



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Ciência e Tecnologia
Faculdade de Engenharia

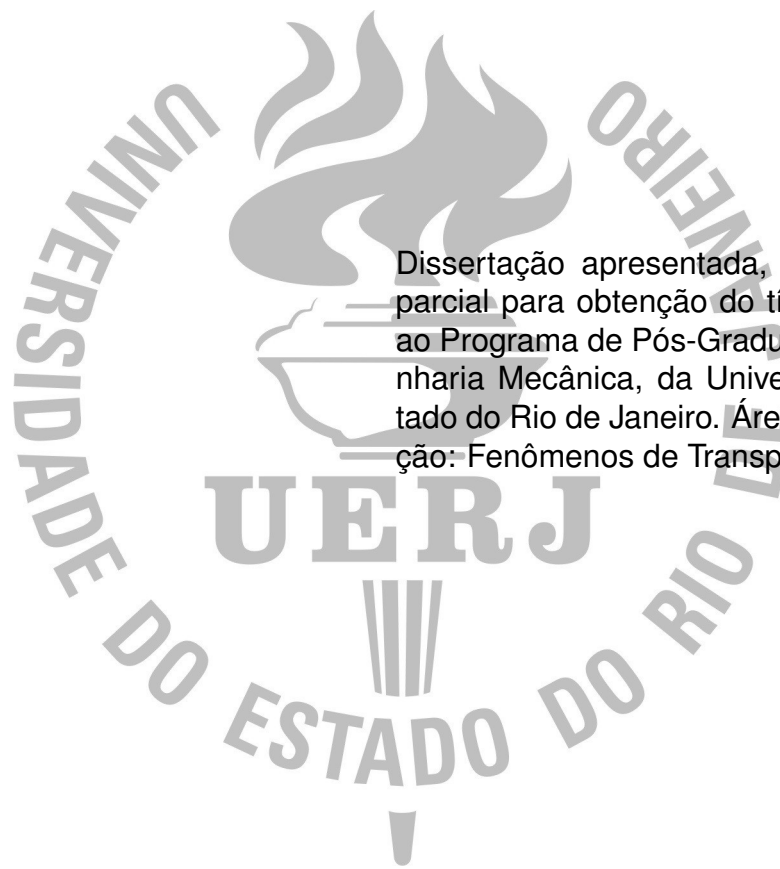
Pablo de Abreu Lisboa

Programa de Simulação de Sistemas de Aquecimento Solar

Rio de Janeiro
2012

Pablo de Abreu Lisboa

Programa de Simulação de Sistemas de Aquecimento Solar



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Fenômenos de Transporte.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Antônio da Fonseca Costa Filho

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CTC/B

L771 Lisboa, Pablo de Abreu
Programa de Simulação de Sistemas de Aquecimento
Solar/ Pablo de Abreu Lisboa. – 2012.
111f.

Orientador: Manoel Antônio da Fonseca Costa Filho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio
de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Mecânica. 2. Energia Solar - Disserta-
ções. I. Costa Filho, Manoel Antônio da Fonseca. II. Universi-
dade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 697.329

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Pablo de Abreu Lisboa

Programa de Simulação de Sistemas de Aquecimento Solar

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Fenômenos de Transporte.

Aprovado em: dia 26 de Setembro de 2012.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Manoel Antônio da Fonseca Costa Filho (Orientador)
Departamento de Engenharia Mecânica - UERJ

Prof. Dr. Norberto Mangiavacchi
Departamento de Engenharia Mecânica - UERJ

Prof. Dr. Nísio de Carvalho Lobo Brum
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Dra. Ana Paula Cardoso Guimarães
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL

Prof. Dr. Luiz Artur Pecorelli Peres
Departamento de Engenharia Elétrica - UERJ

DEDICATÓRIA

Dedico àqueles que por algum motivo desenvolvem um comprometimento qualquer de alterar a atual trajetória sombria da humanidade neste planeta, buscando o caminho da sustentabilidade, seja na forma de grandes projetos, ou em pequenas melhorias de condomínio.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todo o apoio à minha educação em todos seus níveis.

Ao meu orientador, Prof. Manoel Antônio da Fonseca Costa Filho, pelo suporte rápido em todos os aspectos do trabalho, e ao Prof. Norberto Mangiavacchi pela orientação no âmbito da pesquisa.

Aos meus colegas do CEPEL, por toda a ajuda no processo, em especial à Dra. Ana Paula pela ajuda na parte de irradiação solar.

"A sabedoria que um sábio quiser transmitir sempre cheirá a tolice.
— Estás brincando? – perguntou Govinda.
— Não brinco, não. Digo apenas o que percebi. Os conhecimentos podem ser transmitidos, mas nunca a sabedoria. Podemos achá-la; podemos vivê-la; podemos consentir em que ela nos norteie; podemos fazer milagres através dela. Mas não nos é dado pronunciá-la e ensiná-la."

Hermann Hesse (1879–1955), do livro Sidarta

RESUMO

LISBOA, Pablo de Abreu. **Programa de Simulação de Sistemas de Aquecimento Solar**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um programa computacional que simula o desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de água com circulação forçada, adequado para uso em edificações. O programa trabalha realizando o balanço de massa e de energia no reservatório térmico a cada hora, tendo como valores de entrada dados do ano meteorológico típico da localidade selecionada e a vazão de água quente de consumo. Os componentes do sistema são o reservatório térmico de água quente com aquecedor auxiliar interno, o coletor solar e a bomba de circulação. A base de dados meteorológicos escolhida foi a do projeto SWERA, que contém arquivos no formato padrão TMY disponíveis na internet para um número considerável de cidades, incluindo diversas localidades brasileiras. Foi proposto um modelo de temperatura de água da rede de abastecimento relacionado com a temperatura do solo, dado disponível nos arquivos de entrada utilizados. O programa utilizou como referência para a validação dos modelos de cálculo resultados obtidos pelo programa comercial de simulação TRNSYS. Foram comparados resultados para os modelos de irradiação incidente em superfície inclinada, do coletor solar e do sistema completo. Para isto foram simulados sistemas localizados em quatro cidades distintas com climas diferentes. O tempo total usado nas simulações foi de um ano e os resultados das comparações dos valores resultantes foram considerados satisfatórios.

Palavras-chave: Energia Solar. Aquecimento Solar. Simulação Térmica.

ABSTRACT

This paper presents the development of a software that simulates the thermal performance of a solar water heating system with forced circulation, suitable for buildings. The implemented model computes the mass and energy balance in the thermal tank every hour. Its input data are values from a typical meteorological year of a chosen location and the hot water load. The system components are the thermal tank, the solar collector and the circulation pump. The Swera project was used as the meteorological database, which contains files in the standard TMY format. Those are available on the internet for a number of cities, including several Brazilian locations. A model for the network water supply temperature was proposed. It is related with the ground temperature, available in the data input files. The validation of the models used results obtained by the commercial simulation software TRNSYS. Results for the incident radiation on tilted surface, the solar collector and the complete system models were compared. For that, systems were simulated in four cities with different climates. The total time used in the simulations was one year and the results obtained from this comparison were satisfactory.

Keywords: Solar Energy. Solar Heating. Thermal Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva diária típica de consumo de energia elétrica no setor residencial no ano de 2008 (fonte: (1)).	22
Figura 2 - Trajetória da irradiação (fonte: (2)).	25
Figura 3 - Declinação solar.	26
Figura 4 - Ângulo de inclinação de coletores solares.	27
Figura 5 - Ângulo azimutal de coletores solares.	27
Figura 6 - Ângulos de incidência e azimute solar.	27
Figura 7 - Ângulo de altitude solar.	28
Figura 8 - Irradiação direta sobre superfícies horizontais e inclinadas.	29
Figura 9 - Perfil horário do consumo médio de água.	34
Figura 10 - Esquema de um sistema passivo direto (fonte: (3)).	36
Figura 11 - Esquema de um sistema ativo direto (fonte: (3)).	36
Figura 12 - Composição do coletor solar plano (fonte: (4)).	37
Figura 13 - Gráfico da obtenção experimental da eficiência do coletor solar.	39
Figura 14 - Esquema do arranjo dos sistemas simulados no programa.	43
Figura 15 - Irradiações incidentes em uma superfície inclinada (fonte: (5)).	45
Figura 16 - Temperatura da água da rede de abastecimento no Rio de Janeiro ao longo de um ano.	53
Figura 17 - Temperatura da água da rede de abastecimento em Istambul ao longo de um ano.	53
Figura 18 - Fluxograma de ações do programa.	55
Figura 19 - Fluxograma de ações do programa (cont.).	56
Figura 20 - Fluxograma de ações do programa (cont.).	57
Figura 21 - Interface gráfica para montagem dos sistemas.	59
Figura 22 - Temperatura do reservatório térmico em médias mensais.	79
Figura 23 - Fração solar mensal.	80
Figura 24 - Temperatura do reservatório térmico em alguns dias na metade do ano.	81
Figura 25 - Economia mensal com a utilização do SAS.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 - Descrição dos parâmetros do Componente TYPE 16 do TRNSYS.	60
Tabela 3 - Descrição dos parâmetros do Componente TYPE 1 do TRNSYS.	61
Tabela 4 - Descrição dos parâmetros do Componente TYPE 1 do TRNSYS.	62
Tabela 5 - Configuração dos parâmetros do componente 16 do TRNSYS.	64
Tabela 6 - Configuração dos dados de entrada para o $PAR\ 1 = 5$ do componente TYPE 16.	64
Tabela 7 - Configuração dos parâmetros do componente TYPE 1 do TRNSYS.	65
Tabela 8 - Configuração dos dados de entrada para o componente TYPE 1 do TRNSYS.	65
Tabela 9 - Dados do sistema simulado no Rio de Janeiro.	67
Tabela 10 - Configuração dos parâmetros do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para o Rio de Janeiro.	67
Tabela 11 - Definição dos parâmetros do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para o Rio de Janeiro.	68
Tabela 12 - Configuração dos dados de entrada do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para o Rio de Janeiro.	68
Tabela 13 - Configuração dos dados de entrada do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para o Rio de Janeiro.	68
Tabela 14 - Dados do sistema simulado em Denver.	69
Tabela 15 - Configuração dos parâmetros do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Denver.	69
Tabela 16 - Definição dos parâmetros do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Denver.	70
Tabela 17 - Configuração dos dados de entrada do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Denver.	70
Tabela 18 - Configuração dos dados de entrada do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Denver.	70
Tabela 19 - Dados do reservatório simulado em Istambul.	71
Tabela 20 - Configuração dos parâmetros do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Istambul.	71
Tabela 21 - Descrição dos parâmetros do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Istambul.	72
Tabela 22 - Configuração dos dados de entrada do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Istambul.	72
Tabela 23 - Configuração dos dados de entrada do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Istambul.	72
Tabela 24 - Dados do reservatório simulado em Sidney.	73
Tabela 25 - Configuração dos parâmetros do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Sidney.	73

Tabela 26 - Definição dos parâmetros do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Sidney.	74
Tabela 27 - Configuração dos dados de entrada do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Sidney.	74
Tabela 28 - Configuração dos dados de entrada do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Sidney.	74
Tabela 29 - Irradiação total horária em média mensal incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) no Rio de Janeiro.	75
Tabela 30 - Irradiação total horária em média mensal incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) em Denver.	76
Tabela 31 - Irradiação total horária em média mensal incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) em Istambul.	76
Tabela 32 - Irradiação total horária incidente em superfície inclinada em média mensal (kJ/m^2) em Sidney.	77
Tabela 33 - Comparação do fluxo de calor no coletor em média mensal (kJ).	77
Tabela 34 - Comparação da temperatura na saída do coletor em média mensal ($^{\circ}\text{C}$)	78
Tabela 35 - Comparação da temperatura do reservatório em média mensal ($^{\circ}\text{C}$) para o Rio de Janeiro sem aquecimento auxiliar.	81
Tabela 36 - Avaliação econômica anual para o sistema do Rio de Janeiro.	83
Tabela 37 - Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para o Rio de Janeiro.	90
Tabela 38 - Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para o Rio de Janeiro (cont.)	91
Tabela 39 - Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para Denver.	92
Tabela 40 - Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para Denver (cont.)	93
Tabela 41 - Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para Istambul.	94
Tabela 42 - Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para Istambul (cont.)	95
Tabela 43 - Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para Sidney.	96
Tabela 44 - Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para Sidney (cont.)	97
Tabela 45 - Comparação do fluxo de calor no coletor (média diária - kJ).	98
Tabela 46 - Comparação do fluxo de calor no coletor (média diária - kJ) (cont.).	99
Tabela 47 - Comparação da temperatura na saída do coletor (média diária - $^{\circ}$).	100
Tabela 48 - Comparação da temperatura na saída do coletor (média diária - $^{\circ}\text{C}$) (cont.).	101

Tabela 49 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para o Rio de Janeiro.	102
Tabela 50 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para o Rio de Janeiro (cont.).	103
Tabela 51 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Denver.104	
Tabela 52 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Denver (cont.)	105
Tabela 53 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Istambul.	106
Tabela 54 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Istambul (cont.)	107
Tabela 55 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Sidney.108	
Tabela 56 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Sidney (cont.)	109
Tabela 57 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para o Rio de Janeiro sem aquecimento auxiliar.	110
Tabela 58 - Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) o Rio de Janeiro sem aquecimento auxiliar (cont.)	111

NOMENCLATURA

Letras Latinas

\dot{m}	Vazão de circulação no coletor solar	kg/h
\dot{m}_{af}	Vazão de consumo de água aquecida	kg/h
\dot{Q}_u	Fluxo de calor útil fornecido pelo coletor	W
A	Área de troca térmica do reservatório	m ²
A_i	Índice de anisotropia	
A_c	Área total do coletor	m ²
C_p	Calor específico	J/kg°C
d	Número do dia do ano	
d_{max}	Número do dia característico do mês mais quente do ano	
E	Resultado da equação do tempo	min
E_{af}	Taxa de entalpia da entrada de água fria	W
E_{aq}	Taxa de entalpia da saída de água quente	W
f	Fração solar mensal	
F_{c-g}	Fator de forma entre o solo e a superfície	
F_{c-s}	Fator de forma entre o céu e a superfície	
F_R	Fator de remoção de calor do coletor	
G_o	Irradiância solar extraterrestre incidente em uma superfície horizontal	W/m ²
$G_{b,T}$	Irradiância projetada sobre a normal de uma superfície inclinada	W/m ²
G_b	Irradiância projetada sobre a normal de uma superfície horizontal	W/m ²
G_{SC}	Constante solar	W/m ²
G_T	Irradiância solar incidente sobre o plano inclinado	W/m ²
H	Irradiação solar diária global em superfície horizontal	J/m ²
H_o	Irradiação solar diária extraterrestre numa superfície horizontal	J/m ²
I	Irradiação solar horária global em superfície horizontal	J/m ²
I_o	Irradiação solar horária extraterrestre numa superfície horizontal	J/m ²
I_T	Irradiação solar horária total incidente em superfície inclinada	J/m ²
I_{bn}	Irradiação solar horária direta normal	J/m ²
I_b	Irradiação solar horária direta em superfície horizontal	J/m ²
I_d	Irradiação solar horária difusa em superfície horizontal	J/m ²
I_{on}	Irradiação solar horária extraterrestre normal	J/m ²

kt	Índice de claridade horária	
L	Carga térmica consumida	J
L_p	Perda térmica através das paredes do reservatório	J
m	Massa de água no reservatório	kg
m_c	Massa de água consumida	kg
m_{max}	Número do mês com a maior média mensal	
R_b	Razão da irradiação horária direta em uma superfície inclinada pela irradiação horária direta numa superfície horizontal	
r_t	Taxa de irradiação total horária para a irradiação total diária	
T	Temperatura da água no reservatório térmico	°C
t	Tempo	h, min, s
T^+	Temperatura da água no reservatório ao final de um incremento de tempo	°C
T_a	Temperatura ambiente ao redor do coletor	°C
T_{af}	Temperatura da água da rede de abastecimento	°C
T_{aq}	Temperatura da água consumida	°C
T_e	Temperatura da água na entrada do coletor	°C
T_{offset}	Temperatura de <i>offset</i> do coletor solar	°C
$T_{padrão}$	Tempo padrão local	min
T_{ref}	Temperatura de referência (<i>setpoint</i>) da água no reservatório térmico	°C
T_{solar}	Tempo solar	min
T_s	Temperatura da água na saída do coletor	°C
U	Coeficiente global de perdas térmicas do reservatório	W/m ² °C
U_L	Coeficiente global de perdas térmicas do coletor	W/m ² °C
V	Alteração devido ao horário de verão	min
T'_a	Temperatura do ambiente em volta do reservatório	°C

Letras Gregas

α	Absorbância da placa coletora	
α_s	Ângulo de altitude do sol	°
β	Inclinação da superfície do coletor solar	°
δ	Declinação	°
η	Eficiência do coletor solar	
γ	Ângulo de azimute da superfície	°
γ_s	Ângulo de azimute solar	°
λ	Longitude	°
λ_l	Longitude local	°

λ_p	Longitude do meridiano padrão	o
ω	Hora angular, distanciamento leste ou oeste do sol para o meridiano local	o
ω_s	Hora angular no momento do poente	o
ϕ	Latitude	o
ρ_g	Albedo do solo	
τ	Transmitância da cobertura do coletor	
θ	Ângulo de incidência na superfície	o
θ_z	Ângulo de zênite, medido entre a vertical e a linha do sol	o

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
EPW	Energy Plus Weather
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
SAS	Sistema de Aquecimento Solar
SWERA	Solar and Wind Energy Resources Assessment
TMY	Typical Meteorological Year

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	21
	Motivação	21
	Objetivos	23
	Escopo do Trabalho	23
1	FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
1.1	Fundamentos da Energia Solar	24
1.1.1	Irradiação Solar	24
1.1.2	Ângulos Básicos	25
1.1.3	Irradiação Direta em Superfície Inclinada	29
1.1.4	Irradiação Extraterrestre em Superfície Horizontal	30
1.1.5	Obtenção de dados de irradiação horários a partir de dados diários	30
1.1.6	Obtenção das Componentes Direta e Difusa da Irradiação Global (método do k_t)	31
1.1.7	Hora Solar	32
1.2	Dados Meteorológicos	33
1.3	Temperatura da água de abastecimento	34
1.4	Perfil de Consumo de Água Quente	34
1.5	Descrição de Sistemas de Aquecimento Solar	35
1.6	Coletor Solar de Placa Plana	36
1.6.1	Linha de Eficiência do Coletor e os Testes padronizados	38
1.7	Reservatório Térmico	40
1.8	Aquecedores Auxiliares	41
1.9	Desempenho do sistema	41
1.10	Programas Computacionais	42
2	METODOLOGIA	43
2.1	Concepção do Programa	43
2.2	Irradiação incidente no coletor	44
2.2.1	Irradiação Total Horária em Superfície Inclinada	44
2.2.1.1	Modelo do Céu Isotrópico	45

2.2.1.2	Modelo do Céu Anisotrópico	46
2.3	Coletor Solar	47
2.4	Reservatório Térmico	47
2.4.1	Aquecedor elétrico auxiliar	47
2.4.2	Balanco de Energia	47
2.4.3	Determinação da Temperatura ao Final do Incremento e da Energia Au- xiliar Fornecida	49
2.5	Controlador da bomba	50
2.6	Desempenho do sistema	50
2.7	Dados de entrada	51
2.7.1	Dados de Irradiação Incidente	51
2.7.2	Consumo de água quente	51
2.7.3	Temperatura da Água da Rede	52
2.7.4	Definição do Passo de Tempo	53
2.8	Algoritmo	54
3	VALIDAÇÃO	58
3.1	TRNSYS <i>Transient Simulation Program</i>	58
3.1.1	TYPE 16 - <i>Radiation Processor</i>	60
3.1.2	TYPE 1 - <i>Flat Plate Solar Collector</i>	60
3.1.3	TYPE 4 - <i>Stratified Fluid Storage Tank</i>	61
3.1.4	TYPE 3 - <i>Pump Or Fan</i>	62
3.1.5	TYPE 2 - <i>On/off Diferencial Controller</i>	62
3.1.6	Rotinas de integração e soluções de sistemas de equações	63
3.2	Validação da irradiação incidente no coletor	63
3.3	Validação do coletor solar	64
3.4	Validação do sistema completo	65
3.4.1	Sistema I - Rio de Janeiro	66
3.4.2	Sistema II - Denver	68
3.4.3	Sistema III - Istambul	70
3.4.4	Sistema IV - Sidney	72

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1	Irradiação Incidente	75
4.2	Coletor Solar	77
4.3	Sistema completo	78
4.4	Avaliação Econômica Simplificada	82
5	CONCLUSÃO	84
5.1	Pesquisas Futuras	85
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A	90
	APÊNDICE B	98
	APÊNDICE C	102

INTRODUÇÃO

Motivação

O sistema elétrico brasileiro apresenta pico de consumo no horário de 18 às 21 horas. Em face do aumento de tarifa da energia elétrica neste horário para o setor industrial, o pico apresentado deve-se fundamentalmente ao uso residencial, que por sua vez é responsável por 23,6% do consumo de eletricidade total (6). Além disso, destaca-se o fato de que pelo menos 73% das residências utilizam o chuveiro elétrico como forma de aquecimento de água (1). Considerando o hábito diário do brasileiro, com banhos ao final do dia, tem-se que o chuveiro elétrico, além do acendimento das luzes residenciais, é um dos maiores responsáveis pelo pico de demanda de energia elétrica. A figura 1 mostra a curva de consumo de eletricidade em um dia típico.

