0	10,0	3,2	F
NOTABILLE	DUCHA ELETRONICA	ELETRONICO	127	5200	23,1	24,4	10,1	3,0	D
			220	6600	28,7	30,7	10,7	3,0	E
DUCHA DIGITAL BIVOLT	DIGITAL BIVOLT	127	5500	25,8	26,8	10,1	3,0	D	
		220	7700	32,3	37,2	10,5	3,0	F	
S I N T E X	NOVA DUCHA	NOVA DUCHA	127	4400	18,4	20,8	11,2	3,3	C
			127	5500	19,4	22,3	11,5	3,3	D
			220	4400	18,2	18,8	11,8	3,5	C
			220	5500	21,1	22,0	11,9	3,8	D
	ELETRÔNICA	DUCHA ELETRÔNICA	127	5400	23,4	25,3	10,2	3,5	D
			220	6500	26,6	27,6	9,6	3,5	E
T H E R M O S Y S T E M	DUCHA MULTITEMPERATURA	DUCHA 8T	127	5500	22,2	21,8	12,3	4,1	D
			220	6800	31,5	32,1	9,41	3,0	E
		DUCHA SPOT 8T	127	5500	23,8	24,7	9,8	3,7	D
			220	6800	30,4	35,1	10,2	3,9	E
	DUCHA DIGITAL	DÉLIUS 01	127	5500	25,1	27,3	9,1	3,0	D
			220	7700	33,2	36,4	9,2	3,0	F
	DUCHA ELETRÔNICA	THERMO SYSTEM	127	5500	22,9	21,9	11,9	3,2	D
			220	6800	31,1	26,9	10,9	3,0	E
			220	7700	34,7	34,9	18,0	3,0	F
			127	5500	22,9	21,9	11,9	3,2	D
THERMO SYSTEM TURBO	220	7700	34,7	34,9	18,0	3,0	F		
	127	5200	22,5	21,6	8,3	3,2	D		
ZAGONEL	DUCHA	MASTER	220	6600	29,4	29,2	9,9	3,2	E

NOTA: Procure sempre pelo fio terra. Este deve ter uma etiqueta com a seguinte frase: "Importante para sua segurança. Para evitar riscos de choques elétricos, o fio terra deste aparelho deve ser conectado a um sistema de aterramento".

Estes Produtos estão também de acordo com as Normas Brasileiras de Segurança

"ESTES PRODUTOS TÊM SUA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SUPERIOR A 95%"

ANEXO C - RELATÓRIO PARCIAL DO MÊS JANEIRO DE 2012

Relatório Gerado por GRAFMED CLIENT v.1.1

USER: SLECAS01\AESXXXXX (2012-04-24)

DISPOSITIVOS	MAX TIME	MÁXIMO
CNA3.AL.AL31.P	23/01/2012 22:36	4,370010417
	24/01/2012 17:25	1,50001039
TIME[1]	O# CNA3.AL.AL31.P	
01/01/2012 00:00	2,420010399	
01/01/2012 00:01	2,420010399	
01/01/2012 00:02	2,460010399	
01/01/2012 00:03	2,460010399	
01/01/2012 00:04	2,460010399	
01/01/2012 00:05	2,460010399	
01/01/2012 00:06	2,430010399	
01/01/2012 00:07	2,430010399	
01/01/2012 00:08	2,430010399	
01/01/2012 00:09	2,430010399	
01/01/2012 00:10	2,430010399	
01/01/2012 00:11	2,430010399	
01/01/2012 00:12	2,430010399	
01/01/2012 00:13	2,430010399	
01/01/2012 00:14	2,430010399	
01/01/2012 00:15	2,430010399	
01/01/2012 00:16	2,430010399	
01/01/2012 00:17	2,430010399	
01/01/2012 00:18	2,430010399	
01/01/2012 00:19	2,430010399	
01/01/2012 00:20	2,440010399	
01/01/2012 00:21	2,440010399	
01/01/2012 00:22	2,440010399	
01/01/2012 00:23	2,440010399	
01/01/2012 00:24	2,440010399	
01/01/2012 00:25	2,410010398	
01/01/2012 00:26	2,410010398	
01/01/2012 00:27	2,410010398	
01/01/2012 00:28	2,410010398	
01/01/2012 00:29	2,410010398	
01/01/2012 00:30	2,400010398	
01/01/2012 00:31	2,400010398	
01/01/2012 00:32	2,400010398	
01/01/2012 00:33	2,400010398	
01/01/2012 00:34	2,400010398	
01/01/2012 00:35	2,380010398	
01/01/2012 00:36	2,380010398	
01/01/2012 00:37	2,380010398	
01/01/2012 00:38	2,380010398	
01/01/2012 00:39	2,370010398	
01/01/2012 00:40	2,370010398	
01/01/2012 00:41	2,370010398	
01/01/2012 00:42	2,370010398	
01/01/2012 00:43	2,370010398	
01/01/2012 00:44	2,380010398	
01/01/2012 00:45	2,380010398	
01/01/2012 00:46	2,380010398	
01/01/2012 00:47	2,380010398	
01/01/2012 00:48	2,380010398	
01/01/2012 00:49	2,380010398	
01/01/2012 00:50	2,380010398	
01/01/2012 00:51	2,380010398	
01/01/2012 00:52	2,380010398	
01/01/2012 00:53	2,380010398	
01/01/2012 00:54	2,400010398	
01/01/2012 00:55	2,400010398	
01/01/2012 00:56	2,400010398	
01/01/2012 00:57	2,400010398	
01/01/2012 00:58	2,400010398	
01/01/2012 00:59	2,340010398	
:	:	
31/01/2012 23:59	3,820010412	

ANEXO D - HORÁRIOS MÉDIOS MENSAIS

Tempo(h)	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
1	0,33	0,3	0,32	0,33	0,36	0,32	0,36	0,37	0,4	0,36	0,43	0,34
2	0,29	0,29	0,3	0,31	0,34	0,31	0,33	0,34	0,37	0,34	0,41	0,32
3	0,28	0,28	0,29	0,3	0,33	0,3	0,31	0,33	0,36	0,33	0,39	0,31
4	0,28	0,29	0,28	0,3	0,33	0,31	0,32	0,34	0,37	0,33	0,39	0,31
5	0,29	0,28	0,28	0,3	0,34	0,3	0,33	0,33	0,37	0,33	0,39	0,33
6	0,29	0,26	0,28	0,3	0,32	0,31	0,34	0,33	0,36	0,31	0,36	0,31
7	0,29	0,29	0,29	0,31	0,32	0,34	0,35	0,34	0,36	0,31	0,35	0,31
8	0,31	0,29	0,31	0,31	0,33	0,36	0,35	0,36	0,37	0,33	0,37	0,32
9	0,32	0,3	0,3	0,33	0,36	0,37	0,38	0,38	0,4	0,36	0,39	0,35
10	0,34	0,32	0,31	0,35	0,41	0,39	0,4	0,39	0,42	0,38	0,41	0,4
11	0,36	0,34	0,31	0,37	0,43	0,39	0,4	0,42	0,44	0,4	0,43	0,41
12	0,36	0,35	0,34	0,38	0,41	0,4	0,41	0,42	0,43	0,4	0,43	0,41
13	0,35	0,35	0,35	0,37	0,41	0,41	0,4	0,41	0,43	0,4	0,44	0,4
14	0,35	0,34	0,34	0,38	0,41	0,4	0,39	0,41	0,44	0,4	0,43	0,4
15	0,36	0,35	0,35	0,38	0,41	0,41	0,4	0,43	0,44	0,41	0,42	0,41
16	0,37	0,38	0,39	0,41	0,43	0,4	0,4	0,44	0,46	0,42	0,43	0,43
17	0,41	0,4	0,4	0,45	0,49	0,41	0,46	0,45	0,49	0,44	0,46	0,51
18	0,48	0,48	0,47	0,5	0,61	0,48	0,53	0,5	0,52	0,51	0,51	0,58
19	0,56	0,56	0,54	0,57	0,63	0,54	0,56	0,54	0,62	0,52	0,58	0,62
20	0,58	0,59	0,59	0,57	0,62	0,56	0,56	0,6	0,65	0,62	0,63	0,62
21	0,52	0,58	0,58	0,53	0,59	0,54	0,55	0,6	0,64	0,61	0,62	0,59
22	0,49	0,54	0,56	0,49	0,54	0,46	0,49	0,56	0,61	0,56	0,6	0,54
23	0,43	0,51	0,51	0,44	0,46	0,43	0,45	0,51	0,52	0,47	0,53	0,46
24	0,38	0,41	0,42	0,37	0,4	0,39	0,39	0,43	0,44	0,41	0,47	0,4