Neste contexto, busca-se alternativas para a reversão desse quadro, no qual a cada ano crescem a demanda de eletricidade e os riscos de "apagões" por excessiva concentração de carga. A suavização deste pico também contribui para a postergação da necessidade de ampliação da capacidade nacional de geração e transmissão de energia elétrica.

Por parte do consumidor final, tem-se que os aumentos recorrentes da tarifa de energia proporcionam gastos exorbitantes com o uso do chuveiro elétrico, que possui um gasto energético quase vinte vezes maior que uma geladeira simples.

O aquecimento solar de água é uma das soluções mais apropriadas para amenizar este quadro. É sabido que o Brasil apresenta um grande potencial de energia solar em seu território, possuindo, em algumas regiões do Nordeste, índices de irradiação comparáveis às melhores regiões do mundo (7). Porém, seu aproveitamento é limitado pelo maior custo de instalação dos equipamentos e pelo desconhecimento, com precisão, da economia que é proporcionada pelo seu uso.

O aquecimento solar proporciona economias diretas no bolso do consumidor. Sistemas bem projetados e instalados, podem economizar mais de 80% da energia necessária para aquecer água, o que representa em uma família de classe média, cerca de 30% da conta de energia (8).

Na prática do mercado o estudo do desempenho de sistemas de aquecimento solar (SAS) é substituído por tabelas que dimensionam os equipamentos em função do número de integrantes da família e de pontos de consumo de água quente (9).

Neste sentido as simulações computacionais tornam-se essenciais, podendo fornecer dados relativamente precisos na fase de projeto, além de serem uma opção muito mais rápida e de menor custo que os experimentos com protótipos. O desen-

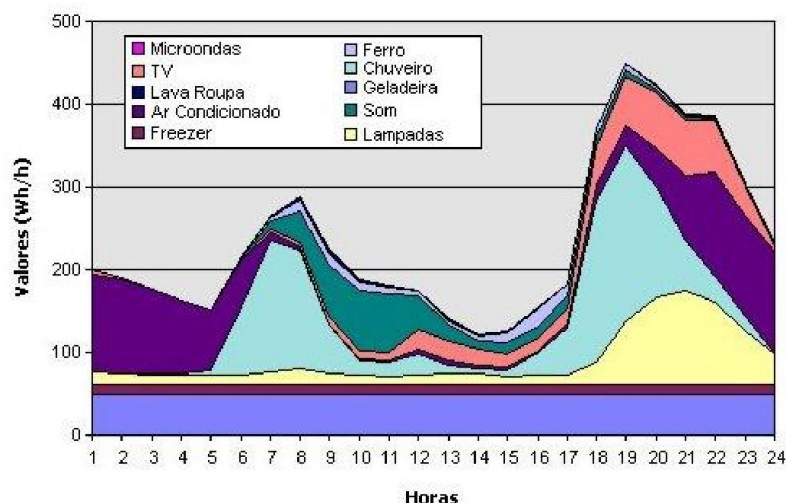


Figura 1 – Curva diária típica de consumo de energia elétrica no setor residencial no ano de 2008 (fonte: (1)).

volvimento de ferramentas computacionais que possibilitem prever o desempenho térmico dos SAS de água proporciona aos projetistas condições de oferecer garantia precisa de retorno financeiro, contribuindo para acelerar a disseminação de SAS de água. Um maior conhecimento do desempenho econômico dos SAS também servirá de base para o estabelecimento de políticas públicas de incentivos, como forma de estimular o mercado.

No âmbito das simulações computacionais, é amplamente reconhecido que a ferramenta de simulação de SAS mais exata e completa atualmente é o sistema computacional TRNSYS, criada por Klein *et al* (10) e continuamente desenvolvida desde então. Apesar de ser bastante apropriada como ferramenta de análise e pesquisa, sua disseminação é restringida pela necessidade de relativamente longa familiarização e estudo requerido para explorar todas as suas funcionalidades.

O método simplificado f-Chart foi desenvolvido como ferramenta de projeto simples e de baixo custo (11)/(12), baseado em correlações matemáticas obtidas a partir de resultados de inúmeras simulações realizadas no TRNSYS.

Os resultados obtidos pelo método f-Chart têm alcançado excelente concordância com os resultados obtidos por simulações para uma variedade de localidades geográficas nos EUA e na Europa, com erro de exatidão de até 2,2% (13), com exceção de ligeiros desvios em climas nublados, verificado por Evans *et al* (14).

Apesar de apropriado ao engenheiro de projeto e de aplicação, o método f-Chart possui muitas limitações, dentre as quais restrições na configuração e no tamanho do sistema, bem como a falta de flexibilidade para cobrir perfis diversos de con-

sumo de água quente. Outro fator limitante é o uso de fluido térmico anti-congelante no coletor solar e de trocador de calor entre este e o reservatório térmico, configuração geralmente utilizada em climas frios e que não se aplica no Brasil. Adicionalmente, apesar do grande número de trabalhos de validação do f-Chart para localidades do Hemisfério Norte, as publicações com trabalhos no Hemisfério Sul ainda existem em pequena quantidade.

Este trabalho complementa uma dissertação de mestrado anterior, elaborada por Adriano Gatto Lemos (8), na qual foi desenvolvida uma ferramenta computacional para o projeto otimizado de SAS para edificações usando a metodologia F-Chart. Ambos os trabalhos fazem parte de atividades desenvolvidas no PPG-EM da UERJ dentro do Convênio FINEP no. 01.07.0275.00.

Adicionalmente, o presente desenvolvimento permite sua aplicação na área das Redes Inteligentes de Energia (*Smart Grids*), uma vez que o sistema proposto interage com as redes elétricas com benefícios energéticos e ambientais.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de simulação de SAS de água, que permita prever o desempenho térmico em regime transiente. O programa deverá oferecer maiores possibilidades de configuração de sistemas do que o método f-Chart, possibilitando a simulação de sistemas usualmente encontrados no Brasil, considerando as condições climáticas locais e padrões de consumo de água quente distintos.

Escopo do Trabalho

O trabalho se desenvolve, a partir desta introdução, com um capítulo de fundamentos teóricos, onde serão explanados conceitos básicos gerais que serão utilizados posteriormente na metodologia utilizada. Em seguida será apresentado o capítulo de metodologia, que descreverá os métodos utilizados na construção do programa, incluindo a concepção e os modelos de cálculo adotados. No terceiro capítulo será descrita a metodologia de validação. No quarto capítulo serão mostrados os resultados obtidos nas simulações juntamente com as discussões associadas, e por último, o capítulo de conclusões do trabalho.

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Fundamentos da Energia Solar

1.1.1 Irradiação Solar

A estrutura e as características do sol determinam a natureza da energia que ele emite e é recebida pela Terra. A energia solar é gerada no núcleo do Sol, através de reações de fusão nuclear onde milhões de toneladas de hidrogênio se transformam em hélio a cada segundo, sendo liberada enorme quantidade de energia. Nesta região, a temperatura do Sol chega a atingir 40 milhões de graus Celsius (5).

A energia produzida no interior é transferida para a superfície e depois, irradiada para o espaço. Uma sucessão de processos radioativos e convectivos ocorrem com sucessiva emissão, absorção e re-irradiação. Portanto, a energia emitida pelo sol consiste em uma combinação oriunda das várias camadas do sol, que emitem e absorvem irradiação em vários comprimentos de onda (5). Fora da atmosfera terrestre, o valor máximo de irradiação solar medida equivale à emissão radiativa de um corpo negro na temperatura de 5777K.

Essa energia irradiada e sua relação espacial com a Terra resultam em uma intensidade quase fixa de energia solar fora da atmosfera terrestre. A constante solar, G_{SC} , é a energia do sol, por unidade de tempo, recebida em uma unidade de área perpendicular à direção de propagação da irradiação, em uma distância Terra-Sol média, fora da atmosfera. O *World Radiation Center* (WRC) adotou o valor de 1367 W/m^2 , com incerteza na ordem de 1% (5).

Essa constante corresponde a um valor máximo da irradiação solar, pois é medida sem a presença de qualquer tipo de atenuação por nuvens, aerossóis, poluição ou absorção pelos próprios elementos constituintes da atmosfera terrestre. No entanto, ao atravessar a atmosfera terrestre, modificações ocorrem na intensidade e no espectro da radiação, além de alterar sua direção original. A figura 2 mostra a influência dos constituintes da atmosfera na irradiação incidente.

Devido a existência das nuvens e de vários outros constituintes da atmosfera, podemos considerar na aplicação da energia solar na superfície terrestre, três tipos de irradiação solar:

Irradiação Direta é a irradiação recebida no solo sem nenhuma dispersão por parte da atmosfera.

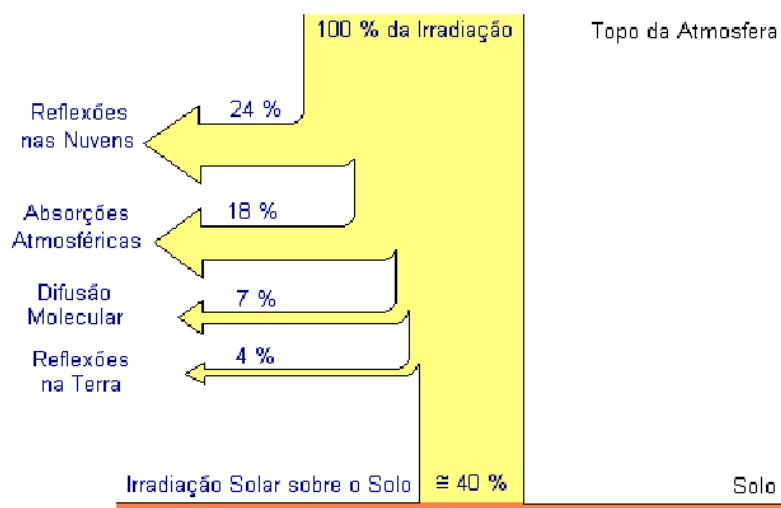


Figura 2 – Trajetória da irradiação (fonte: (2)).

Irradiação Difusa consiste na irradiação recebida pela superfície terrestre após sua direção ter sido alterada pela dispersão da atmosfera.

Irradiação Total (ou *global*) é a soma da irradiação direta com a irradiação difusa em uma superfície.

1.1.2 Ângulos Básicos

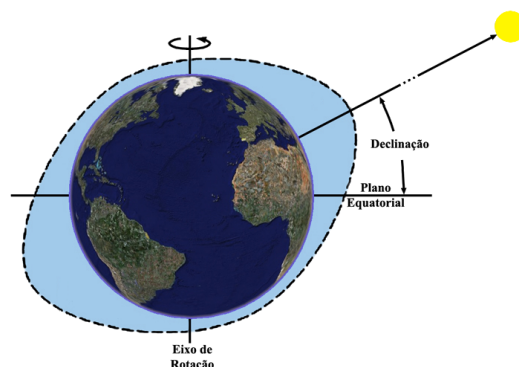
Para o estudo da irradiação solar incidente em uma superfície, são definidos diversos ângulos referentes a coordenadas geográficas da localidade, à posição do sol em relação à superfície ou à orientação da superfície em relação à Terra. A seguir esses ângulos são descritos:

Latitude (ϕ) corresponde à posição angular ao norte ou ao sul em relação à linha do Equador, definida como latitude zero. Cada paralelo traçado em relação ao plano do Equador corresponde a uma latitude constante; $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.

Longitude (λ) é a posição angular a leste ou a oeste (positivo) do meridiano de Greenwich. A Longitude é muito importante para a determinação dos fusos horários e da hora solar; $-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$.

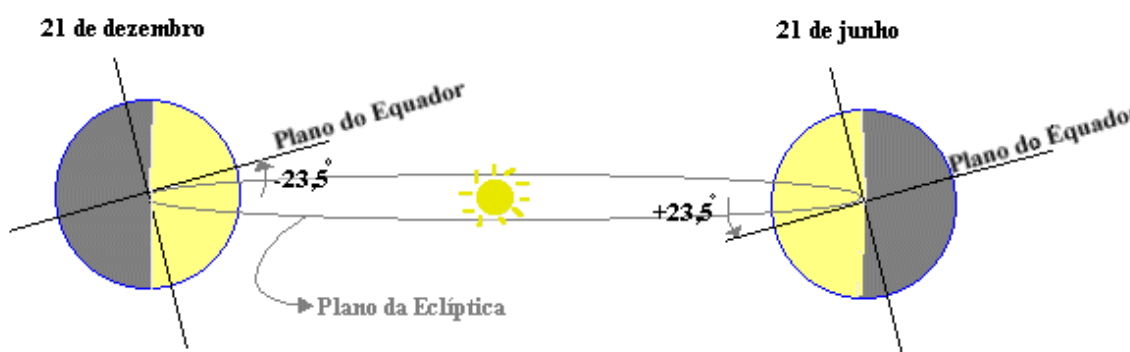
Declinação Solar (δ) A declinação solar é definida como a posição angular do sol ao meio-dia solar em relação ao plano do Equador, definida como positiva no hemisfério

norte terrestre. A figura 3 demonstra a posição angular; $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$.



(a) Definição equatoriais2.php)

(<http://www.pucrs.br/fisica/astrologia/coor->



(b) Variação ao longo do ano (<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/mare.html>)

Figura 3 – Declinação solar.

Hora angular (ω) é definida como a posição angular do sol a leste ou a oeste do meridiano local, devido à rotação da terra em seu próprio eixo, e tem variação de 15° por hora, negativo pela manhã e positivo após o meio-dia.

Inclinação do coletor (β) corresponde ao ângulo entre o plano da superfície do coletor e a horizontal, conforme mostra a figura 4; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.

Ângulo azimutal da superfície (γ) corresponde ao ângulo formado entre a direção norte-sul e a projeção no plano horizontal da normal à superfície do coletor solar. É medido a partir do sul ($\gamma=0$), conforme mostrado na figura 5; $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.

Ângulo de incidência (θ) corresponde ao ângulo entre a irradiação direta incidente no plano e a normal à superfície, conforme mostra a figura 6.

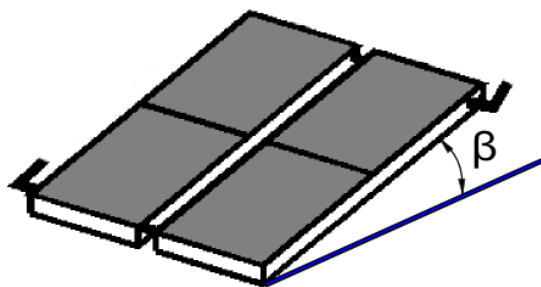


Figura 4 – Ângulo de inclinação de coletores solares.

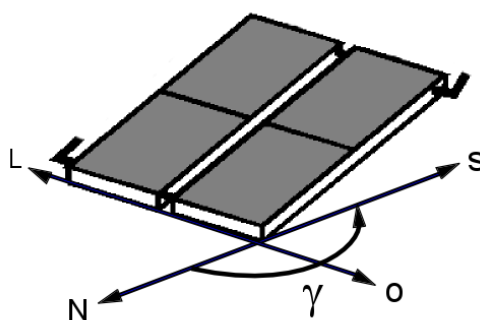


Figura 5 – Ângulo azimutal de coletores solares.

Ângulo zenital (θ_z) corresponde ao ângulo entre os raios solares e a vertical do local, conforme figura 6.

O ângulo de altitude solar (α_s) corresponde ao ângulo entre a linha até o sol e a horizontal, como mostrado na figura 7.

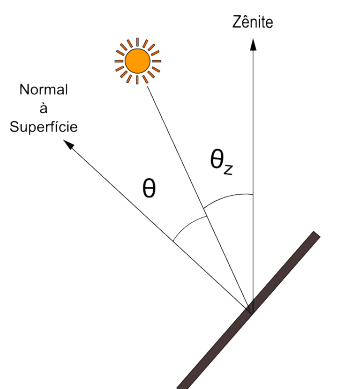


Figura 6 – Ângulos de incidência e azimute solar.

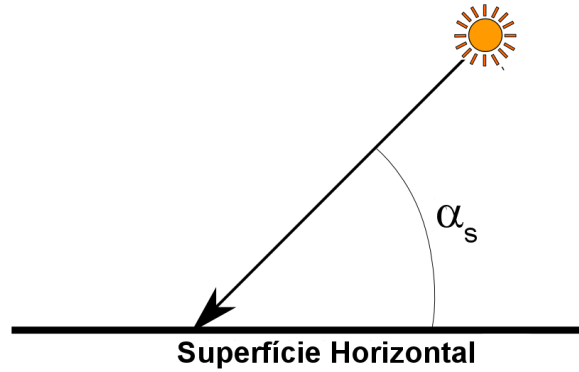


Figura 7 – Ângulo de altitude solar.

A declinação pode ser aproximada segundo a fórmula:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left(2\pi \frac{284 + d}{365} \right) \quad (1.1)$$

onde d é dia do ano, sendo igual a um em 1º de janeiro.

Há várias relações geométricas entre esses ângulos. Uma forma de se correlacionar o ângulo de incidência com os outros ângulos é:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (1.2)$$

ou

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos (\gamma_s - \gamma) \quad (1.3)$$

onde γ_s é o azimute solar e θ_z o ângulo zenital do sol

Há no entanto diversos casos em que a equação 1.2 pode ser simplificada. No caso de superfícies fixas orientadas para o norte ou para o sul, ou seja, com ângulo azimutal γ de 0° ou de 180° , situação comum na prática, o último termo é eliminado:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \end{aligned} \quad (1.4)$$

Outra situação ocorre quando a superfície se encontra na posição horizontal ($\beta = 0$). Neste caso o ângulo de incidência coincide com o ângulo zenital do sol (θ_z), e

a equação 1.2 se reduz a:

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (1.5)$$

A partir desta equação, pode-se obter o cosseno do ângulo do pôr-do-sol, ω_s , usando $\theta_z = 90^\circ$:

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \cdot \tan \delta \quad (1.6)$$

1.1.3 Irradiação Direta em Superfície Inclinada

Para o projeto ou estudo de um sistema de aquecimento solar, é geralmente necessário calcular a irradiação incidente em uma superfície inclinada, a partir de medições tomadas em superfície horizontal. Um fator geométrico R_b , representando a razão entre a irradiação direta em uma superfície inclinada para aquela em uma superfície horizontal, pode ser calculado pela fórmula:

$$R_b = \frac{G_{b,T}}{G_b} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (1.7)$$

onde $G_{b,T}$ é a irradiância projetada sobre a normal de uma superfície inclinada e G_b é a irradiância projetada sobre a normal de uma superfície horizontal. Essas projeções são mostradas na figura 8.

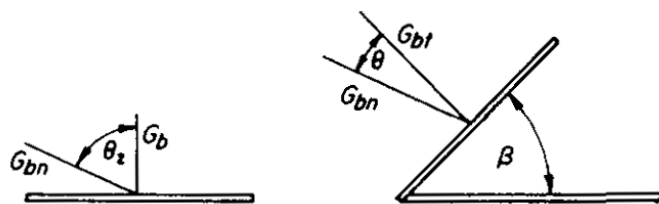


Figura 8 – Irradiação direta sobre superfícies horizontais e inclinadas.

Uma outra forma geral da equação 1.7 é obtida substituindo as equações 1.2 e 1.5. Porém, pode-se utilizar diretamente as equações simplificadas para casos particulares. Em casos onde o coletor se encontra voltado para o sentido do Equador, ou seja, $\gamma = 0^\circ$ no Hemisfério Norte ou 180° no Hemisfério Sul, R_b pode ser calculado por (5):

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (1.8)$$

no Hemisfério Norte, e:

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\phi + \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (1.9)$$

no Hemisfério Sul.

1.1.4 Irradiação Extraterrestre em Superfície Horizontal

A irradiância solar instantânea, incidente em um plano horizontal fora da atmosfera, é calculada por:

$$G_o = G_{SC} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360d}{365} \right) (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta) \quad (1.10)$$

Pode-se integrar a equação 1.10 diretamente em termos da hora angular ω , obtendo-se a irradiação extraterrestre horária I_o :

$$I_o = \frac{12 \cdot 3600 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360d}{365} \right) \times \left(\sin \phi \sin \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right) \quad (1.11)$$

onde ω_1 e ω_2 são as horas angulares desejadas, sendo $\omega_2 > \omega_1$. A equação 1.11 também pode ser usada para intervalos diferentes de uma hora.

A irradiação extraterrestre diária também pode ser obtida através da equação:

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360d}{365} \right) \times \left(\sin \phi \sin \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right) \quad (1.12)$$

onde ω_s é a hora angular do pôr do sol, em graus, calculada pela equação 1.6.

1.1.5 Obtenção de dados de irradiação horários a partir de dados diários

Em geral a maioria dos arquivos meteorológicos possuem dados de irradiação em médias mensais ou horárias. Quando não há disponíveis dados de irradiação horários, pode-se estimá-los a partir de dados diários. Estudos estatísticos de distribuição de irradiação global ao longo do dia levaram à construção de gráficos que

representam a taxa de irradiação horária para a irradiação total diária, r_t , como função do comprimento do dia e da hora em questão. Tem-se então:

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (1.13)$$

onde I é a irradiação horária e H a irradiação diária, ambas globais no plano horizontal. Esse método funciona melhor para dias claros e possui uma tendência conservativa para valores a longo prazo. Collares, Pereira e Rabl chegaram à seguinte equação (5):

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad (1.14)$$

os coeficientes a e b são dados por:

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60) \quad (1.15)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60) \quad (1.16)$$

Pode-se então chegar à irradiação horária fazendo $I = H \cdot r_t$.

1.1.6 Obtenção das Componentes Direta e Difusa da Irradiação Global (método do k_t)

Existem casos em que não há disponibilidade de dados da irradiação difusa ou da irradiação direta, somente da irradiação global horizontal, mais comum. Nestas condições pode-se utilizar uma aproximação que relaciona a relação I_d/I com o índice de claridade k_t , ambos na base horária. Este índice representa a razão entre a irradiação horária em uma superfície horizontal e a irradiação extraterrestre incidente no plano horizontal, sendo definido por:

$$k_t = \frac{I}{I_o} \quad (1.17)$$

A partir deste índice, a relação I_d/I pode ser obtida através da seguinte correlação desenvolvida por Erbs *et al*, como descrito por Duffie e Beckman(5):

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.09k_t, & k_t \leq 0,22 \\ 0.9511 - 0.1604k_t + 4.388k_t^2, & 0.22 < k_t \leq 0.80 \\ 0.165, & k_t > 0.8 \end{cases} \quad (1.18)$$

A partir dos valores da irradiação global horizontal (I) e da relação obtida I_d/I , obtém-se o valor da irradiação direta sobre uma superfície horizontal (I_b) realizando a simples subtração:

$$I_b = I - I_d \quad (1.19)$$

1.1.7 Hora Solar

A hora solar se baseia no movimento angular aparente do sol cruzando o céu, com o meio-dia solar no momento que o sol cruza o meridiano do observador. Essa hora é usada em todas as relações que utilizam as posições angulares do sol.

A hora solar não coincide com o horário local. É necessário converter do horário padrão para a hora solar através da utilização da seguinte fórmula:

$$T_{solar} - T_{padr\tilde{a}o} = 4(\lambda_p - \lambda_l) + E + V \quad (1.20)$$

onde λ_l é a longitude local e λ_p é o meridiano padrão, ambos em graus, partindo do zero no meridiano de Greenwich para o Oeste ($0^\circ \leq \lambda \leq 360^\circ$). V representa as alterações devido ao horário de verão de certas localidades. O resultado final da equação 1.20 é em minutos. O parâmetro E representa o resultado em minutos da *equação do tempo*, mostrada a seguir:

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B) \quad (1.21)$$

o valor de B é obtido através da seguinte equação:

$$B = (d - 1) \frac{360}{365} \quad (1.22)$$

Neste trabalho a hora solar é considerada o horário local, sem alterações para o horário de verão e para o desvio de longitude.

1.2 Dados Meteorológicos

No Brasil nos anos 70, o incentivo por parte de empresas do setor energético levou ao surgimento de grupos de estudo e projetos de pesquisas comprometidos com os registros da energia solar, tais como a Rede Solarimétrica Nacional, programa criado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Mais tarde, o desenvolvimento de métodos de estimativa de irradiação solar possibilitou o levantamento do potencial solar nas diversas regiões do país.

Dentre os trabalhos mais recentes de avaliação da disponibilidade de irradiação solar no Brasil destacam-se o Atlas de Irradiação Solar do Brasil (1998), elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB); e o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), que contém valores diários de irradiação em médias mensais, anuais e sazonais, elaborado sob a coordenação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O INPE é um órgão nacional de grande relevância neste contexto, junto com seu Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Atualmente o instituto gerencia, em toda a América Latina, o projeto internacional SWERA (Levantamento dos Recursos Energéticos Solar e Eólico), que é financiado por instituições ligadas ao meio ambiente. Aqui no Brasil este projeto tem como parceiros diretos a Universidade Federal de Santa Catarina/Laboratório de Energia Solar (UFSC/LABSOLAR), o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e o Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL/ELETROBRÁS).

O SWERA apresenta uma considerável base de dados internacionais, incluindo dados dos recursos solares brasileiros. Um dos produtos deste projeto é o próprio Atlas Brasileiro de Energia Solar, cujos dados foram obtidos através do modelo BRASIL-SR, usando imagens do satélite GOES-8, no período de 1995 a 2005. A validação do modelo foi realizada utilizando dados da rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) e de estações PCD (plataforma de coleta de dados) operadas pelo CPTEC e alcançou valores satisfatórios (15). Constam ainda na base do SWERA, séries temporais horárias no formato TMY (Ano Meteorológico Típico), abrangendo as componentes global, direta normal e difusa da irradiação solar, e ainda outros dados meteorológicos como temperatura ambiente, temperatura do solo, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Sobre os trabalhos de avaliação do potencial solar brasileiro citados acima,

pode-se dizer que o Atlas de Irradiação Solar do Brasil e o Atlas Solarimétrico do Brasil, apesar de reunirem uma grande quantidade de dados e contribuírem dessa forma para melhorar as estimativas e avaliações da disponibilidade de irradiação solar, apresentam falhas e limitações em seus modelos (16). Passos (1) pesquisou essas bases de dados brasileiros de irradiação solar e concluiu que a mais atual e confiável é a do projeto SWERA, no que tange ao enfoque de simulação de SAS.

1.3 Temperatura da água de abastecimento

Não há muitos trabalhos pesquisando modelos para a temperatura da água de abastecimento. Burch e Christensen (17) aprimoraram um modelo assumindo uma relação estreita da temperatura do solo com a temperatura do ar, definindo um perfil senoidal. Os resultados foram validados para climas frios no Hemisfério Norte.

Na documentação do programa canadense RetScreen (18) consta um estudo de um modelo que considera a difusão térmica a partir da superfície. Os resultados do modelo foram considerados aceitáveis em uma comparação com dados medidos na cidade de Toronto, Canadá.

1.4 Perfil de Consumo de Água Quente

Salazar (19) realizou um estudo a partir de registros de consumo de energia elétrica correspondente a chuveiros elétricos, e chegou a um perfil médio de demanda de água quente para cada hora do dia no Brasil. O perfil apresenta para cada hora a parcela do consumo total diário, conforme mostra a figura 9.

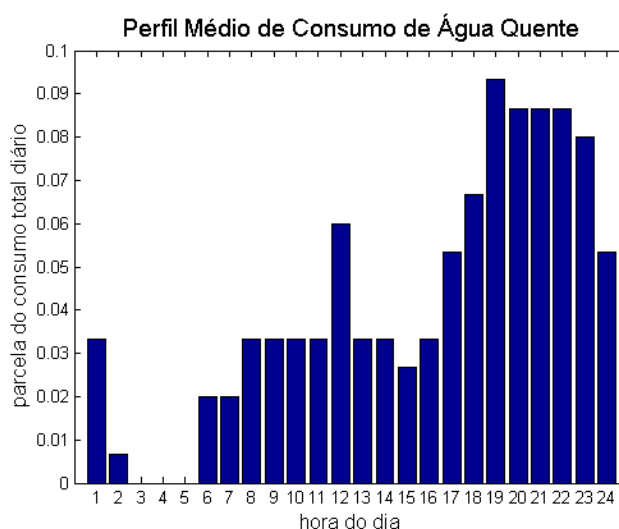


Figura 9 – Perfil horário do consumo médio de água.

Na definição de um consumo total diário arbitrado, pode-se aplicar este perfil, multiplicando a porcentagem de cada hora sobre o valor total, e obter o consumo para cada hora do dia.

1.5 Descrição de Sistemas de Aquecimento Solar

O uso de SAS em substituição ao uso da energia elétrica para aquecimento é uma alternativa bastante viável no Brasil, considerando que o país apresenta excelentes níveis de energia solar incidente. Entretanto o maior obstáculo para a difusão destes sistemas encontra-se no investimento inicial em equipamentos e instalações, que é considerado alto em comparação com outros sistemas de aquecimento.

As aplicações de SAS no Brasil são na maioria ligadas a aquecimento de água, para o banho e também para piscinas. Na indústria, as aplicações são no pré-aquecimento de água para utilização em outros processos. Os aquecedores de ar, por sua vez, são pouco encontrados no Brasil e uma das principais aplicações está na agroindústria, para secagem de grãos.

Os SAS de água para uso em edificações no Brasil envolvem geralmente um conjunto de coletores solares, um ou mais reservatórios térmicos com fonte auxiliar de energia e a tubulação, que necessita de isolamento térmico em alguns pontos. Em muitos casos, é incluída na configuração do sistema uma bomba de circulação, que garante uma vazão fixa de água no coletor e um consequente controle sobre sua eficiência. Os SAS podem então ser classificados segundo o uso da bomba como *sistemas ativos* ou *sistemas passivos*. Os primeiros utilizam a circulação forçada com o bombeamento do líquido, enquanto que os segundos são movidos pelo fenômeno da termossifagem. Para os sistemas passivos, um dos requisitos do sistema é a relação entre o reservatório e o coletor, no qual o primeiro deve estar posicionado em um nível superior ao segundo.

Os sistemas ativos são usados no Brasil com mais frequência em edificações de médio e grande porte, enquanto que os sistemas passivos são mais utilizados em habitações residenciais unifamiliares, principalmente por apresentarem custo inicial menor. Em países de clima frio, os sistemas ativos se tornam necessários a medida em que há o risco de congelamento do líquido no interior da tubulação.

Outra classificação para os SAS de água é relativa ao uso de trocador de calor entre o coletor solar e o reservatório térmico. Sistemas em que o fluido armazenado no reservatório é o mesmo que circula no coletor são chamados de *diretos* e sistemas que separam os líquidos, utilizando um trocador de calor para a transferência térmica são chamados de *indiretos*. Estes últimos são utilizados geralmente em países de clima frio, utilizando um fluido anticongelante no coletor solar. No Brasil o uso de

sistemas indiretos é muito restrito. As figuras 10 e 11 mostram esquemas de sistemas passivos e ativos, respectivamente.

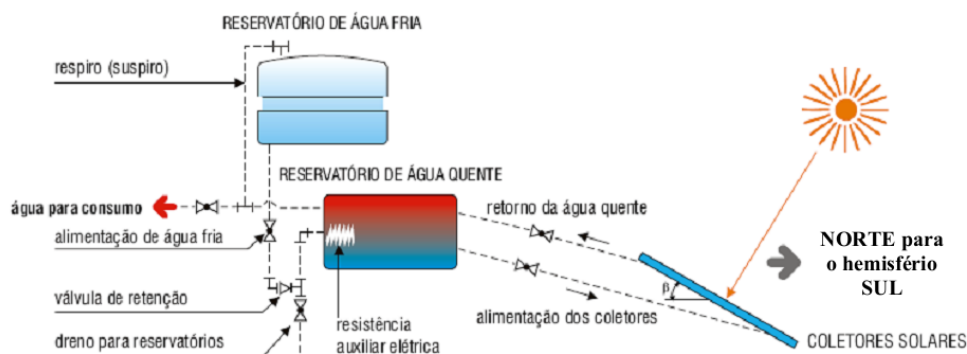


Figura 10 – Esquema de um sistema passivo direto (fonte: (3)).

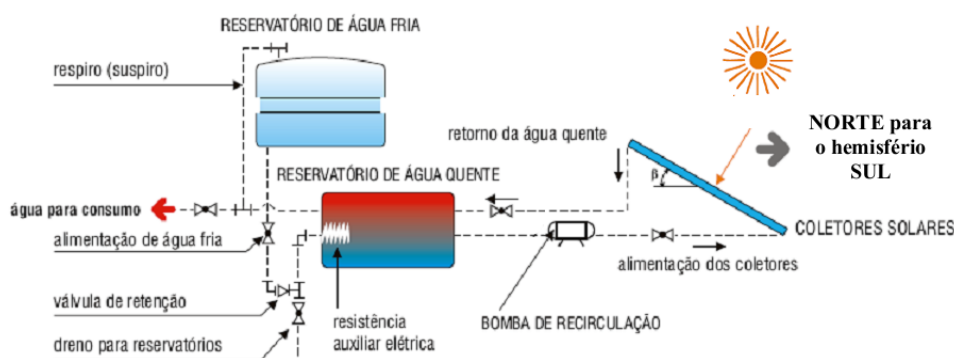


Figura 11 – Esquema de um sistema ativo direto (fonte: (3)).

Os principais equipamentos que compõem os SAS são descritos nas seções seguintes.

1.6 Coletor Solar de Placa Plana

Atualmente o principal equipamento utilizado para conversão de energia solar em energia térmica é o coletor solar. Dentre os diferentes tipos, o mais utilizado é o coletor de placa plana. Este constitui-se de uma caixa contendo uma placa absorvedora na cor preta ao fundo, tubulações unidas à placa, por onde escoam o fluido a ser aquecido, e uma ou mais coberturas transparentes, por onde entram os fluxos de irradiação. O fundo é protegido termicamente com uma camada de isolante. A figura 12 mostra essa composição.

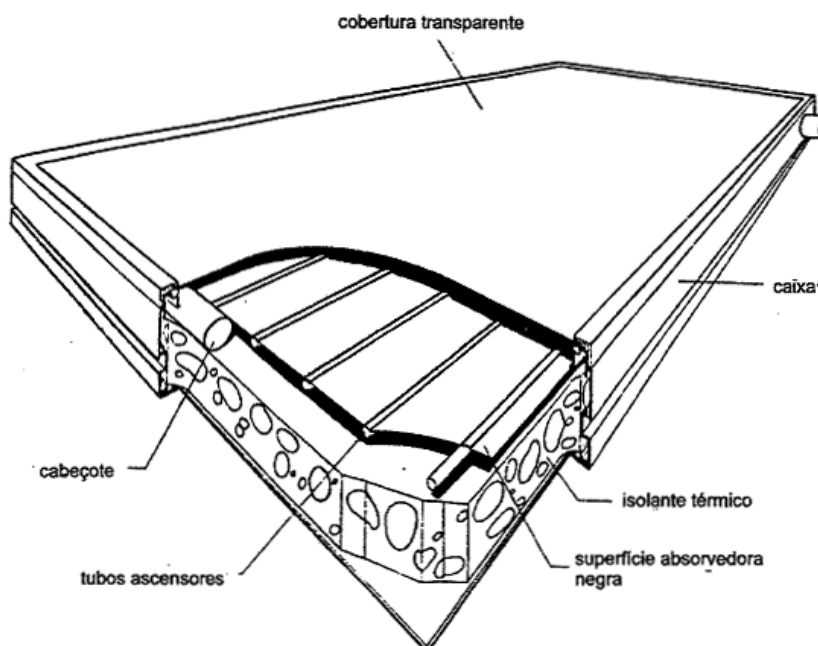


Figura 12 – Composição do coletor solar plano (fonte: (4)).

Seu funcionamento consiste na absorção de calor pelo fluido em sua trajetória através dos tubos aquecidos. A placa e os tubos absorvem calor através da irradiação incidente pela cobertura. A energia incidente é oriunda de várias direções do céu, e não somente da direção do sol. Assim, considerando que sua faixa de temperatura de trabalho é moderada (menor que 100 graus), os coletores solares planos podem dispensar o sistema de rastreamento solar, reduzindo o seu custo.

A potência térmica produzida consiste na diferença entre a potência térmica absorvida pela placa coletora em função da irradiação incidente e as perdas térmicas para o ambiente. Tal diferença pode ser expressa pela equação de Hottel-Williers, como descrito por Duffie e Beckman (5):

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [G_T (\tau \alpha) - U_L (T_e - T_a)] \quad (1.23)$$

onde $(\tau \alpha)$ é o produto da transmitância da cobertura pela absorvância da placa coletora. G_T é a irradiância incidente no coletor e U_L é o coeficiente global de perdas térmicas, que reúne todas as perdas do coletor. T_e e T_a são as temperaturas da água na entrada do coletor e do ambiente ao seu redor, respectivamente e A_c é a área total. F_R é o fator de remoção de calor definido como a relação entre a energia útil real obtida em um coletor e a energia útil que ele obteria se todo o fluido em seu interior fosse mantido na sua temperatura de entrada no coletor.

A potência útil do coletor também pode ser escrita da seguinte forma:

$$\dot{Q}_u = \dot{m}C_p(T_e - T_s) \quad (1.24)$$

onde \dot{m} é a vazão mássica através do coletor, C_p o calor específico do fluido e T_s é a temperatura na saída do coletor. Esta temperatura pode então ser obtida por:

$$T_s = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{m}C_p} + T_e \quad (1.25)$$

A eficiência térmica (η) de um coletor solar plano é definida como sendo a razão entre a potência útil transmitida ao fluido e a irradiância que incide no plano de sua superfície. Assim:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A_c G_T} \quad (1.26)$$

e por substituição tem-se:

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_n - \frac{F_R U_L (T_e - T_a)}{G_T} \quad (1.27)$$

e

$$\eta = \frac{\dot{m}C_p(T_e - T_s)}{A_c G_T} \quad (1.28)$$

1.6.1 Linha de Eficiência do Coletor e os Testes padronizados

Os valores de $F_R(\tau\alpha)$ e $F_R U_L$ expressam o comportamento do coletor solar em termos de eficiência. O primeiro corresponde à eficiência de absorção de calor pela placa coletora e o segundo corresponde às perdas térmicas para o ambiente. Esses parâmetros são determinados a partir de testes padronizados, como descritos na norma brasileira ABNT NBR-15747(20), baseada na norma ASHRAE STD 93(21).

No Brasil, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), projeto coordenado pelo INMETRO, realiza os testes padronizados em muitos coletores solares disponíveis no mercado. Os parâmetros caracterizadores de desempenho dos equipamentos testados são disponibilizados publicamente.

As equações 1.23 a 1.28 são a base para a caracterização da eficiência de um coletor, determinada pelos testes. Basicamente, estes seguem os seguintes procedimentos (5):

1. Fluido é injetado no coletor a uma temperatura controlada (T_e).
2. A irradiação é medida no plano do coletor.
3. A vazão de entrada (\dot{m}), a temperatura de saída (T_s) e as condições do ambiente são medidas (T_a).
4. A queda de pressão é medida ao longo do coletor.

As medições são geralmente realizadas na condição de regime de operação quase permanente do coletor. São obtidos os valores necessários para o cálculo da eficiência instantânea pela equação 1.28. Simultaneamente, são registrados os valores de T_e , T_a e G_T , necessários na equação 1.27.

Os valores de eficiência obtidos são *plotados* num gráfico de η em função de $(T_e - T_a)/G_T$. Os pontos possuem uma arrumação em forma quase linear. Um exemplo é mostrado na figura 13, com um gráfico contendo cinco testes em locais distintos e uma reta ajustada aos pontos.

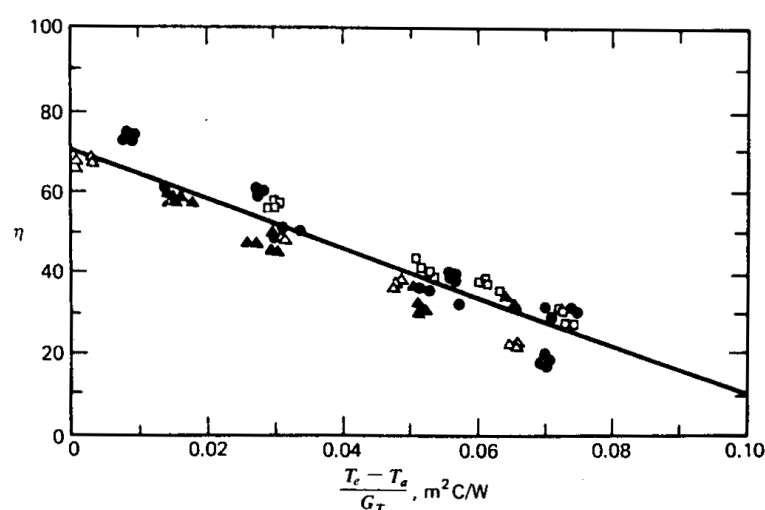


Figura 13 – Gráfico da obtenção experimental da eficiência do coletor solar.