ANEXO E - ARQUIVO TMY PARCIAL

```

<userdefined>
<longitude> 51.2
<latitude> -30.0
<gmt> -3
<interval> 1
<firsttime> 1
<var> IGLOB_H <col> 4 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> -1 !...to get radiation in w/m²
<var> IBEAM_N <col> 5 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> -1 !...to get radiation in w/m²
<var> IDIFF_H <col> 6 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> -1 !...to get radiation in w/m²
<var> TAMB <col> 8 <interp> 2 <add> 0 <mult> 0.1 <samp> 0 !...to get °C
<var> RHUM <col> 9 <interp> 1 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0 !...to get rel. hum. in %
<var> udef1 <col> 7 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> -1 !...to get ... in ...
<data>
1 1 1 0 0 0 0 268 0
1 1 2 0 0 0 0 268 0
1 1 3 0 0 0 0 268 0
1 1 4 0 0 0 0 268 0
1 1 5 0 0 0 0 268 0
1 1 6 0 0 0 0 268 0
1 1 7 0 0 0 0 268 0
1 1 8 0 0 0 0 268 0
1 1 9 154 37 117 343 268 0
1 1 10 374 203 171 632 268 0
1 1 11 596 413 182 897 268 0
1 1 12 778 583 196 1119 268 0
1 1 13 924 724 200 1285 268 0
1 1 14 1010 807 204 1381 268 0
1 1 15 1032 829 203 1403 268 0
1 1 16 1000 809 190 1347 268 0
1 1 17 844 628 216 1219 268 0
1 1 18 639 390 249 1027 268 0
1 1 19 560 435 125 783 268 0
1 1 20 344 250 95 505 268 0
1 1 21 102 31 71 212 268 0
1 1 22 0 0 0 0 268 0
1 1 23 0 0 0 0 268 0
1 1 24 0 0 0 0 268 0
1 1 2 1 0 0 0 0 277 0
1 1 2 2 0 0 0 0 277 0
1 1 2 3 0 0 0 0 277 0
1 1 2 4 0 0 0 0 277 0
1 1 2 5 0 0 0 0 277 0
1 1 2 6 0 0 0 0 277 0
1 1 2 7 0 0 0 0 277 0
1 1 2 8 0 0 0 0 277 0
1 1 2 9 154 38 116 341 277 0
1 1 2 10 366 189 176 630 277 0
1 1 2 11 572 368 204 895 277 0
1 1 2 12 754 537 217 1118 277 0
1 1 2 13 896 674 222 1284 277 0
1 1 2 14 983 760 223 1381 277 0
1 1 2 15 1063 874 188 1402 277 0
1 1 2 16 495 57 438 1347 277 0