A equação 1.27 pode ser tratada como a equação geral de uma reta ($y = -ax + b$), com $y = \eta$ e $x = (T_e - T_a)/G_T$. A partir dessa analogia, a equação da reta ajustada é obtida e em seguida são determinados os valores dos parâmetros $F_R(\tau\alpha)$ e $F_R U_L$, que equivalem ao coeficiente linear e ao coeficiente angular desta reta, respectivamente.

As medições são realizadas em pares de horas, simétricas em relação ao meio-dia solar. Os níveis de irradiação incidente sobre o coletor devem ser elevados,

isto é, em dias claros e perto da metade do dia, quando a irradiação direta é bastante intensa. Portanto, o produto transmitância-absorbância das condições usadas nos testes corresponde a uma incidência quase normal de irradiação direta, podendo ser escrito como $(\tau\alpha)_n$.

Os testes padronizados fornecem a eficiência para condições operativas com incidência quase normal de irradiação. Na maioria dos casos, porém, a direção da irradiação direta varia bastante. Além disso, os testes definem apenas uma vazão de fluido para o teste de cada coletor, o que pode não ocorrer na prática. Nestas situações, onde as condições reais de operação são diferentes das dos testes, corretores podem ser aplicados aos parâmetros $F_R(\tau\alpha)_n$ e $F_R U_L$.

1.7 Reservatório Térmico

Os SAS de água muitas vezes caracterizam-se como sistemas de acumulação, tendo em vista que o momento de maior consumo pode não coincidir com o momento de maior incidência de irradiação. Esta característica faz do reservatório um componente importante para o desempenho do sistema. Seu dimensionamento pode ser adaptado às diferentes aplicações. Por isso, muitos fatores devem ser considerados na escolha de um reservatório, tais como o ambiente de instalação, o isolante térmico, tipo de aquecedor auxiliar e as posições de entrada e saída do líquido.

Outro aspecto importante no desempenho do sistema é a estratificação térmica que pode ocorrer no líquido em seu interior. Em razão da diferença da densidade com a temperatura, o líquido quente permanece acima do líquido com menor temperatura, enquanto o equilíbrio térmico não é atingido. Assumindo essa distribuição térmica, a saída de líquido para o coletor estará posicionada na parte inferior e a entrada de líquido entregue pelo coletor estará posicionada na parte superior. Dessa forma, o fluido à menor temperatura receberá calor de forma mais eficiente, aumentando o desempenho do sistema (5).

A estratificação pode ser em maior ou menor grau, em função da posição do reservatório e da vazão de circulação de fluido pelo coletor. Quanto menor a vazão de circulação, menor a mistura no seu interior e menor a estratificação. Tanques cilíndricos com altura maior que o diâmetro (posição vertical) apresentam uma estratificação térmica mais acentuada e um melhor desempenho. Porém, o controle da temperatura da água de consumo é mais difícil do que o reservatório com maior mistura de líquido (5).

Embora, para fins de aumento do desempenho térmico, seja recomendado o uso na posição vertical, os reservatórios para fins residenciais encontrados no mercado brasileiro são na sua maioria horizontais (3).

1.8 Aquecedores Auxiliares

Segundo Fisch *et al* (22) em seu estudo para países europeus, o SAS deve ser projetado de forma a cobrir de 50% a 70% da demanda energética. Desta forma, o projeto não fica superdimensionado para as estações mais favoráveis, reduzindo os custos do sistema. Nesse contexto admite-se a importância da fonte de energia auxiliar como complemento da energia solar.

O aquecedor auxiliar pode ser externo ou interno ao reservatório. Segundo Borges (9), o mais usual é o aquecedor interno, que consiste de uma resistência elétrica acionada em função da temperatura da água na parte superior do reservatório. Seu efeito normalmente reduz o fenômeno da estratificação térmica, bem como a eficiência do coletor solar, a medida em que líquido aquecido passa a circular por este.

O aquecedor auxiliar externo pode ser de acumulação ou de passagem e pode ser elétrico ou a gás. Algumas configurações de SAS utilizam dois reservatórios, com aquecedor somente no segundo reservatório (23). Desta forma a eficiência do coletor solar não é alterada.

O uso do aquecedor auxiliar geralmente está associado a um sistema básico de controle, que aciona a resistência em função da temperatura da água, ligando ou desligando-a. O objetivo é não permitir que a temperatura da água fique abaixo do valor de referência, T_{ref} , que é ajustado no controlador.

1.9 Desempenho do sistema

Para casos no qual a carga térmica demandada é independente do tamanho do SAS, isto é, quando a energia solar obtida mais a energia auxiliar fornecida pelo sistema resulta em uma quantia fixa, independente do projeto adotado, pode-se definir o desempenho a longo prazo através da *fração solar*. A fração solar representa a contribuição da energia solar à energia térmica total demandada (5).

Uma maneira de se calcular o desempenho é considerando o fornecimento da energia solar através da seguinte expressão:

$$f = \frac{\int Q_u dt}{\int (L + L_p) dt} \quad (1.29)$$

onde Q_u é o calor fornecido pelo coletor, L_p é a energia térmica perdida através das paredes do reservatório e L é a carga térmica demandada relativa ao consumo de água quente. A fração solar mensal é obtida integrando-se ao longo de um mês.

Outro modo de avaliação do desempenho é considerando o aquecimento au-

xiliar e a sua relação com a energia demandada. A seguinte expressão é então usada:

$$f = 1 - \frac{\int P_{aux} dt}{\int L dt} \quad (1.30)$$

onde P_{aux} é a energia fornecida pelo aquecedor auxiliar. Para a fração solar anual, faz-se o seguinte somatório:

$$\mathcal{F} = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} \quad (1.31)$$

onde i é o índice do mês em questão (1 a 12).

Como descrito por Buckles e Klein(23), há diversos modos de se calcular a fração solar, o que torna imprescindível a explicação de qual método é utilizado nas análises.

1.10 Programas Computacionais

Diversos programas computacionais para simulação de SAS de água foram desenvolvidos nas últimas décadas, e apresentam uma forma de utilização mais simplificada, tais como o Solar Pro 2.0, GetSolar 8.2, SolTerm 5.0, SISCOS, RETScreen e SAM.

Apesar da existência de diversas opções, cada programa tem sua especificidade, priorizando certos aspectos e aplicações. Connolly *et al* (24) apresentaram um estudo analisando diversos programas que trabalham com análise de sistemas de energias renováveis.

No Brasil, Siqueira (25) desenvolveu um programa computacional para simulação de SAS de água chamado Termosim. O enfoque principal do trabalho foi avaliar o desempenho de sistemas a termossifão.

Esse capítulo descreve a metodologia de cálculo utilizada no presente programa. Primeiramente é apresentada uma descrição do funcionamento do programa, seus componentes e sua sequência de cálculo. Em seguida são apresentados os modelos de cálculo da irradiação absorvida pelo coletor solar, do calor útil fornecido por este e do balanço de energia no reservatório térmico. Também são descritos os dados de entrada necessários para a simulação e o algoritmo do programa.

O programa foi desenvolvido no ambiente computacional MATLAB (26), e trabalha com SAS de água com circulação forçada, envolvendo coletor solar e reservatório térmico com aquecedor auxiliar interno. As conexões entre componentes não são incluídas na análise energética, assim como a bomba de circulação. A figura 14 mostra a configuração do sistema.

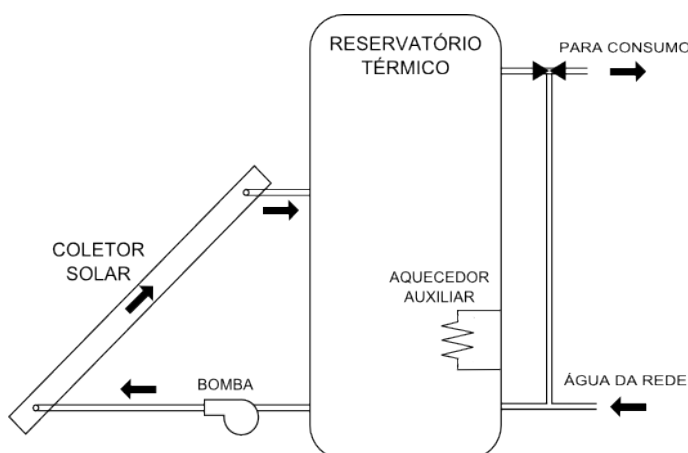


Figura 14 – Esquema do arranjo dos sistemas simulados no programa.

2.1 Concepção do Programa

O programa se baseia na aplicação dos balanços de massa e de energia sobre o reservatório térmico a cada incremento de tempo, considerando o calor proveniente do coletor solar e do aquecedor auxiliar, as perdas térmicas através das paredes do reservatório e o calor retirado no consumo da água aquecida. Ao final de cada tempo é calculada uma nova temperatura da água no interior do reservatório e o processo se reinicia com novos balanços, seguindo até o número de incrementos desejado. O modelo apresenta as seguintes considerações:

- O reservatório térmico, que armazena a água quente, é representado pelo modelo de mistura completa, ou seja, não há estratificação térmica no seu interior.
- Não há trocador de calor intermediário e a água consumida é a mesma que

circula pelo coletor.

- Há no sistema um controlador que aciona a bomba somente se houver uma diferença de temperatura mínima, que resulte em um fornecimento de calor ao reservatório. Portanto, não é permitido o fluxo reverso, do tanque para o coletor, em caso de gradiente de temperatura negativo.
- O modelo empregado para o coletor solar utiliza a equação que representa a linha de eficiência obtida através dos testes padronizados. Não é adotado modificador do ângulo de incidência.
- O programa trabalha apenas com o valor da área total dos coletores e não com a quantidade, isto é, considera um arranjo em paralelo.
- A temperatura da água da rede, que substitui a água consumida, é relacionada com as temperaturas do solo para a localidade.

Em seguida são descritos os modelos de cálculo utilizados no programa.

2.2 Irradiação incidente no coletor

2.2.1 Irradiação Total Horária em Superfície Inclinada

A irradiação solar horária incidente em uma superfície inclinada (I_T) consiste na soma de um conjunto de fluxos de irradiação, incluindo a irradiação direta, diferentes tipos de irradiação difusa provenientes do céu e a refletida pelas superfícies do entorno. A figura 15 mostra esquematicamente estes fluxos.

Para um dia claro, a irradiação difusa recebida pelo céu pode ser separada em três partes: uma parte isotrópica, recebida uniformemente da abóboda celeste; uma parte circunsolar, resultante da dispersão na atmosfera e concentrada em torno do raio solar; e uma parte proveniente do horizonte. Escrevendo na forma matemática, tem-se (5):

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d,iso} + I_{T,d,cs} + I_{T,d,hz} + I_{T,refl} \quad (2.1)$$

onde os índices T , b , d , iso , cs , hz e $refl$ significam respectivamente inclinada, direta, difusa, isotrópica, circunsolar, horizonte e refletida pelo solo.

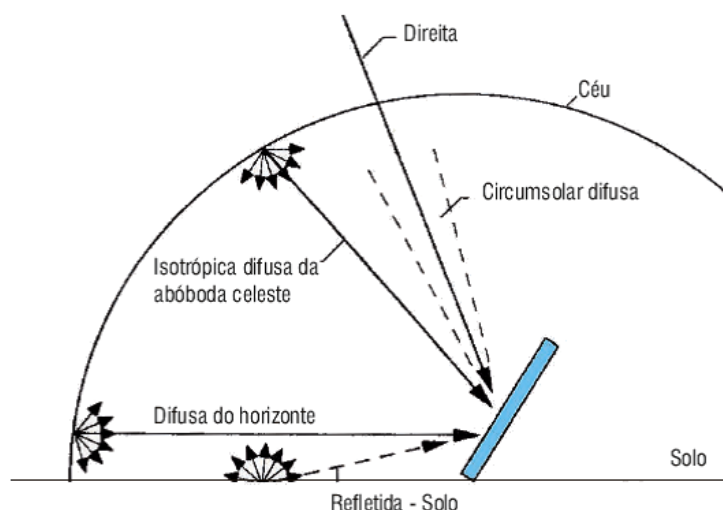


Figura 15 – Irradiações incidentes em uma superfície inclinada (fonte: (5)).

Muitos modelos foram desenvolvidos, com diferentes níveis de complexidade, variando o modo como a irradiação difusa é tratada. Um estudo sobre diversos métodos foi realizado por Noorian *et al* (27).

No programa foram implementados dois modelos. Ambos necessitam dos valores da irradiação global e da irradiação difusa (ou direta), incidentes em uma superfície horizontal. Os modelos são demonstrados por Duffie e Beckman(5) e são descritos a seguir.

É importante ressaltar que as estimativas de irradiação em superfície inclinada tipicamente utilizam a metade da hora anterior para a realização dos cálculos, pois os dados de irradiação registrados em uma certa hora costumam ser o valor integrado durante a hora passada.

2.2.1.1 Modelo do Céu Isotrópico

Neste modelo, desenvolvido por Liu e Jordan, toda a irradiação difusa é tratada como isotrópica. O terceiro e o quarto termo do somatório descrito pela equação 2.1 são portanto eliminados.

No cálculo da irradiação incidente, faz-se necessário incluir um fator de visão para o céu $F_{c-s} = (1 + \cos \beta)/2$ (para a difusa isotrópica) e um fator de visão para o solo $F_{c-g} = (1 - \cos \beta)/2$ (para a refletida). Portanto, para uma superfície de inclinação β , a irradiação total horária incidente pode ser obtida por:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{\rho_g} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2.2)$$

onde ρ_g é um coeficiente de reflexão do solo, chamado de albedo.

Nesta equação, R_b é calculado para o momento da metade da hora anterior, correspondendo a um valor médio desta hora.

2.2.1.2 Modelo do Céu Anisotrópico

Este modelo, desenvolvido por Hal e Davies, é semelhante ao modelo do céu isotrópico, porém considera a parcela circunsolar da irradiação difusa, que é então separada em duas partes: isotrópica e circunsolar.

$$I_{T,d} = I_{T,d,iso} + I_{T,d,cs} \quad (2.3)$$

No somatório da equação 2.1, apenas o quarto termo é eliminado, e as irradiações direta e refletida pelo solo, $I_{T,b}$ e $I_{T,refl}$, são tratadas da mesma forma como no método do céu isotrópico (item 2.2.1.1).

Hal e Davies estimaram a fração da irradiação difusa que é considerada circunsolar e definiram a direção desta como idêntica à da irradiação direta (5). Foi definido um índice de anisotropia, A_i , que determina a porção da irradiação difusa horizontal que é tratada como circunsolar. Este índice é função da transmitância da atmosfera e pode ser escrito como:

$$A_i = \frac{I_{bn}}{I_{on}} = \frac{I_b}{I_o} \quad (2.4)$$

onde I_{bn} e I_{on} são as irradiações solares direta normal e extraterrestre normal.

Em dias claros, este índice é alto e a maior parte da irradiação difusa será tratada como circunsolar. No caso oposto, quando não há irradiação direta, o índice é nulo e toda a irradiação difusa é tratada como isotrópica. A irradiação total na superfície inclinada pode ser escrita como:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left[(1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + A_i R_b \right] + I_{\rho_g} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2.5)$$

Da mesma forma como no item anterior, R_b é calculado no momento da metade da hora anterior.

2.3 Coletor Solar

O coletor solar empregado nas simulações é do tipo placa plana e não contém sistema de rastreamento solar. O modelo aplicado para o coletor solar utiliza a equação de Hottel-Williers, como descrito no item 1.6:

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [G_T (\tau \alpha) - U_L (T_e - T_a)] \quad (1.23)$$

Nesta equação alguns termos variam a cada passo de tempo, como G_T , T_e e T_a , que são referentes aos dados ambientais. Os outros termos são parâmetros associados às propriedades físicas do coletor e são constantes durante toda a simulação.

Não foi adotada correção para incidência não normal da irradiação e nem correção para vazões mássicas diferentes das utilizadas nos testes padronizados.

2.4 Reservatório Térmico

2.4.1 Aquecedor elétrico auxiliar

O objetivo do aquecedor é não permitir que a água esteja a uma temperatura menor que o valor de referência, T_{ref} , que é configurado no controlador. Pode-se dizer que o aquecedor estará ligado se a temperatura do fluido for menor que T_{ref} .

Considerando os intervalos da simulação e uma aproximação da condição real (na qual o aquecedor é desligado quando $T \geq T_{ref}$ e não necessariamente é mantido ligado durante um passo de tempo inteiro), deve-se calcular o calor necessário para aquecer a água até T_{ref} durante o intervalo correspondente. Tem-se então para um passo de tempo:

$$P_{aux} = \min(P_{nec}, \dot{P}_{max} \Delta t) \quad (2.6)$$

onde P_{aux} é a energia final fornecida para a água pelo aquecedor, e corresponde ao mínimo valor entre P_{nec} , que é a energia necessária para elevar o fluido até T_{ref} , e $\dot{P}_{max} \Delta t$, que é a energia correspondente à potência máxima da resistência elétrica durante o intervalo. O cálculo de P_{nec} depende do balanço de energia no reservatório e é descrito no item 2.4.3.

2.4.2 Balanço de Energia

O seguinte balanço de energia pode ser feito sobre o reservatório:

$$\begin{bmatrix} \text{Variação de} \\ \text{Energia} \\ \text{Interna} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Potência} \\ \text{Entregue} \\ \text{pelo Coletor} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Entalpia da} \\ \text{Água} \\ \text{Fria} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Entalpia da} \\ \text{Água} \\ \text{Quente} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Perdas de} \\ \text{Calor pelas} \\ \text{Paredes} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Potência do} \\ \text{Aquecedor} \\ \text{Auxiliar} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

ou na forma matemática, com a diferencial no tempo:

$$\frac{dE_{int}}{dt} = \dot{Q}_u + \dot{E}_{af} - \dot{E}_{aq} - \dot{L}_p + \dot{P}_{aux} \quad (2.8)$$

onde dE_{int}/dt é a variação da energia interna do reservatório, \dot{Q}_u é a potência térmica fornecida pelo coletor, \dot{E}_{af} é a taxa de entalpia da entrada de água fria, \dot{E}_{aq} a taxa de entalpia do consumo de água, \dot{L}_p o fluxo de calor através das paredes, \dot{P}_{aux} é a potência fornecida pelo aquecedor e t é o tempo.

Considerando a massa de água no reservatório (m) constante ao longo do tempo e desprezando a variação do calor específico (C_p) com a temperatura (T), chega-se a:

$$(mC_p) \frac{dT}{dt} = \dot{Q}_u + \dot{E}_{af} - \dot{E}_{aq} - \dot{L}_p + \dot{P}_{aux} \quad (2.9)$$

O balanço de entalpia relacionado ao consumo de água quente e à reposição de água fria, considerando ser a mesma vazão \dot{m}_{af} para ambos, pode ser escrito da seguinte forma:

$$\dot{E}_{af} - \dot{E}_{aq} = \dot{m}_{af} C_p (T_{aq} - T_{af}) \quad (2.10)$$

onde T_{aq} e T_{af} são as temperaturas da água quente consumida e da água fria de reposição.

A troca térmica através das paredes do reservatório é representada por:

$$\dot{L}_p = (UA)(T - T'_a) \quad (2.11)$$

onde A é a área correspondente, T'_a é a temperatura ambiente e U é o coeficiente global, que reúne todas as perdas térmicas do tanque. Valores para este último parâmetro podem ser obtidos a partir dos resultados de testes padronizados pela norma ABNT NBR 10185 (28).

\dot{P}_{aux} é definido em função da temperatura do reservatório e será calculado como descrito no item 2.4.3.

Substituindo as equações dos componentes na equação (2.9), obtém-se:

$$(mC_p) \frac{dT}{dt} = A_c F_R [G_T(\tau\alpha) - U_L(T - T_a)] - \dot{m}_{af} C_p (T - T_{af}) - (UA)(T - T'_a) + \dot{P}_{aux} \quad (2.12)$$

Reorganizando a equação e aplicando uma integração simples de Euler (5), obtém-se:

$$T^+ - T = \frac{\Delta t}{(mC_p)} \times \{ A_c F_R [G_T(\tau\alpha) - U_L(T - T_a)] - \dot{m}_{af} C_p (T - T_{af}) - (UA)(T - T'_a) + \dot{P}_{aux} \} \quad (2.13)$$

onde T^+ representa a temperatura do reservatório ao final de um incremento de tempo Δt .

Nesta equação, os seguintes termos variam a cada passo de tempo: G_T , T_a , T_{af} e T'_a , que são referentes aos dados ambientais e \dot{m}_{af} , relativo ao consumo de água quente. Todos estes são dados de entrada e precisam ser lidos no início de cada incremento. Os outros termos são parâmetros associados às propriedades físicas do coletor e do reservatório e são constantes durante toda a simulação, com exceção de \dot{P}_{aux} , que será explicado posteriormente.

Devido à presença do aquecedor elétrico, algumas considerações precisam ser feitas antes de se determinar os valores finais da energia suprida pelo aquecedor e de T^+ . Tal procedimento é descrito no item 2.4.3.

A definição do passo de tempo é feita pelo usuário, e cuidado deve ser tomado a fim de evitar problemas de instabilidade, conforme descrito em (5). O programa é capaz de trabalhar com qualquer passo de tempo, porém, essa definição depende da disponibilidade dos dados de entrada. Esse assunto é tratado novamente no item 2.7.4 mais adiante.

2.4.3 Determinação da Temperatura ao Final do Incremento e da Energia Auxiliar Fornecida

Para realizar o balanço de energia da equação 2.13, o valor inicial para a potência auxiliar fornecida \dot{P}_{aux} deve ser definido. Neste sentido, determina-se o valor de $\dot{P}_{aux} = 0$ quando $T \geq T_{ref}$ e de $\dot{P}_{aux} = \dot{P}_{max}$ quando $T < T_{ref}$.

Após calculado o valor de T^+ nesta primeira iteração, quatro situações são

consideradas, tendo em vista o acionamento do aquecedor:

- 1) Se $T < T_{ref}$ e $T^+ < T_{ref}$: Nada precisa ser feito, T^+ é mantido e $P_{aux} = \dot{P}_{max}\Delta t$.
- 2) Se $T > T_{ref}$ e $T^+ > T_{ref}$: Nada precisa ser feito, T^+ é mantido e $P_{aux} = 0$.
- 3) Se $T \geq T_{ref}$ e $T^+ < T_{ref}$: Neste caso faz-se $T^+ = T_{ref}$ e P_{aux} é calculado por:

$$P_{aux} = (T_{ref} - T)(mC_p) \times \Delta t \{ -A_c F_R [G_T(\tau\alpha) - U_L(T_e - T_a)] + \dot{m}_{af} C_p (T - T_{af}) + (UA)(T - T'_a) \} \quad (2.14)$$

- 4) Se $T \leq T_{ref}$ e $T^+ > T_{ref}$: Faz-se como no caso anterior, porém se a equação 2.14 der resultado negativo, assume-se $P_{aux} = 0$ e T^+ tem seu valor mantido (primeiro resultado da equação 2.13).

2.5 Controlador da bomba

O controlador que aciona a bomba de circulação do sistema monitora a temperatura do fluido na entrada e na saída do coletor solar. Assim, para haver circulação no coletor solar, define-se que:

$$T_s > T_e + T_{offset} \quad (2.15)$$

onde T_{offset} é um valor definido pelo usuário.

2.6 Desempenho do sistema

Neste trabalho o desempenho é analisado através da fração solar mensal. Utilizou-se a relação que considera a energia fornecida pelo coletor solar e sua relação com a carga térmica. Foi usada para isso a equação 1.29. A carga térmica demandada no consumo de água quente é calculada por:

$$L = m_c C_p (T_{ref} - T_{af}) \quad (2.16)$$

onde m_c é a massa de água quente consumida.

2.7 Dados de entrada

Os dados de entrada necessários para a simulação são: as irradiações incidentes no plano horizontal, a temperatura da água da rede de abastecimento, a temperatura ambiente (para o coletor e para o reservatório) e o consumo de água quente. Os valores são requeridos pelo programa a cada passo de tempo.

Adotou-se no programa a base de dados do SWERA, disponível em formato TMY para diversas localidades do mundo, incluindo 20 cidades brasileiras. Os dados estão dispostos na rede em arquivos ASCII em alguns formatos, incluindo o formato do software EnergyPlus, com extensão EPW (*EnergyPlus Weather*).

Cada arquivo corresponde a uma cidade, contendo inicialmente informações sobre a estação meteorológica como o nome e a sua posição geográfica. O formato EPW é descrito por Crawley *et al* (29). Em um trabalho recente este mesmo formato foi usado para simulações de SAS de água (30).

Nas simulações realizadas com o presente programa são lidas para a localidade escolhida os dados de irradiação horários, a temperatura do ar (temperatura de bulbo seco) e a temperatura do solo, esta última é apresentada em média mensal e não horária e necessita de tratamento matemático, descrito mais adiante no item 2.7.3.

2.7.1 Dados de Irradiação Incidente

Os dois modelos de irradiação incidente no plano inclinado apresentados no item 2.2.1 necessitam dos dados de irradiação horizontal global e horizontal difusa. Para o modelo do céu anisotrópico (item 2.2.1.2), é necessário também o valor da irradiação direta normal. Todos estes valores são encontrados nos arquivos EPW.

O programa é capaz de simular também localidades para as quais só é fornecida o valor da irradiação global horizontal. Neste caso os valores da irradiação difusa horizontal podem ser obtidos matematicamente. O modelo implementado para este caso é descrito no item 1.1.6.

2.7.2 Consumo de água quente

A entrada de dados para o consumo de água quente é feita através da leitura de um arquivo com 8761 linhas. A primeira linha é um cabeçalho de uma palavra e as restantes são os valores das taxas de consumo de água em kg/h para cada hora do ano. Este formato é o mesmo utilizado no programa computacional SAM (31).

O programa apresentado também possibilita a geração automática deste arquivo a partir da entrada de um valor representando o consumo total diário de água

quente. O perfil de consumo ao longo do dia utilizado neste processo é descrito no item 1.4.

2.7.3 Temperatura da Água da Rede

No arquivo de dados meteorológicos (formato EPW) há valores em médias mensais referentes à temperatura do solo para alguns níveis de profundidade. No presente programa tais valores são adotados para a temperatura da água da rede, necessária para o cálculo da carga térmica de consumo da água quente. Quando houver valores disponíveis para mais de uma profundidade, o programa escolhe a primeira profundidade abaixo de 2 metros, valor adotado como referência para a tubulação de abastecimento.

A geração dos valores horários, a partir dos doze valores de médias mensais disponíveis no arquivo EPW, foi realizada seguindo um perfil senoidal, utilizando como base os valores das médias mensais máxima e mínima do ano. Tal procedimento é utilizado no programa comercial RetScreen(18) para a geração de valores mensais. No presente trabalho esse procedimento foi adaptado e a seguinte fórmula foi utilizada:

$$T_{af}(h) = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} + \frac{T_{min} - T_{max}}{2} \cdot \cos(2\pi(h - d_{max})/8760) \quad (2.17)$$

onde T_{min} e T_{max} são respectivamente as temperaturas em média mensal mínima e máxima do ano, h é a hora do ano (1 a 8760) e d_{max} é o número do dia característico do mês mais quente do ano e pode ser calculado por:

$$d_{max} = 30 \cdot m_{max} - 15 \quad (2.18)$$

onde m_{max} é o número do mês com a maior média de temperatura.

Esse método foi usado em outro trabalho recente sobre simulação de SAS de água (32). Os valores horários, gerados com o perfil senoidal, e os doze valores de média mensal da base SWERA para as cidades do Rio de Janeiro e Istambul são mostrados nas figuras 16 e 17, respectivamente.

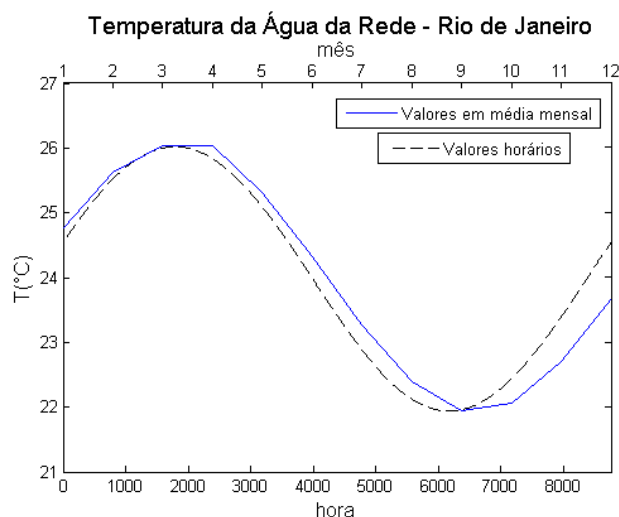


Figura 16 – Temperatura da água da rede de abastecimento no Rio de Janeiro ao longo de um ano.

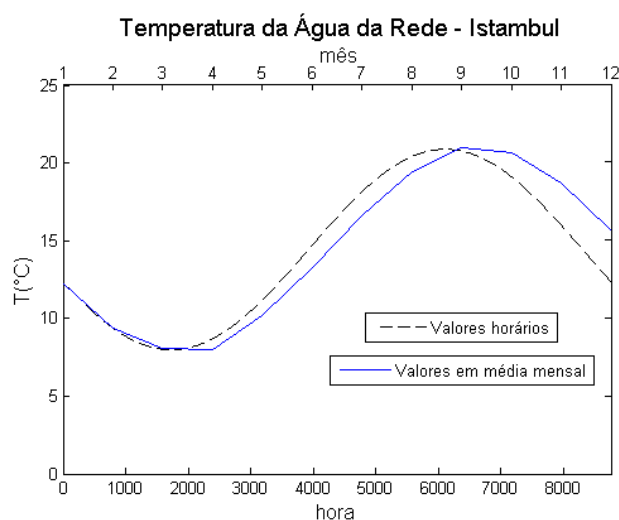


Figura 17 – Temperatura da água da rede de abastecimento em Istambul ao longo de um ano.

2.7.4 Definição do Passo de Tempo

Por trabalhar com a integração numérica de equação diferencial (equação 2.12), cuidado deve ser tomado na definição do passo de tempo. Segundo Duffie e Beckman (5), passos de tempo muito grandes podem gerar instabilidade na integração numérica.

Por outro lado, a menos que uma interpolação dos dados de entrada seja realizada, essa definição está atrelada à disponibilidade destes. Portanto, como a

base de dados meteorológicos escolhida neste trabalho fornece dados horários, todas as simulações aqui realizadas utilizam intervalos horários.

Métodos de interpolação aplicados sobre os dados de entrada possibilitariam a utilização de passos de tempo menores na simulação, aumentando a estabilidade da integração. Segundo Duffie e Beckman (5), passos de tempo de uma hora têm sido utilizados em simulações de SAS sem problemas de estabilidade na integração.

2.8 Algoritmo

O funcionamento sequencial do programa, desde a leitura de arquivos até a obtenção dos resultados finais é mostrada de forma esquemática no fluxograma das figuras 18 a 20.

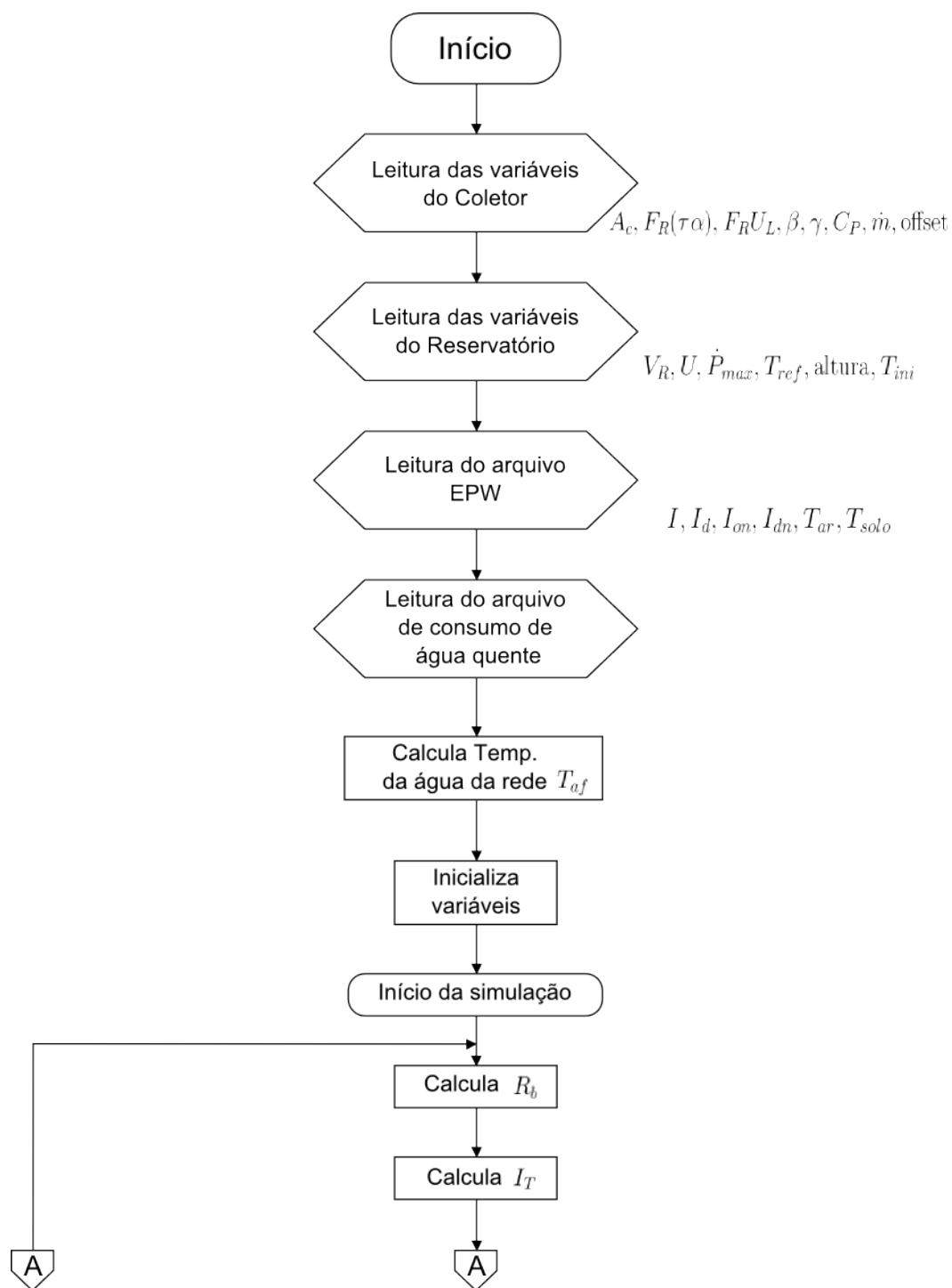


Figura 18 – Fluxograma de ações do programa.

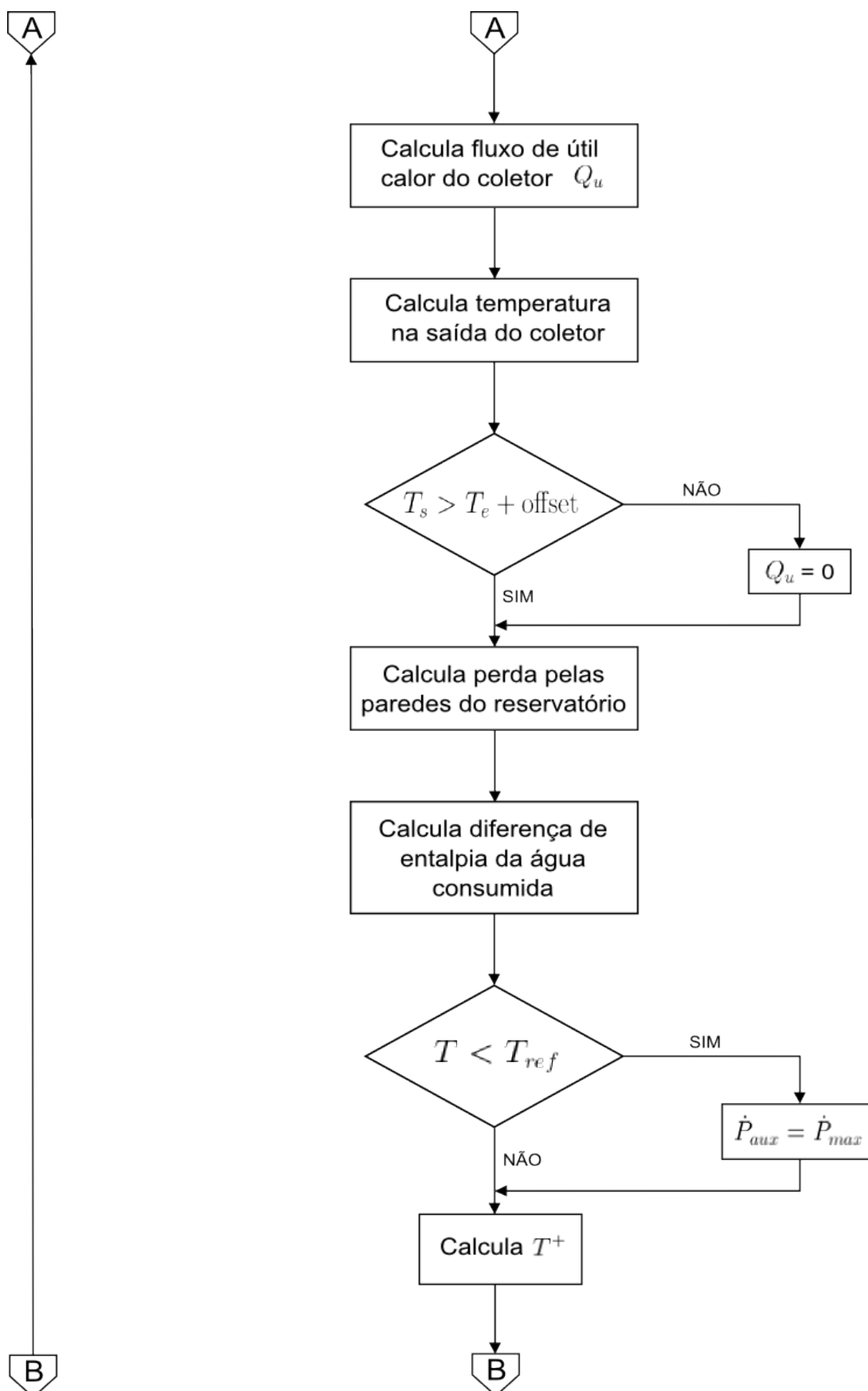


Figura 19 – Fluxograma de ações do programa (cont.).

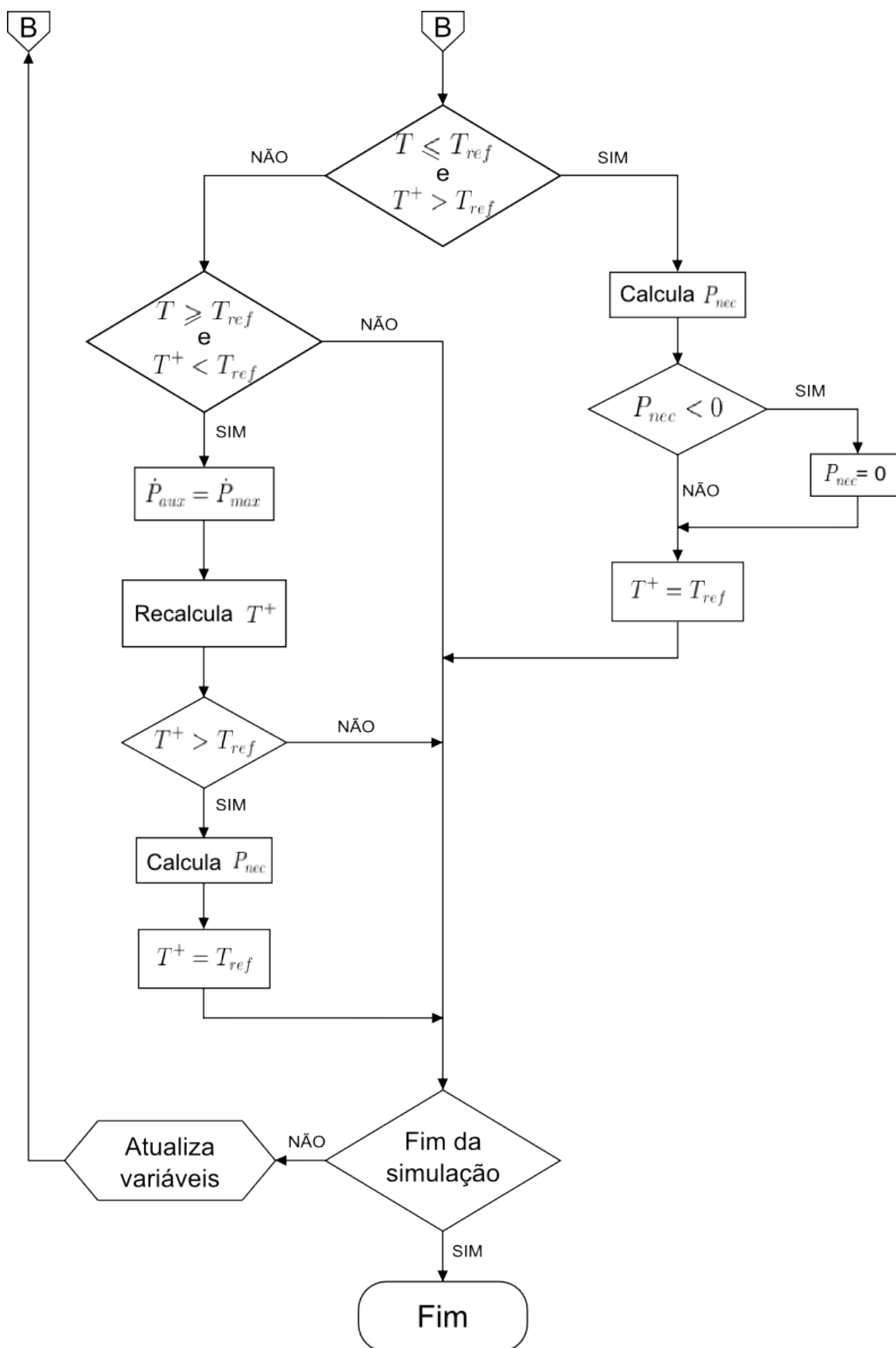


Figura 20 – Fluxograma de ações do programa (cont.).