```

ANEXO F - ARQUIVO PARCIAL DE SAÍDA DE DADOS DO SIMULADOR

TIME	T_ambiente	To_coletor	To_reservatório	To_águ
+1.0000000000000000E+00	+0.0000000000000000E+00	+3.0000000000000000E+01	+3.0000000000000000E+01	+0.0000000000000000E+00
+2.0000000000000000E+00	+2.6800000000000001E+01	+2.9980963768382544E+01	+2.6800000000000001E+01	+2.9980963768382544E+01
+3.0000000000000000E+00	+2.6800000000000001E+01	+2.9959315307283415E+01	+2.6800000000000001E+01	+2.9980963768382544E+01
+4.0000000000000000E+00	+2.6800000000000001E+01	+2.9938036035549324E+01	+2.6800000000000001E+01	+2.9963777089098631E+01
+5.0000000000000000E+00	+2.6800000000000001E+01	+2.9917103715661820E+01	+2.6800000000000001E+01	+2.9946562895328448E+01
+6.0000000000000000E+00	+2.6800000000000001E+01	+2.9896497906657867E+01	+2.6800000000000001E+01	+2.982932060957172E+01
+7.0000000000000000E+00	+2.6800000000000001E+01	+2.9876199815276092E+01	+2.6800000000000001E+01	+2.9912094475965748E+01
+8.0000000000000000E+00	+2.6800000000000001E+01	+1.7000000000000000E+01	+2.1228108655971983E+01	+4.0000000000000000E+01
+9.0000000000000000E+00	+2.6800000000000001E+01	+1.8105261017246313E+01	+2.8310680081075308E+01	+2.9835834539945406E+01
+1.0000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+2.1667287779384107E+01	+3.3682305342046043E+01	+3.0199429948956272E+01
+1.1000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+2.8258487140859895E+01	+4.2464229084594656E+01	+3.3075771474869271E+01
+1.2000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+3.1454823512802445E+01	+4.6963576372068374E+01	+3.6802949667268237E+01
+1.3000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+3.5507259922941550E+01	+5.1762331230917503E+01	+4.1165197091336196E+01
+1.4000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+4.0202659731922246E+01	+5.6214616124962632E+01	+4.5855688341154469E+01
+1.5000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+4.5268186494369239E+01	+6.0172344036175062E+01	+5.0529619805226103E+01
+1.6000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+5.0221102128599891E+01	+6.382472585945434E+01	+5.4927003262783000E+01
+1.7000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+5.4739050655357531E+01	+6.5748728161671480E+01	+5.8386123896611949E+01
+1.8000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+5.7967503532105994E+01	+6.5939450030006782E+01	+6.0286637037663844E+01
+1.9000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+1.7000000000000000E+01	+3.3106881927234049E+01	+4.0000000000000000E+01
+2.0000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+1.7000000000000000E+01	+2.5778339561410842E+01	+4.0000000000000000E+01
+2.1000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+1.7000000000000000E+01	+2.1137546227784206E+01	+4.0000000000000000E+01
+2.2000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+1.7308985059030974E+01	+2.3425758767457367E+01	+5.8647366237341608E+01
+2.3000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+1.7749008164850920E+01	+2.3836704795156038E+01	+5.8086457690374587E+01
+2.4000000000000000E+01	+2.6800000000000001E+01	+1.8308050099396763E+01	+2.4305134286470036E+01	+5.755682884246624E+01
+2.5000000000000000E+01	+2.7250000000000000E+01	+1.8975892309850608E+01	+2.4743634576055603E+01	+5.7056621363422638E+01
+2.6000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+1.9732246156479214E+01	+2.5257993074190338E+01	+5.6581452912683219E+01