3 VALIDAÇÃO

A validação do presente programa foi realizada com base em exercícios resolvidos do Duffie e Beckman (5) e através de comparação com valores obtidos pelo ambiente de simulação computacional TRNSYS versão 15 (33). Na comparação com os exercícios resolvidos, o presente programa apresentou erros desprezíveis.

A comparação com os resultados do TRNSYS foi realizada em três etapas. Primeiramente foram comparados somente valores de irradiação incidente em uma superfície inclinada. Em seguida, foi simulado um coletor solar isolado, sem a presença do reservatório térmico. Por último, algumas configurações de sistemas completos, incluindo o modelo de irradiação incidente, coletor solar e reservatório térmico, foram simuladas pelo presente programa e pelo TRNSYS e os resultados foram comparados.

A metodologia de validação e o TRNSYS são descritos nos itens a seguir.

3.1 TRNSYS *Transient Simulation Program*

TRNSYS (pronunciado "tran-sis") é um ambiente computacional usado para simular o comportamento de sistemas transientes e está disponível comercialmente desde 1975 (10), sendo desenvolvido e atualizado constantemente. Inicialmente sua aplicação era apenas para sistemas com energia solar e atualmente, pode simular diversos sistemas energéticos, sistemas dinâmicos, análise de tráfego de fluxo ou processos biológicos.

Sua arquitetura pode ser separada em duas partes. A primeira, chamada de *kernel*, contém diversas rotinas para leitura e processamento de arquivo de dados, resolução numérica de sistemas de equações, rotinas matemáticas básicas e avançadas, entre outras. A segunda parte é uma extensa biblioteca de componentes, que inclui cerca de 150 modelos, tais como bombas para edifícios, turbinas eólicas, processadores de dados meteorológicos e rotinas básicas para cálculos econômicos.

A principal característica do TRNSYS é a sua estrutura modular aplicada na representação dos sistemas simulados. Por via da biblioteca de componentes, um sistema complexo pode ser substituído por uma rede de componentes menores interligados que são facilmente resolvidos internamente. Esta estrutura torna o ambiente bastante flexível, possibilitando a simulação de grande quantidade de configurações de sistemas. A figura 21 mostra a interface gráfica chamada IISiBat, uma das partes do pacote do programa, que pode ser usada para a montagem dos sistemas.

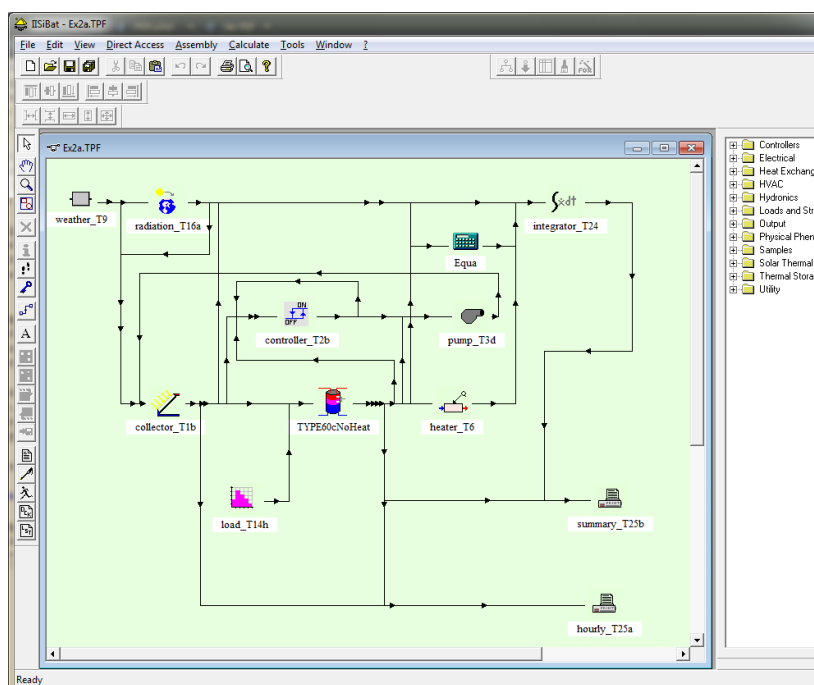


Figura 21 – Interface gráfica para montagem dos sistemas.

Cada componente é modelado matematicamente por um sistema de equações, e o TRNSYS resolve estes sistemas para cada intervalo de tempo, utilizando métodos analíticos e numéricos e o fluxo de informações entre os componentes. Na documentação do programa são descritos os modelos físico-matemáticos adotados para cada componente, seguidos da lista de referências bibliográficas que os fundamentam.

Os componentes possuem uma série de parâmetros para definição dos modelos de cálculo e de constantes que serão usadas na simulação. Esses valores pré-definidos não poderão ser alterados durante a simulação. Adicionalmente, os componentes possuem uma lista de dados de entrada e de saída. Os dados de entrada podem ser configurados como constantes, ou variáveis no tempo. Neste caso, o valor é lido a partir dos valores de saída de um outro componente do sistema em cada intervalo da simulação.

Depois de escolhidas as unidades que farão parte do sistema, os componentes devem ser conectados devidamente, isto é, as entradas e as saídas devem ser devidamente configuradas, garantindo o fluxo de informações.

Os componentes do TRNSYS utilizados para a validação do presente programa são descritos em detalhes a seguir.

3.1.1 TYPE 16 - *Radiation Processor*

Esse componente contém modelos específicos para o tratamento básico da irradiação solar, apresentando diversos parâmetros como saída, entre eles o ângulo de incidência, irradiação extraterrestre, irradiação total em superfície inclinada. Além disso, possui modelos avançados, como o cálculo para superfícies rastreadoras (*tracking surface*) e cálculo simultâneo para mais de uma superfície inclinada. Os parâmetros usados nas simulações deste trabalho são descritos na tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos parâmetros do Componente TYPE 16 do TRNSYS.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
1 (<i>Horizontal radiation mode</i>)	Define o modo de obtenção das irradiações direta e difusa horizontais a partir da irradiação total horizontal; Define os dados de entrada necessários
3 (<i>Tilted surface mode</i>)	Modelo de cálculo da irradiação incidente em superfície inclinada
4	Dia do ano em que a simulação tem início (1 a 365)
5	Latitude local (ϕ) em graus
6	Define a constante solar, com valor padrão de 1353 W/m ²

Para $PAR\ 1 = 1$, as irradiações difusa e direta horizontais são calculadas a partir somente do valor de entrada da irradiação total horizontal, em um método desenvolvido por Reindl, semelhante ao descrito no item 1.1.6. Com $PAR\ 1 = 5$ define-se que as irradiações de entrada serão a irradiação total e a difusa em superfície horizontal.

Para $PAR\ 3 = 1$ e $PAR\ 3 = 2$, os métodos descritos nos itens 2.2.1.1 e 2.2.1.2, respectivamente, são adotados.

3.1.2 TYPE 1 - *Flat Plate Solar Collector*

Esse componente modela o desempenho térmico de uma variedade de coletores solares de placa plana, considerando arranjos em série ou em paralelo. São usados neste cálculo valores dos parâmetros caracterizadores da eficiência, obtidos em testes padronizados ($F_R(\tau\alpha)$ e $F_R U_L$). Correções podem ser aplicadas para efeitos de ângulo de incidência não-normais, vazões mássicas variáveis, presença de trocador de calor na saída do coletor, entre outras. Os parâmetros usados são descritos na tabela 3.

Tabela 3 – Descrição dos parâmetros do Componente TYPE 1 do TRNSYS.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
2	Área total do arranjo de coletores (m^2)
3	Calor específico do fluido ($kJ/kg^{\circ}C$)
4 (<i>Efficiency mode</i>)	Define qual temperatura é usada na fórmula da eficiência: temperatura na entrada (T_e), temperatura na saída do coletor (T_s), ou a média das duas (T_m)
5	Vazão mássica utilizada nos testes padronizados (kg/hm^2)
6	Define o parâmetro caracterizador da eficiência $F_R(\tau\alpha)$
7	Define o parâmetro caracterizador da eficiência F_RU_L ($kJ/hm^2^{\circ}C$)
9 (<i>Optical mode</i>)	Especifica se haverá correção para inclinações distintas das usadas nos testes padronizados e qual modelo adotado

3.1.3 TYPE 4 - *Stratified Fluid Storage Tank*

Modela o desempenho de um reservatório térmico contendo fluido sem estratificação de temperatura, ou com até 15 níveis de temperatura no seu interior. O modelo considera a definição das posições de entrada e saída de líquido no tanque e a existência de aquecedores auxiliares internos a gás e à eletricidade. O componente possui dois aquecedores elétricos distintos e podem estar posicionados em alturas diferentes no reservatório. Os aquecedores auxiliares trabalham com *deadband* de temperatura.

Quando o aquecedor auxiliar é acionado, a energia térmica entregue ao fluido é máxima se no final do intervalo, T_r não atingiu T_{ref} . Caso contrário, a energia entregue é somente aquela necessária para $T_r = T_{ref}$ e é menor que a máxima do aquecedor para o intervalo. Os parâmetros usados são descritos na tabela 4.

Tabela 4 – Descrição dos parâmetros do Componente TYPE 1 do TRNSYS.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
1	Define se as posições (alturas) de entrada dos fluidos será fixa ou variável com a temperatura.
2	Volume do tanque (m ³).
3	Calor específico do fluido (kJ/kg°C)
4	Densidade do fluido (kg/m ³)
5	Coefficiente global de perdas térmicas (kJ/hm ² °C)
6	Altura do reservatório (m)
10	Temperatura de referência do aquecedor auxiliar 1 (°C)
11	<i>Deadband</i> de temperatura do aquecedor auxiliar 1 (°C)
12	Potência máxima do aquecedor auxiliar 1 (kJ/h)
20	Temperatura de ebulição do fluido (°C)

3.1.4 TYPE 3 - *Pump Or Fan*

Controla a vazão mássica usando uma função controle, com valor entre 0 e 1, e a capacidade máxima pré-definida de vazão. Permite realizar um balanço térmico no fluido, considerando uma parcela da potência de consumo que é dissipada e transformada em calor. Esta situação não é considerada neste trabalho e a bomba foi reduzida a um equipamento liga-desliga, acionado por outro equipamento controlador (TYPE 2 - *On/off Diferencial Controller*).

3.1.5 TYPE 2 - *On/off Diferencial Controller*

Este componente modela um controlador de nível de temperatura, através do monitoramento da temperatura em dois pontos distintos (T_H e T_L). O modelo gera o resultado de uma função controle γ_o , com valor de 0 ou 1. O valor é determinado em função da diferença entre a maior e a menor temperatura avaliada em dois casos: quando o controlador está ativo (ΔT_L) e quando está inativo (ΔT_H). O valor de saída também é dependente do resultado no tempo anterior (γ_i). A função controle é expressa por:

$$\gamma_o = \begin{cases} 1, & \text{se } \gamma_i = 1 \text{ e } \Delta T_L \leq (T_H - T_L) \\ 0, & \text{se } \gamma_i = 1 \text{ e } \Delta T_L > (T_H - T_L) \\ 1, & \text{se } \gamma_i = 0 \text{ e } \Delta T_H \leq (T_H - T_L) \\ 0, & \text{se } \gamma_i = 0 \text{ e } \Delta T_H > (T_H - T_L) \end{cases} \quad (3.1)$$

O componente possui um monitor de máxima temperatura, emitindo sinal de saída nulo ($\gamma_o = 0$) caso a temperatura alcance este valor. Este limite é definido no parâmetro 2 do componente e neste trabalho foi ajustado para 100 °C.

3.1.6 Rotinas de integração e soluções de sistemas de equações

Dentre os algoritmos de integração disponíveis no TRNSYS, o mais utilizado e, por isso adotado como padrão, é o método de Euler modificado. Trata-se de um método preditor-corretor de primeira ordem, que utiliza o método de Euler para a previsão do passo e a regra trapezoidal para a correção do passo. A vantagem de um algoritmo de integração preditor-corretor para a solução de um sistema de equações algébricas e diferenciais simultâneas é que os cálculos iterativos em um único intervalo de tempo são feitos com base em um valor constante de tempo (o que não ocorre com os algoritmos de Runge-Kutta)(5).

3.2 Validação da irradiação incidente no coletor

Na validação do modelo de irradiação incidente, quatro superfícies inclinadas foram simuladas por um período de um ano, em quatro cidades localizadas em continentes diferentes. As cidades escolhidas foram: Rio de Janeiro ($\phi = -22,90^\circ$), Denver (EUA, $\phi = 39,76^\circ$), Istambul (Turquia, $\phi = 40,97^\circ$) e Sidney (Austrália, $\phi = -33,95^\circ$). A inclinação da superfície foi ajustada para o valor absoluto da latitude local e sua orientação voltada para o equador. Os dados de irradiação usados como entrada foram lidos de um arquivo EPW obtidos da base SWERA, disponível na internet. O modelo de cálculo utilizado é descrito no item 2.2.1.1.

Dados comparados: Os valores de irradiação total horária incidente no plano do coletor, obtidos através do presente programa, foram comparados com resultados calculados pelo TRNSYS. Para isto foi utilizado o componente TYPE 16 - *Radiation Processor*. A tabela 5 mostra o ajuste dos parâmetros.

Tabela 5 – Configuração dos parâmetros do componente 16 do TRNSYS.

PARÂMETRO	VALOR
1	5
3	1
5	-22,9°/39,76°/40,97°/-33,95°
6	1353 W/m ²

Para $PAR\ 1 = 5$, os valores de entrada (*INPUTS*) foram configurados conforme mostrado na tabela 6.

Tabela 6 – Configuração dos dados de entrada para o $PAR\ 1 = 5$ do componente TYPE 16.

<i>INPUT</i> ($PAR\ 1 = 5$)	VALOR
1 - I	leitura de arquivo EPW
2 - I_d	leitura de arquivo EPW
5 - ρ (albedo)	0,2
6 - β (inclinação)	23°/40°/41°/35°
7 - γ (azimute)	0°(p/ o equador)

3.3 Validação do coletor solar

Um coletor solar plano foi simulado na cidade do Rio de Janeiro por um período de um ano. Os dados de irradiação incidente utilizados foram apenas a irradiação total em superfície inclinada (I_T), e foram usados os resultado do cálculo do item anterior (3.2), através da leitura de arquivo. A vazão mássica e a temperatura do ar foram arbitradas constantes. Os dados do coletor são retirados de um exemplo do manual do TRNSYS e são listados a seguir:

- Área total $A_c = 6,5\ m^2$
- Calor específico do fluido $C_p = 4,19\ kJ/kg^{\circ}C$
- Vazão mássica $\dot{m} = 325\ kg/h$
- $F_R(\tau\alpha) = 0,7$
- $F_RU_L = 4,17\ W/m^2^{\circ}C$
- Inclinação $\beta = 23^{\circ}$

No TRNSYS o componente utilizado foi o TYPE 1 - *Flat Plate Solar Collector*. A irradiação total incidente no plano do coletor (I_T) foi configurada como dado de

entrada. As tabelas 7 e 8 mostram a configuração dos parâmetros e dos valores de entrada para a unidade, respectivamente.

Tabela 7 – Configuração dos parâmetros do componente TYPE 1 do TRNSYS.

PARÂMETRO	VALOR
2	6,5 (m ²)
3	4,190 (kJ/kg°C)
4	1
5	50 (kg/hm ²)
6	0,7
7	15 (kJ/hm ² °C)
9	1

Tabela 8 – Configuração dos dados de entrada para o componente TYPE 1 do TRNSYS.

INPUT	VALOR
1 - T_e	20°C
2 - \dot{m}	325 kg/h
3 - T_a	25°C
4 - I_T	lido de arquivo

Dados comparados: Os valores para o fluxo de calor fornecido pelo coletor e a temperatura da água de saída foram calculados a cada hora durante um ano pelo presente programa e pelo TRNSYS, e em seguida os resultados foram comparados.

3.4 Validação do sistema completo

Na validação do sistema completo, quatro casos foram simulados separadamente, em localidades distintas de continentes diferentes, as mesmas cidades do item 3.2.

A simulação abrangeu os cálculos do coletor solar, do reservatório térmico (incluindo aquecedor auxiliar) e da irradiação solar incidente no coletor e teve um tempo de simulação de um ano.

O modelo adotado para o cálculo da irradiação incidente é descrito no item 2.2.1.1, com a inclinação do coletor solar definida com valor igual à latitude local e sua orientação voltada para o Equador, situação comum na prática.

O valor adotado para o coeficiente global de perdas térmicas do reservatório, U , foi retirado de uma tese sobre reservatórios térmicos utilizados em SAS de água

(34).

A temperatura ambiente teve valores lidos de arquivo EPW contendo o ano meteorológico típico no estilo TMY da cidade correspondente, obtidos da base SWERA disponível. A temperatura da água da rede foi calculada como descrito no item 2.7.3 a partir de valores em média mensal para a temperatura do solo, obtidos do mesmo arquivo EPW.

O consumo de água quente foi arbitrado no valor do volume de um tanque por dia e, através da aplicação do perfil do consumo médio percentual descrito no item 1.4, foram definidos os valores horários médios para cada hora do dia.

Na simulação com o TRNSYS foram utilizados todos os componentes descritos anteriormente, além dos componentes de leitura e escrita de arquivos, não descritos aqui. Os parâmetros e *INPUTS* do TYPE 16 são os mesmos do item 3.2 para todos os casos, com alteração apenas para os valores de inclinação, latitude e o ângulo de azimute.

Dados comparados: A temperatura da água no interior do reservatório foi calculada pelo presente programa e pelo TRNSYS e em seguida os valores obtidos foram comparados. As frações solares foram obtidas conforme as equações 1.29 e 2.16, a partir da energia fornecida pelo coletor solar.

Adicionalmente o sistema da cidade do Rio de Janeiro foi simulado novamente, porém sem o aquecimento auxiliar interno do reservatório e novamente fez-se a comparação entre os resultados dos dois programas para a temperatura do reservatório. As configurações dos dois sistemas são mostradas a seguir:

3.4.1 Sistema I - Rio de Janeiro

No primeiro sistema, os valores adotados para o coletor são os mesmos descritos no item 3.3. A tabela 9 apresenta os valores adotados na configuração do sistema.

Tabela 9 – Dados do sistema simulado no Rio de Janeiro.

COLETOR SOLAR	
Área total (m ²)	6,5
C_p (kJ/kg°C)	4,19
$F_R(\tau\alpha)$	0,7
$F_R U_L$ (W/m ² °C)	4,17
β (°)	23
\dot{m} (kg/h)	325
RESERVATÓRIO TÉRMICO	
Volume (m ³)	1
Altura (m)	1,20
U (W/m ² °C)	1,3889
\dot{P}_{max} (kW)	3
T_{ref} (°C)	50

Os parâmetros usados para o coletor e o reservatório no TRNSYS são mostrados na tabela 10 e 11 e os valores de entrada, que também definem as conexões entre os componentes, são apresentados nas tabelas 12 e 13.

Tabela 10 – Configuração dos parâmetros do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para o Rio de Janeiro.

COLETOR SOLAR	
PARÂMETRO	VALOR
2	6,5 (m ²)
3	4,190 (kJ/kg°C)
4	1
5	50 (kg/hm ²)
6	0,7
7	4,17 (W/m ² °C)
9	1

Tabela 11 – Definição dos parâmetros do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para o Rio de Janeiro.

RESERVATÓRIO TÉRMICO	
PARÂMETRO	VALOR
1	1
2	1 (m ³).
3	4,190 (kJ/kg°C)
4	1000 (kg/m ³)
5	1,3889 (W/m ² °C)
6	1,20 (m)
10	50 (°C)
11	0 (°C)
12	10800 (kJ/h)
20	100 (°C)

Tabela 12 – Configuração dos dados de entrada do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para o Rio de Janeiro.

COLETOR SOLAR	
INPUT	VALOR
1 - T_e	saída do TYPE 4 (T)
2 - \dot{m}	saída do TYPE 3 (325 ou 0 kg/h)
3 - T_a	arquivo EPW
4 - I_T	saída do TYPE 16

Tabela 13 – Configuração dos dados de entrada do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para o Rio de Janeiro.

RESERVATÓRIO TÉRMICO	
INPUT	VALOR
1 - T_s	saída do TYPE 1
2 - \dot{m}	saída do TYPE 3 (325 ou 0 kg/h)
3 - T_{af} (temperatura da água da rede)	lido de arquivo
4 - \dot{m}_{af} (vazão consumida)	lido de arquivo
5 - T'_a (temperatura ambiente)	arquivo EPW

3.4.2 Sistema II - Denver

A tabela 14 apresenta os valores adotados na configuração do sistema II.

Tabela 14 – Dados do sistema simulado em Denver.

COLETOR SOLAR	
Área total (m ²)	13
C_p (kJ/kg°C)	4,19
$F_R(\tau\alpha)$	0,7
$F_R U_L$ (W/m ² °C)	4,17
β (°)	40
\dot{m} (kg/h)	650
RESERVATÓRIO TÉRMICO	
Volume (m ³)	1
Altura (m)	1,20
U (W/m ² °C)	1,3889
\dot{P}_{max} (kW)	3
T_{ref} (°C)	50

Os parâmetros usados para o coletor e o reservatório no TRNSYS são mostrados na tabela 15 e 16 e os valores de entrada, que também definem as conexões entre os componentes, são apresentados nas tabelas 17 e 18.

Tabela 15 – Configuração dos parâmetros do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Denver.

COLETOR SOLAR	
PARÂMETRO	VALOR
2	13 (m ²)
3	4,190 (kJ/kg°C)
4	1
5	50 (kg/hm ²)
6	0,7
7	4,17 (W/m ² °C)
9	1

Tabela 16 – Definição dos parâmetros do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Denver.

RESERVATÓRIO TÉRMICO	
PARÂMETRO	VALOR
1	1
2	1 (m ³)
3	4,190 (kJ/kg°C)
4	1000 (kg/m ³)
5	1,3889 (W/m ² °C)
6	1,20 (m)
10	50 (°C)
11	0 (°C)
12	10800 (kJ/h)
20	100 (°C)

Tabela 17 – Configuração dos dados de entrada do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Denver.

COLETOR SOLAR	
INPUT	VALOR
1 - T_e	saída do TYPE 4 (T)
2 - \dot{m}	saída do TYPE 3 (650 ou 0 kg/h)
3 - T_a	arquivo EPW
4 - I_T	saída do TYPE 16

Tabela 18 – Configuração dos dados de entrada do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Denver.

RESERVATÓRIO TÉRMICO	
INPUT	VALOR
1 - T_s	saída do TYPE 1
2 - \dot{m}	saída do TYPE 3 (650 ou 0 kg/h)
3 - T_{af} (temperatura da água da rede)	lido de arquivo
4 - \dot{m}_{af} (vazão consumida)	lido de arquivo
5 - T'_a (temperatura ambiente)	arquivo EPW

3.4.3 Sistema III - Istambul

Neste sistema, os valores adotados para o coletor são valores obtidos de um trabalho realizado por Medeiros (35). Trata-se de um sistema consideravelmente menor. A tabela 19 apresenta os valores usados na configuração do sistema.

Tabela 19 – Dados do reservatório simulado em Istambul.

COLETOR SOLAR	
Área total (m ²)	3,15
C_p (kJ/kg°C)	4,19
$F_R(\tau\alpha)$	0,78
$F_R U_L$ (W/m ² °C)	5,45
β (°)	41
\dot{m} (kg/h)	157
RESERVATÓRIO TÉRMICO	
Volume (m ³)	0,200
Altura (m)	0,20
U (W/m ² °C)	1,3889
\dot{P}_{max} (kW)	3
T_{ref} (°C)	50

Os parâmetros usados para o coletor e o reservatório no TRNSYS são mostrados nas tabelas 20 e 21 e os valores de entrada são apresentados nas tabelas 22 e 23.

Tabela 20 – Configuração dos parâmetros do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Istambul.

COLETOR SOLAR	
PARÂMETRO	VALOR
2	3,15 (m ²)
3	4,190 (kJ/kg°C)
4	1
5	50 (kg/hm ²)
6	0,78
7	5,45 (W/m ² °C)
9	1

Tabela 21 – Descrição dos parâmetros do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Istambul.

RESERVATÓRIO TÉRMICO	
PARÂMETRO	VALOR
1	1
2	0,2 (m ³).
3	4,190 (kJ/kg°C)
4	1000 (kg/m ³)
5	1,3889 (W/m ² °C)
6	0,20 (m)
10	50 (°C)
11	0 (°C)
12	10800 (kJ/h)
20	100 (°C)

Tabela 22 – Configuração dos dados de entrada do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Istambul.

COLETOR SOLAR	
INPUT	VALOR
1 - T_e	saída do TYPE 4 (T)
2 - \dot{m}	saída do TYPE 3 (157 ou 0 kg/h)
3 - T_a	arquivo EPW
4 - I_T	saída do TYPE 16

Tabela 23 – Configuração dos dados de entrada do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Istambul.

RESERVATÓRIO TÉRMICO	
INPUT	VALOR
1 - T_s	saída do TYPE 1
2 - \dot{m}	saída do TYPE 3 (157 ou 0 kg/h)
3 - T_{af} (temperatura da água da rede)	lido de arquivo
4 - \dot{m}_{af} (vazão consumida)	lido de arquivo
5 - T'_a (temperatura ambiente)	arquivo EPW

3.4.4 Sistema IV - Sidney

A tabela 24 apresenta os valores usados na configuração do sistema.

Tabela 24 – Dados do reservatório simulado em Sidney.

COLETOR SOLAR	
Área total (m ²)	3,15
C_p (kJ/kg°C)	4,19
$F_R(\tau\alpha)$	0,78
$F_R U_L$ (W/m ² °C)	5,45
β (°)	35
\dot{m} (kg/h)	157
RESERVATÓRIO TÉRMICO	
Volume (m ³)	0,200
Altura (m)	0,20
U (W/m ² °C)	1,3889
\dot{P}_{max} (kW)	2
T_{ref} (°C)	50

Os parâmetros usados para o coletor e o reservatório no TRNSYS são mostrados nas tabelas 25 e 26 e os valores de entrada são apresentados nas tabelas 27 e 28.

Tabela 25 – Configuração dos parâmetros do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Sidney.

COLETOR SOLAR	
PARÂMETRO	VALOR
2	3,15 (m ²)
3	4,190 (kJ/kg°C)
4	1
5	50 (kg/hm ²)
6	0,78
7	5,45 (W/m ² °C)
9	1

Tabela 26 – Definição dos parâmetros do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Sidney.

RESERVATÓRIO TÉRMICO	
PARÂMETRO	VALOR
1	1
2	0,2 (m ³).
3	4,190 (kJ/kg°C)
4	1000 (kg/m ³)
5	1,3889 (W/m ² °C)
6	0,20 (m)
10	50 (°C)
11	0 (°C)
12	7200 (kJ/h)
20	100 (°C)

Tabela 27 – Configuração dos dados de entrada do coletor (TYPE 1 do TRNSYS) para Sidney.

COLETOR SOLAR	
INPUT	VALOR
1 - T_e	saída do TYPE 4 (T)
2 - \dot{m}	saída do TYPE 3 (157 ou 0 kg/h)
3 - T_a	arquivo EPW
4 - I_T	saída do TYPE 16

Tabela 28 – Configuração dos dados de entrada do reservatório (TYPE 4 do TRNSYS) para Sidney.

RESERVATÓRIO TÉRMICO	
INPUT	VALOR
1 - T_s	saída do TYPE 1
2 - \dot{m}	saída do TYPE 3 (157 ou 0 kg/h)
3 - T_{af} (temperatura da água da rede)	lido de arquivo
4 - \dot{m}_{af} (vazão consumida)	lido de arquivo
5 - T'_a (temperatura ambiente)	arquivo EPW

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Irradiação Incidente

Os resultados obtidos pelos dois programas para os cálculos de irradiação total horária incidente em plano inclinado (item 3.2) apresentaram diferença média nos valores de 0,0761% para o Rio de Janeiro, 1,17% para Denver, 0,08% Istambul e 0,06% para Sidney. Esta diferença foi calculada somente quando a irradiação incidente teve valor maior do que zero, ou seja, nas horas em que houve qualquer insolação.

Também foram comparadas os valores de irradiação total horária em médias diárias para esses quatro casos. Essas comparações estão dispostas no anexo A. As comparações dos valores na base horária em média mensal obtidos pelos dois programas estão dispostas nas tabelas de 29 a 32 abaixo.

Tabela 29 – Irradiação total horária em média mensal incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) no Rio de Janeiro.

mês	pres. prog .	TRNSYS	%
1	1539,1643	1538,8869	-0,0180
2	1614,3644	1613,6781	-0,0425
3	1581,3881	1577,1207	-0,2706
4	1571,1908	1570,0643	-0,0717
5	1365,1318	1364,3379	-0,0582
6	1300,3038	1300,1463	-0,0121
7	1320,4801	1321,2098	0,0552
8	1471,5008	1472,7473	0,0846
9	1431,3826	1451,2367	1,3681
10	1467,3492	1468,3215	0,0662
11	1541,7357	1542,3875	0,0423
12	1459,7663	1459,8807	0,0078

Tabela 30 – Irradiação total horária em média mensal incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) em Denver.

mês	pres. prog .	TRNSYS	%
1	1785,5634	1768,4464	-0,9679
2	1676,2778	1678,4323	0,1284
3	1862,0582	1862,5907	0,0286
4	1622,0608	1623,8834	0,1122
5	1613,8831	1614,9870	0,0684
6	1488,6809	1488,8360	0,0104
7	1569,6331	1568,6734	-0,0612
8	1645,1039	1642,8821	-0,1352
9	1839,8782	1835,8670	-0,2185
10	1922,1081	1916,4324	-0,2962
11	1697,8174	1689,8452	-0,4718
12	1722,5357	1709,5066	-0,7622

Tabela 31 – Irradiação total horária em média mensal incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) em Istambul.

mês	pres. prog .	TRNSYS	%
1	710,9961	719,5542	1,1894
2	748,5573	758,8047	1,3505
3	908,6371	913,9823	0,5848
4	1124,1472	1124,8876	0,0658
5	1251,1822	1251,7702	0,0470
6	1322,5493	1322,6441	0,0072
7	1397,8920	1397,2326	-0,0472
8	1423,8462	1428,8196	0,3481
9	1386,5699	1384,2709	-0,1661
10	1041,6957	1039,9337	-0,1694
11	760,1707	766,2741	0,7965
12	529,1177	529,0166	-0,0191

Tabela 32 – Irradiação total horária incidente em superfície inclinada em média mensal (kJ/m²) em Sidney.

mês	pres. prog .	TRNSYS	%
1	1540,7046	1540,3240	-0,0247
2	1399,7384	1398,9729	-0,0547
3	1471,4979	1470,2095	-0,0876
4	1349,7261	1348,2276	-0,1111
5	1141,5966	1143,8601	0,1979
6	1093,1046	1092,9096	-0,0178
7	1271,5531	1272,6487	0,0861
8	1391,9996	1394,1883	0,1570
9	1507,2945	1513,4586	0,4073
10	1514,8842	1516,6481	0,1163
11	1341,2047	1381,4856	2,9158
12	1407,0590	1407,2241	0,0117

4.2 Coletor Solar

Na validação do coletor solar (item 3.3), os valores obtidos pelos dois programas para o fluxo de calor apresentaram diferença média de $6,4673 \times 10^{-05}\%$. Para a temperatura da água na saída do coletor, essa diferença foi de $8,7153 \times 10^{-05}\%$. Esta diferença desprezível era esperada, tendo em vista a igualdade dos modelos dos dois programas. A comparação realizada sobre os valores em média diária para o fluxo de calor e para a temperatura é apresentada no anexo B. A comparação dos valores em média mensal é mostrada nas tabelas 33 e 34.

Tabela 33 – Comparação do fluxo de calor no coletor em média mensal (kJ).

mês	pres. prog .	TRNSYS	%
1	4698,4170	4698,4169	3,3572E-06
2	4958,8553	4958,8546	1,5530E-05
3	4353,5785	4353,5786	-1,4828E-06
4	4151,3094	4151,3096	-3,2662E-06
5	3506,7138	3506,7127	3,0975E-05
6	3217,8774	3217,8776	-5,6806E-06
7	3197,3670	3197,3666	1,4438E-05
8	3717,8187	3717,8187	-7,5071E-07
9	3628,3611	3628,3609	5,2471E-06
10	3993,3572	3993,3573	-2,8888E-06
11	4419,1809	4419,1803	1,1883E-05
12	4403,5607	4403,5610	-5,2472E-06

Tabela 34 – Comparação da temperatura na saída do coletor em média mensal (°C)

mês	pres. prog .	TRNSYS	%
1	23,4503	23,4503	-8,86E-06
2	23,6415	23,6415	4,26E-06
3	23,1970	23,1970	-6,71E-06
4	23,0485	23,0485	-1,08E-05
5	22,5752	22,5752	-7,07E-06
6	22,3630	22,3630	-1,00E-05
7	22,3480	22,3480	3,02E-06
8	22,7302	22,7302	2,82E-05
9	22,6645	22,6645	4,62E-06
10	22,9325	22,9325	2,54E-05
11	23,2452	23,2452	-2,54E-06
12	23,2338	23,2338	3,51E-06

4.3 Sistema completo

Nas simulações dos quatro sistemas, os valores para a temperatura do reservatório apresentaram diferença pequena entre os dois programas.

Nos resultados da simulação do sistema I, a diferença média para as 8760 horas, entre valores calculados pelos dois programas foi de 0,08%. Para os outros sistemas as diferenças foram de 0,18% para Denver (II), 0,21% para Istambul (III) e 0,31% para Sidney (IV).

A comparação realizada sobre os valores em média diária para a temperatura do reservatório é apresentada no anexo C. A comparação dos valores em média mensal é mostrada nos gráficos da figura 22.

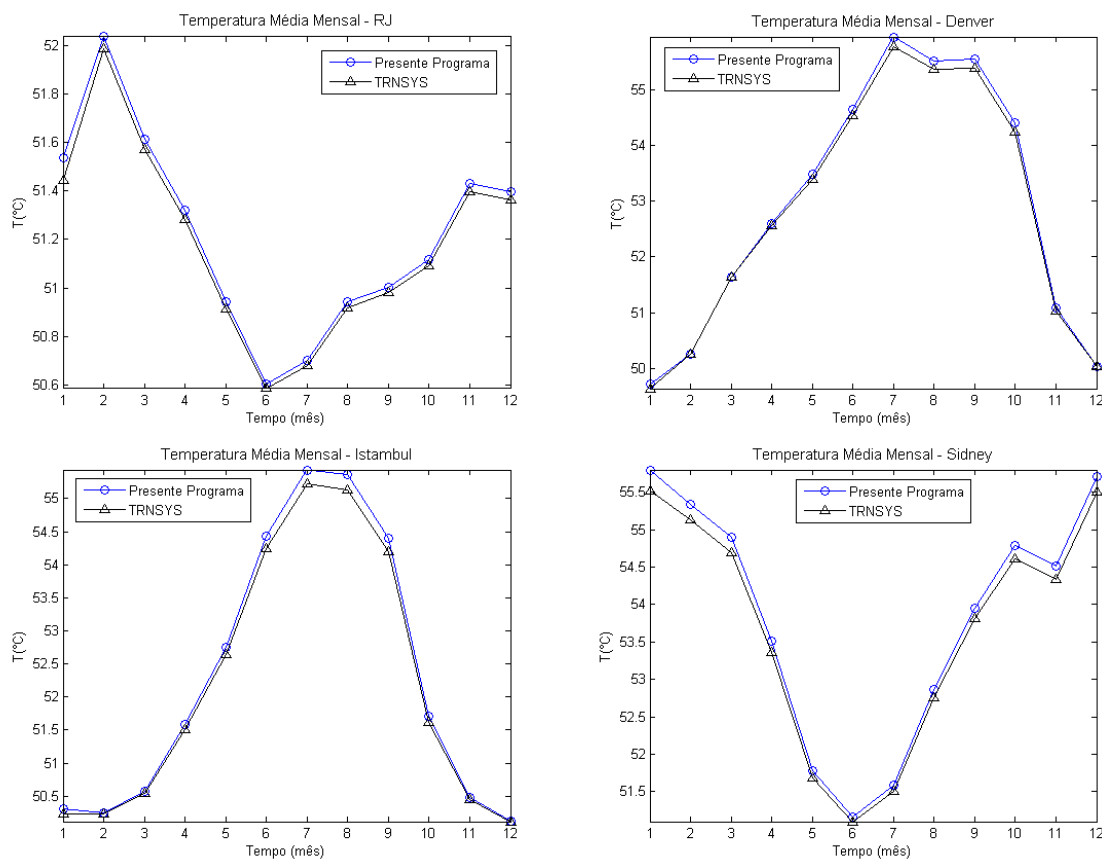


Figura 22 – Temperatura do reservatório térmico em médias mensais.

O desempenho dos sistemas, calculado pela equação 1.29, é mostrado na figura 23. Os resultados do presente programa se aproximam bastante dos resultados obtidos pelo TRNSYS. As pequenas diferenças devem-se à diferença no valor do calor útil fornecido pelo coletor solar calculados pelos dois programas. Pode-se destacar que, apesar da excelente concordância nos resultados da validação do coletor solar, o calor de saída no coletor é função da temperatura do fluido na entrada, que por sua vez possui o mesmo valor da temperatura do reservatório.

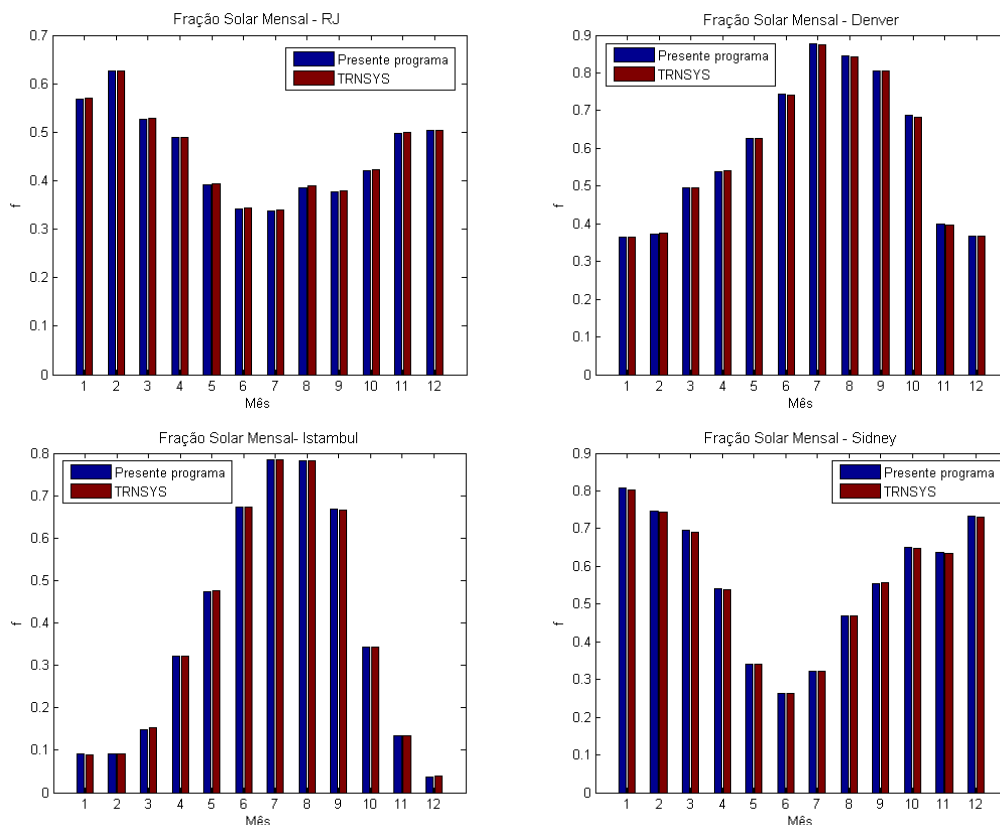


Figura 23 – Fração solar mensal.

No sistema I, simulado para a cidade do Rio de Janeiro sem aquecimento auxiliar, a temperatura no reservatório apresentou valores bem mais baixos. Novamente houve boa convergência entre os resultados dos dois programas. Os gráficos mostrados na figura 24 apresentam a temperatura para algumas horas no meio do ano. A diferença média entre os valores horários calculados pelos dois programas para essa condição foi de 0,52%. Os valores comparados em média diária são mostrados no anexo C e a comparação com valores em média mensal são mostrados na tabela 35.