+2.7000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+2.0552820010515804E+01	+2.5959134512250621E+01	+5.6123774848986140E+01
+2.8000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+2.1395357281249105E+01	+2.6332626770041333E+01	+5.5680561768038210E+01
+2.9000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+2.2236508789267628E+01	+2.6900104197060088E+01	+5.5249361452851744E+01
+3.0000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+2.3034694411068575E+01	+2.7291883313758845E+01	+5.4828337725861687E+01
+3.1000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+2.3769675989076063E+01	+2.7522419822613935E+01	+5.4416161640436230E+01
+3.2000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+1.7000000000000000E+01	+2.1596230941848162E+01	+4.0000000000000000E+01
+3.3000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+1.8261165632045699E+01	+2.9970242833620393E+01	+5.3348687765807938E+01
+3.4000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+2.361804965777538E+01	+3.6090604338719487E+01	+5.2724592836090416E+01
+3.5000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+2.9413522219169547E+01	+4.3596057831619738E+01	+5.215938341107975E+01
+3.6000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+3.7178813850434103E+01	+5.1828003562998006E+01	+5.1621076648033771E+01
+3.7000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+4.4076702983113194E+01	+5.8379718294591335E+01	+5.1105411208895616E+01
+3.8000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+4.9908944297596960E+01	+6.3885607135622898E+01	+5.5029390117731410E+01
+3.9000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+5.5014715144029708E+01	+6.833963607652274E+01	+5.9664208788226030E+01
+4.0000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+5.9474059387613558E+01	+6.7223850402417042E+01	+6.1613460733936968E+01
+4.1000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+6.0821913552375094E+01	+7.0902926817300127E+01	+6.4607661679039225E+01
+4.2000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+6.428558890730073E+01	+7.1399963760316879E+01	+6.647927857184361E+01
+4.3000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+1.7000000000000000E+01	+3.5538319079548216E+01	+4.0000000000000000E+01
+4.4000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+1.7000000000000000E+01	+2.7616531620099956E+01	+4.0000000000000000E+01
+4.5000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+1.7000000000000000E+01	+2.2417383681420279E+01	+4.0000000000000000E+01
+4.6000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+1.7464715522030058E+01	+2.7603042057719627E+01	+6.4783506646302001E+01
+4.7000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+1.8098330803096431E+01	+2.4858507985044508E+01	+6.4241150629294836E+01
+4.8000000000000000E+01	+2.7700000000000003E+01	+1.890701993690860E+01	+2.5725287819476671E+01	+6.3724757032824066E+01
+4.9000000000000000E+01	+2.6650000000000002E+01	+1.9835144437360854E+01	+2.5535389121939019E+01	+6.3222441301745164E+01
+5.0000000000000000E+01	+2.5600000000000001E+01	+2.0812909850296009E+01	+2.5600000000000001E+01	+6.2731982325111566E+01
+5.1000000000000000E+01	+2.5600000000000001E+01	+2.1729103338152267E+01	+2.5572598861528245E+01	+6.2258664248677810E+01
+5.2000000000000000E+01	+2.5600000000000001E+01	+2.257965087553924E+01	+2.472310275726876E+01	+6.1799860631696880E+01

ANEXO G - COLETORES SOLARES



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA
PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM



33 Empresas
47 Marcas
208 MODELOS ETIQUETADOS
133 CÍSEL0 PROCEL

63,94%



PROGRAMA NACIONAL
DE AVALIAÇÃO DA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

SISTEMAS E EQUIPAMENTOS PARA AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA - COLETORES SOLARES - EDIÇÃO 03/13

CLASSES	ÍNDICE BANHO	BANHO	
		TOTAL	%
A	$P_{me} > 77,0$	133,0	63,9
B	$77,0 \geq P_{me} > 71,0$	49,0	23,6
C	$71,0 \geq P_{me} > 61,0$	26,0	12,5
D	$61,0 \geq P_{me} > 51,0$	0,0	0,0
E	$51,0 \geq P_{me} > 41,0$	0,0	0,0
		208,0	

Critérios de Classificação
Produção de Energia Mensal Específica
em m² (kWh/m².m²)



APLICAÇÃO: BANHO

**Selo de Eficiência Energética, concedido pelo PROCEL (www.eletrabras.com.br/procel)*

1 FABRICANTE	2 MARCA	3 MODELO	4 PRESSÃO DE FUNCIONAMENTO		5 ÁREA EXTERNA DO COLETOR (m ²)	6 PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA Por Coletor (kWh/m ² .m ²)	7 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MÉDIA (%)	8 CLASSIFICAÇÃO	9 MATERIAL SUPERFÍCIE ABSORVEDORA	10 F _t (td)/h	11 FUL	12 SELO PROCEL*
			(kPa)	(mca)								
AÇO NOBRE	AÇO NOBRE	ANB2	400,0	40,8	2,00	150,6	75,3	54,6	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
AQUATHERM	AQUATHERM	AQUASOL 1	400,0	40,8	1,00	75,3	75,3	54,6	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
AQUATHERM	AQUATHERM	AQUASOL 1,5	392,0	40,0	1,50	113,0	75,3	54,6	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
AQUATHERM	AQUATHERM	AQUASOL 2,0	392,0	40,0	2,00	150,6	75,3	54,6	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
AQUATHERM	AQUATHERM	AQUASOL 2,0 H	392,0	40,0	2,00	150,6	75,3	54,6	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
AQUECEMAX	AQUECE MAIS	LMPV 1,0	392,0	40,0	1,01	72,4	71,7	51,5	ALUMÍNIO	0,707	7,441	
AQUECEMAX	AQUECE MAIS	LMPV 2,0	392,0	40,0	2,01	149,7	74,5	54,0	ALUMÍNIO	0,695	6,182	
ARKSOL	ARKSOL	SATURNO AP 2000	400,0	40,8	1,98	154,8	78,2	56,3	ALUMÍNIO	0,753	6,700	SIM
BOSCH	BUDERUS	SKN 3,0	600,0	61,2	2,37	210,0	88,6	63,2	COBRE	0,743	3,933	SIM
BOSCH	BUDERUS	SKS 4,0	1000,0	102,0	2,37	205,7	88,8	62,0	COBRE	0,794	4,539	SIM
BOSCH	BOSCH	FCB-1S	600,0	61,2	2,08	172,9	83,1	59,4	COBRE	0,719	4,118	SIM
BOSCH	BOSCH	FCC-1S	600,0	61,2	2,08	182,8	87,9	62,6	COBRE	0,749	3,888	SIM
BOSCH	BOSCH	FC224-2V	600,0	61,2	2,37	213,2	90,0	64,2	ALUMÍNIO	0,750	4,030	SIM
BRAUER	ARGUS	APOLO CROMO SUN V 1,50 x 0,85	392,0	40,0	1,28	92,4	72,3	52,9	ALUMÍNIO	0,696	7,351	
BRAUER	ARGUS	APOLO CROMO SUN V 1,75 x 0,85	392,0	40,0	1,49	107,6	72,2	52,9	ALUMÍNIO	0,696	7,351	
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA 1,00 x 1,00 x 2,00 x 0,85	392,0	40,0	1,70	122,7	72,2	52,9	ALUMÍNIO	0,696	7,351	
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA 1,00 x 1,00 x 1,00	392,0	40,0	1,00	77,2	77,2	55,8	ALUMÍNIO	0,701	6,177	SIM
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA V 1,00 x 1,00	392,0	40,0	1,00	77,2	77,2	55,3	ALUMÍNIO	0,689	6,116	SIM
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA V 1,50 x 1,00	392,0	40,0	1,50	115,6	77,1	55,3	ALUMÍNIO	0,689	6,116	SIM
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA V 1,75 x 1,00	392,0	40,0	1,75	134,9	77,1	55,3	ALUMÍNIO	0,689	6,116	SIM
BRAUER	ARGUS	APOLO PRATA V 2,00 x 1,00	392,0	40,0	2,00	154,2	77,1	55,3	ALUMÍNIO	0,689	6,116	SIM
CENTER SOL	CENTER SOL	ST-CS A051-21	400,0	40,8	2,00	150,6	75,3	54,6	ALUMÍNIO	0,696	6,183	

A relação custo/benefício dos coletores pode ser avaliada pelo resultado da divisão do custo do coletor individual pela PME (coluna 6 desta tabela) desde mesmo coletor. Quanto menor o valor encontrado, melhor será esta relação para o usuário.

20/2/2013

APLICAÇÃO: BANHO

*Selão de Eficiência Energética, concedido pelo PROCEL (www.eletrabras.com.br/procel)

1 FABRICANTE	2 MARCA	3 MODELO	4 PRESSÃO DE FUNCIONAMENTO		5 ÁREA EXTERNA DO COLETOR (m ²)	6 PRODUÇÃO MÉDIA MENSAL DE ENERGIA		7 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MÉDIA (%)	8 CLASSIFICAÇÃO	9 MATERIAL SUPERFÍCIE ABSORVEDORA	10 F _r (tau)n	11 F _{UL}	12 SELO PROCEL*
			(Pa)	(mca)		Por Coletor	Por m ² (Específica)						
SOLETRON	SOLARMAX	SOLARMAX MINI	392,0	40,0	1,02	68,8	67,5	53,8	C	ALUMÍNIO	0,696	6,150	
SOLETRON	SOLOUENT	SOLOUENT 1,60m2	400,0	40,3	1,39	128,2	80,6	59,7	A	ALUMÍNIO	0,749	6,074	SIM
SOLETRON	SOLOUENT	SOLOUENT 2,0m2	400,0	40,3	2,00	161,2	80,6	59,7	A	ALUMÍNIO	0,749	6,074	SIM
SOLETRON	POPSOL	POPSOL 1,60m2	400,0	40,3	1,39	128,2	80,6	59,7	A	ALUMÍNIO	0,749	6,074	SIM
SOLETRON	POPSOL	POPSOL 2,0m2	400,0	40,3	2,00	161,2	80,6	59,7	A	ALUMÍNIO	0,749	6,074	SIM
SOLETRON	POPSOL PRIME	POPSOL PRIME INOX 1,60m2	400,0	40,3	1,02	68,8	67,5	53,8	C	ALUMÍNIO	0,686	6,150	SIM
SOLETRON	POPSOL PRIME	POPSOL PRIME INOX 1,60m2	400,0	40,3	1,39	127,3	80,6	59,7	A	ALUMÍNIO	0,749	6,074	SIM
SOLETRON	SOLETRON PRIME INOX	SOLETRON PRIME INOX 2,0m2	400,0	40,3	2,00	161,2	80,6	59,7	A	ALUMÍNIO	0,749	6,074	SIM
SOLIS	SOLIS	MEU SOL V2.0	400,0	40,3	2,00	165,9	83,0	54,6	A	ALUMÍNIO	0,750	5,900	SIM
SOLTEC	SOLTEC	ST-CS A050-10	400,0	40,3	1,00	75,3	75,3	54,6	B	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
SOLTEC	SOLTEC	ST-CS A050-15	400,0	40,3	1,50	113,0	75,3	54,6	B	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
SOLTEC	SOLTEC	ST-CS A050-20	400,0	40,3	2,00	150,6	75,3	54,6	B	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
SOLTEC	SOLTEC	ST-CS A050-20H	400,0	40,3	2,00	150,6	75,3	54,6	B	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
SOLTEC	SOLTEC	ST-CS A050-14	400,0	40,3	1,40	105,4	75,3	54,6	B	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
SOLTEC	SOLTEC	ST-CS A050-14H	400,0	40,3	1,50	112,9	75,3	54,6	B	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
SOLTEC	SOLTEC	ST-CS A050-17	400,0	40,3	1,70	128,0	75,3	54,6	B	ALUMÍNIO	0,696	6,183	
TÉGULA	TÉGULA	PYTL1.0	600,0	61,2	1,00	72,2	72,2	52,1	B	ALUMÍNIO	0,691	5,511	
TERMOTRON	JMS	CSV/A9-176	392,0	40,0	1,79	133,0	74,3	56,9	B	ALUMÍNIO	0,732	6,613	
TERMOTRON	JMS	MAXCOP GOLD A9V/4.1	392,0	40,0	1,01	78,9	78,1	55,9	A	ALUMÍNIO	0,748	7,441	SIM
TERMOTRON	JMS	MAXCOP GOLD A9V-2.0	392,0	40,0	2,00	154,6	77,3	56,7	A	ALUMÍNIO	0,756	7,292	SIM
TERMOTRON	JMS	MAXCOP GOLD A9V-1.6	392,0	40,0	1,61	124,5	77,3	56,7	A	ALUMÍNIO	0,756	7,292	SIM
TERMOTRON	JMS	MAXCOP GOLD A14H-1.6	392,0	40,0	2,00	154,6	77,3	56,7	A	ALUMÍNIO	0,756	7,292	SIM
TERMOTRON	JMS	MAXCOP GOLD A18H-2.0	392,0	40,0	2,00	154,6	77,3	56,7	A	ALUMÍNIO	0,756	7,292	SIM
TOSI	JELLY FISH	JF 10	392,0	40,0	1,00	79,8	79,8	57,8	A	ALUMÍNIO	0,728	6,180	SIM
TOSI	JELLY FISH	JF 16	392,0	40,0	1,61	128,5	79,8	57,8	A	ALUMÍNIO	0,728	6,180	SIM
TOSI	RHEEM	JF 10	392,0	40,0	1,00	79,8	79,8	57,8	A	ALUMÍNIO	0,728	6,180	SIM
TOSI	RHEEM	JF 16	392,0	40,0	1,61	128,5	79,8	57,8	A	ALUMÍNIO	0,728	6,180	SIM
TOSI	JELLY FISH	JF 20	392,0	40,0	2,00	158,6	79,8	57,8	A	ALUMÍNIO	0,728	6,180	SIM
TRANSSSEN	TRANSSSEN	BAHAMAS 9T III V1.7	400,0	40,3	1,72	142,8	83,0	59,1	A	ALUMÍNIO	0,745	6,026	SIM
TRANSSSEN	TRANSSSEN	BAHAMAS 9T III V2.0	400,0	40,3	2,00	166,0	83,0	59,1	A	ALUMÍNIO	0,745	6,026	SIM
TRANSSSEN	TRANSSSEN	ITAPUÁ V1.7	400,0	40,3	1,73	133,4	77,1	54,8	A	ALUMÍNIO	0,709	6,443	SIM
TRANSSSEN	TRANSSSEN	ITAPUÁ H1.7	400,0	40,3	1,73	133,4	77,1	54,8	A	ALUMÍNIO	0,709	6,443	SIM
TRANSSSEN	TRANSSSEN	ITAPUÁ V2.0	400,0	40,3	2,02	155,7	77,1	54,8	A	ALUMÍNIO	0,709	6,443	SIM
TRANSSSEN	TRANSSSEN	ITAPUÁ VC 1.0	400,0	40,3	1,00	71,8	71,8	51,5	B	ALUMÍNIO	0,667	6,431	
TRANSSSEN	TRANSSSEN	ITAPUÁ VC H2.0	400,0	40,3	2,00	143,6	71,8	51,5	B	ALUMÍNIO	0,667	6,431	
TRANSSSEN	TRANSSSEN	ITAPUÁ V1.4	400,0	40,3	1,41	101,2	71,8	51,5	B	ALUMÍNIO	0,667	6,431	SIM
TRANSSSEN	TRANSSSEN	MAGNUM V2.0	400,0	40,3	2,00	172,6	86,3	61,6	A	ALUMÍNIO	0,791	6,708	SIM
TRANSSSEN	TRANSSSEN	ÔNIX 1.2	400,0	40,3	1,21	101,0	83,4	60,0	A	POLÍMERO	0,780	0,720	SIM
TRANSSSEN	TRANSSSEN	ÔNIX 1.5	400,0	40,3	1,50	125,2	83,4	60,0	A	POLÍMERO	0,780	0,720	SIM

A relação custo/benefício dos coletores pode ser avaliada pelo resultado da divisão do custo do coletor individual pela PNE (coluna 6 desta tabela) deste mesmo coletor. Quanto menor o valor encontrado, melhor será esta relação para o usuário.