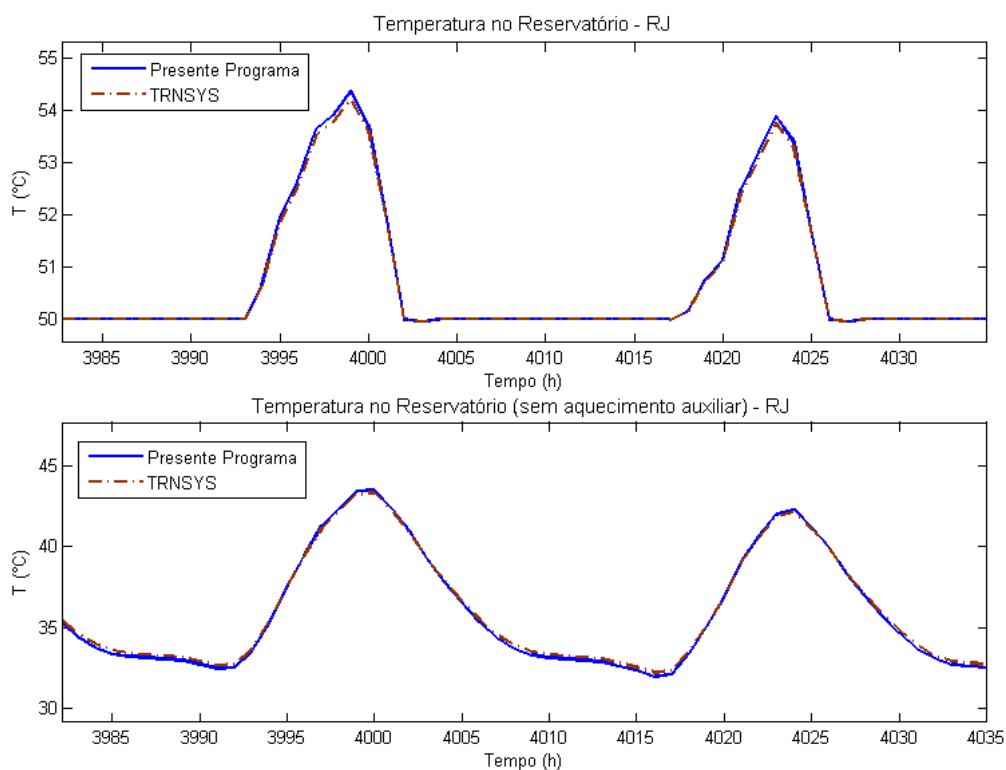


Figura 24 – Temperatura do reservatório térmico em alguns dias na metade do ano.

Tabela 35 – Comparação da temperatura do reservatório em média mensal (°C) para o Rio de Janeiro sem aquecimento auxiliar.

mês	pres. prog .	TRNSYS	%
1	23,4503	23,4503	-8,86E-06
2	23,6415	23,6415	4,26E-06
3	23,1970	23,1970	-6,71E-06
4	23,0485	23,0485	-1,08E-05
5	22,5752	22,5752	-7,07E-06
6	22,3630	22,3630	-1,00E-05
7	22,3480	22,3480	3,02E-06
8	22,7302	22,7302	2,82E-05
9	22,6645	22,6645	4,62E-06
10	22,9325	22,9325	2,54E-05
11	23,2452	23,2452	-2,54E-06
12	23,2338	23,2338	3,51E-06

As diferenças encontradas nos valores de temperatura em todos os casos são pequenas e são resultado principalmente da desigualdade nos métodos de integração existentes nos dois programas.

4.4 Avaliação Econômica Simplificada

No caso do sistema simulado no Rio de Janeiro procedeu-se uma avaliação econômica simplificada, realizada no período de um ano. A metodologia é descrita a seguir:

1. Calculou-se a carga térmica necessária para elevar a temperatura da água de T_{af} para T_{ref} , como descrito no item 2.6
2. A contribuição energética fornecida pelo SAS é representada pela fração solar mensal (f) e a parcela de energia auxiliar fornecida pelo SAS é dada por $(1 - f)$. Os valores de f utilizados são mostrados na figura 23 para a cidade do Rio de Janeiro.
3. Calcularam-se os gastos mensal e anual equivalente com energia elétrica se não houvesse a presença do SAS, com base na atual tarifa residencial da AMPLA de 0,42701 R\$/kWh
4. Calcularam-se os gastos com energia e a economia propiciada pelo uso do SAS.

A figura 25 mostra a comparação dos gastos com energia elétrica com e sem o uso do SAS. Os resultados anuais são mostrados na tabela 36.

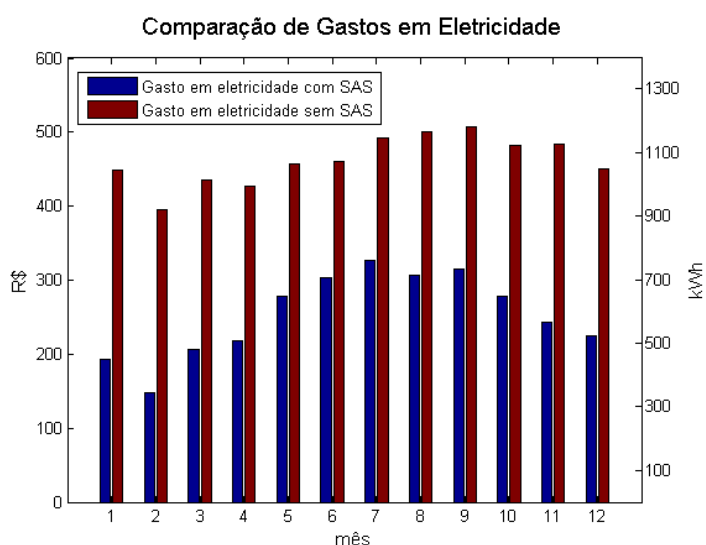


Figura 25 – Economia mensal com a utilização do SAS.

Tabela 36 – Avaliação econômica anual para o sistema do Rio de Janeiro.

Avaliação Econômica Anual	
Carga térmica anual (MJ)	46681
Carga térmica anual (kWh)	12967
Custo anual com eletricidade sem SAS (R\$)	5537,00
Custo anual com eletricidade usando SAS (R\$)	3040,70
Economia anual usando SAS (R\$)	2496,30

5 CONCLUSÃO

O programa apresentado mostrou-se capaz de simular sistemas com uma configuração adequada aos padrões brasileiros, sem a presença de trocador de calor entre o coletor solar e o reservatório térmico e com água como fluido de trabalho no coletor.

Os arquivos de dados meteorológicos utilizados no programa possuem um formato TMY bastante utilizado, e são obtidos da base de dados do projeto SWERA, que mostra ser a mais atual e confiável para este tipo de simulação. Este formato, que representa o ano meteorológico típico para cada cidade, é o mais adequado para simulação de desempenho a longo prazo para sistemas de aquecimento solar de água.

Apesar do programa apresentado oferecer a possibilidade de escolha de qualquer passo de tempo na simulação, utilizou-se dados na base horária, possibilitando uma simulação térmica mais precisa do que a utilização de dados médios mensais, como é o caso do método de projeto F-Chart e da maioria dos projetos encontrados no mercado atualmente.

Devido ao pequeno número de trabalhos estudando a temperatura da água da rede de abastecimento, foi sugerido neste trabalho um modelo que relaciona esta temperatura com a temperatura do solo, dado encontrado nos arquivos de entrada utilizados no programa. A aplicação do modelo possibilitou a validação do programa, no entanto, tal assunto merece um estudo mais aprofundado futuramente.

A partir da comparação com o programa comercial de simulação de sistemas térmicos TRNSYS, pôde-se validar o programa apresentado neste trabalho. As diferenças entre os resultados obtidos pelos dois programas foram desprezíveis, com desvios médios abaixo de 2% para a irradiação solar incidente em superfície inclinada, para o fluxo de calor útil no coletor solar e para a temperatura no interior do reservatório térmico.

O programa mostrou-se capaz de simular em regime transiente o comportamento térmico de sistemas de aquecimento solar de água, em uma configuração que se aplica às condições de uso no Brasil. O programa também possibilita a alteração de diversos parâmetros de configuração nos sistemas, tais como os tamanhos do reservatório e da área total do conjunto de coletores, a potência do aquecedor auxiliar e o consumo de água quente. Neste sentido, conclui-se que o trabalho cumpriu seus objetivos.

5.1 Pesquisas Futuras

Na busca por aprimorar o trabalho pode-se considerar os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Realizar a validação do programa experimentalmente a partir de casos reais
- Considerar um modelo para o reservatório com estratificação térmica
- Implementação do modelo de aquecedor auxiliar de passagem na saída do reservatório, configuração bastante usada na prática
- Adição de modelos mais modernos e precisos de irradiação incidente em superfície inclinada
- Modelar as correções utilizadas para o coletor solar quando este opera em situações diferentes das dos testes padronizados, tais como incidência não-normal da irradiação solar e vazões mássicas distintas
- Pesquisar modelos para o perfil de temperatura da água da rede de abastecimento
- Transpor o código do programa apresentado para linguagens com licença livre.

REFERÊNCIAS

- 1 PASSOS, L. A. A. *Um Estudo Sobre os Impactos Técnicos e Econômicos da Agregação do Aquecimento Solar de Água Nos Domicílios Brasileiros*. Mestrado em Engenharia Mecânica — Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- 2 OLIVEIRA, S. *Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos: Ênfase na Eletrificação de Residências de Baixo Consumo*. Mestrado em Energia — Universidade de São Paulo, 1997.
- 3 LIMA, J. *Otimização de Sistema de Aquecimento Solar de Água em Edificações Residenciais Unifamiliares Utilizando o Programa TRNSYS*. Mestrado em Engenharia Civil — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.
- 4 NORTON, B. *Solar Energy Thermal Technology*. London: Springer-Verlag, 1991. P.161-189.
- 5 DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York, EUA: Wiley Interscience Publication, 2006. 428 p.
- 6 MME. *Resenha Energética Brasileira - Exercício 2009*. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2010.
- 7 TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N. *Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Solarimétricos*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.
- 8 SOUZA, A. *Desenvolvimento de Software para Projeto de Sistemas Centralizados de Aquecimento Solar de Água*. Mestrado em Engenharia Mecânica — Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2009.
- 9 BORGES, T. *Síntese Otimizada de Sistemas de Aquecimento Solar de Água*. Doutorado em Engenharia Mecânica — Universidade Estadual de Campinas, 2000.
- 10 KLEIN, S. et al. A method of simulation of solar processes and its application. *Solar Energy*, v. 17, n. 1, p. 29 – 37, 1975.
- 11 KLEIN, S.; BECKMAN, W.; DUFFIE, J. A design procedure for solar heating systems. *Solar Energy*, v. 18, n. 2, p. 113 – 127, 1976.
- 12 BECKMAN, W. A.; KLEIN, S. A.; DUTLIE, J. A. *Solar Heating Design by the f-chart Method*. New York: Wiley Interscience, 1977.

- 13 TSILINGIRIS, P. T. Solar water-heating design – a new simplified dynamic approach. *Solar Energy*, v. 57, n. 1, p. 19 – 28, 1996.
- 14 EVANS, B. L.; BECKMAN, W. A.; DUFFIE, J. A. f-chart in european climates. In: DEN OUDEN C. (ED). *Proceedings of 1st Eur. Conf. Solar heating*. Amsterdam, 1984. I, p. 161–165.
- 15 MARTINS, F. R. et al. Brazilian atlas for solar energy resource: Swera results. In: GOSWAMI, D. Y.; ZHAO, Y. (Ed.). *Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I ? Vol. V)*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 2651–2655. ISBN 978-3-540-75997-3.
- 16 ANEEL. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica., 2008. 428 p.
- 17 BURCH, J.; CHRISTENSEN, C. Towards development of an algorithm for mains water temperature. In: AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY. *Proceedings of The Solar Conference*. Cleveland, EUA, 2007. I, p. 173–178.
- 18 RETSCREEN. *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook*. www.retscreen.net: Minister of Natural Resources Canada, 2005.
- 19 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*. Mestrado em Engenharia Mecânica — Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- 20 NBR ISO 15747-2. *Sistemas Solares Térmicos e Seus Componentes - Coletores Solares - Parte 2 - Métodos de Ensaio*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.
- 21 ASHRAE STD 93. *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collector*. [S.l.], 2009. 42 p.
- 22 FISCH, M.; GUIGAS, M.; DALENBÄCK, J. A review of large-scale solar heating systems in europe. *Solar Energy*, v. 63, n. 6, p. 355 – 366, 1998. ISSN 0038-092X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X98001030>>.
- 23 BUCKLES, W.; KLEIN, S. Analysis of solar domestic hot water heater. *Solar Energy*, v. 25, n. 1, p. 417 – 424, 1980.

- 24 CONNOLLY, D. et al. A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy*, v. 87, n. 4, p. 1059 – 1082, 2010.
- 25 SIQUEIRA, A. M. O. *Desenvolvimento de um Programa de Simulação Computacional de Sistemas de Aquecimento Solar para Água*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- 26 MATHWORKS.COM [homepage na Internet]. Michigan: The MathWorks, Inc. C1994-2012 Acesso em: 17/09/2012. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/>>.
- 27 NOORIAN, A. M.; MORADI, I.; KAMALI, G. Evaluation of 12 models to estimate hourly diffuse irradiation on inclined surfaces. *Renewable Energy*, v. 33, n. 6, p. 1406 – 1412, 2008. ISSN 0960-1481.
- 28 NBR 10185. *Reservatórios Térmicos Para Líquidos Destinados a Sistemas de Energia Solar - Determinação de Desempenho Térmico - Método de Ensaio*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988.
- 29 CRAWLEY, D. B.; HAND, J. W.; LAWRIE, L. K. Improving the weather information available to simulation programs. In: IBPSA. *Building Simulation*. Kyoto, Japan, 1999. II, p. 529–536.
- 30 LISBOA, P.; COSTA, M. A software for performance simulation of solar water heating systems. In: WSEAS. *10th WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE '12)*. Istanbul, Turkey, 2012.
- 31 NREL. *SAM System Advisor Model*, v. 2011.6.30. <https://www.nrel.gov/analysis/sam/>: U.S. Department Of Energy - DOE, 2011.
- 32 LISBOA, P.; COSTA, M. Software para simulação de sistemas de aquecimento solar de Água. In: ASBRAV. *Mercofrio 2012 - 8º Congresso Internacional de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação*. Porto Alegre, Brasil, 2012.
- 33 KLEIN, S.; ALVARADO, F. *TRNSYS, A Transient Simulation Software*. Madison, USA: University of Wisconsin, 2000.
- 34 CRUICKSHANK, C. *Evaluation of a Stratified Multi-tank Thermal Storage for Solar Heating Applications*. Thesis (Ph.D, Mechanical and Materials Engineering) — Queen's University, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1974/1969>>.

- 35 MEDEIROS, M. *Simulação e Avaliação de um Sistema de Aquecimento Solar de Água Utilizando Balanço Energético*. Mestrado em Energia na Agricultura — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.

APÊNDICE A – Validação da Irradiação Incidente

Tabela 37 – Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m²) para o Rio de Janeiro.

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
1	1555,14	1555,03	-0,01	71	1992,74	1991,30	-0,07	141	577,32	576,88	-0,08
2	1415,40	1415,29	-0,01	72	2021,62	2020,33	-0,06	142	412,35	412,18	-0,04
3	1077,43	1077,39	0,00	73	2104,27	2102,72	-0,07	143	169,12	169,11	-0,01
4	1158,34	1158,29	0,00	74	2263,81	2261,90	-0,08	144	503,59	503,33	-0,05
5	1830,69	1830,44	-0,01	75	1760,53	1759,53	-0,06	145	315,79	315,69	-0,03
6	1771,10	1770,86	-0,01	76	1049,47	1049,25	-0,02	146	528,09	527,82	-0,05
7	1786,14	1785,90	-0,01	77	1446,98	1446,35	-0,04	147	408,62	408,42	-0,05
8	1490,43	1490,26	-0,01	78	992,07	991,89	-0,02	148	527,29	526,97	-0,06
9	1781,70	1781,45	-0,01	79	981,52	981,29	-0,02	149	543,35	543,04	-0,06
10	1858,79	1858,46	-0,02	80	623,30	623,23	-0,01	150	529,66	529,41	-0,05
11	1644,32	1644,09	-0,01	81	1638,24	1523,79	-7,51	151	471,38	471,19	-0,04
12	1205,95	1205,83	-0,01	82	1709,00	1708,20	-0,05	152	1383,53	1382,98	-0,04
13	1010,56	1010,52	0,00	83	2078,13	2076,38	-0,08	153	1621,59	1620,85	-0,05
14	1563,60	1563,34	-0,02	84	1704,21	1702,84	-0,08	154	1551,35	1550,63	-0,05
15	1379,42	1379,22	-0,01	85	1397,45	1396,91	-0,04	155	824,05	823,93	-0,01
16	1599,19	1598,91	-0,02	86	1445,56	1445,07	-0,03	156	737,01	736,87	-0,02
17	1653,56	1653,22	-0,02	87	1050,98	1050,72	-0,03	157	1333,26	1332,87	-0,03
18	1775,65	1775,28	-0,02	88	1596,66	1595,70	-0,06	158	838,60	838,46	-0,02
19	1773,60	1773,11	-0,03	89	1835,24	1834,01	-0,07	159	1684,50	1683,88	-0,04
20	1668,09	1667,72	-0,02	90	1939,54	1938,13	-0,07	160	1555,28	1554,82	-0,03
21	1594,72	1594,43	-0,02	91	1933,27	1931,72	-0,08	161	1263,24	1262,95	-0,02
22	1481,61	1481,32	-0,02	92	1527,25	1526,20	-0,07	162	1362,43	1362,15	-0,02
23	1833,02	1832,46	-0,03	93	1178,72	1178,42	-0,03	163	1088,81	1088,63	-0,02
24	1792,20	1791,74	-0,03	94	1031,57	1031,41	-0,02	164	1463,68	1463,39	-0,02
25	1833,57	1832,94	-0,03	95	1264,28	1263,86	-0,03	165	1457,90	1457,66	-0,02
26	1559,69	1559,29	-0,03	96	1196,87	1196,40	-0,04	166	1499,10	1498,88	-0,01
27	1131,74	1131,58	-0,01	97	1115,26	1114,97	-0,03	167	1512,75	1512,55	-0,01
28	1393,70	1393,41	-0,02	98	1138,32	1137,96	-0,03	168	1365,77	1365,65	-0,01
29	1641,84	1641,37	-0,03	99	1960,41	1958,69	-0,09	169	1557,99	1557,85	-0,01
30	1152,78	1152,55	-0,02	100	1799,67	1798,18	-0,08	170	1163,23	1163,18	0,00
31	1300,13	1299,78	-0,03	101	1985,75	1983,93	-0,09	171	920,08	920,07	0,00
32	1242,56	1242,42	-0,01	102	2045,67	2043,78	-0,09	172	1338,06	1338,05	0,00
33	1817,02	1816,29	-0,04	103	1779,65	1778,16	-0,08	173	1049,12	1049,13	0,00
34	1906,47	1905,63	-0,04	104	1622,88	1621,73	-0,07	174	1235,76	1235,80	0,00
35	1834,70	1833,96	-0,04	105	1045,11	1044,79	-0,03	175	1492,69	1492,78	0,01
36	1505,55	1505,13	-0,03	106	1145,33	1144,81	-0,05	176	819,73	819,75	0,00
37	1058,21	1058,13	-0,01	107	1242,93	1242,34	-0,05	177	1220,11	1220,21	0,01
38	1349,79	1349,51	-0,02	108	1838,25	1836,55	-0,09	178	1528,05	1528,26	0,01
39	1648,81	1648,24	-0,04	109	2002,92	2000,98	-0,10	179	1621,94	1622,24	0,02
40	1061,42	1061,30	-0,01	110	1995,21	1993,35	-0,09	180	1657,45	1657,79	0,02
41	1595,22	1594,66	-0,03	111	1991,06	1989,01	-0,10	181	862,05	862,13	0,01
42	1827,53	1826,62	-0,05	112	1807,29	1805,75	-0,09	182	649,17	649,22	0,01
43	1807,13	1806,22	-0,05	113	1710,99	1709,70	-0,08	183	837,77	837,85	0,01
44	1731,02	1730,31	-0,04	114	1364,44	1363,65	-0,06	184	959,96	960,09	0,01
45	1934,10	1932,95	-0,06	115	1580,04	1579,02	-0,06	185	1680,39	1680,97	0,03
46	1806,61	1805,64	-0,05	116	1470,57	1469,36	-0,08	186	1344,93	1345,33	0,03
47	1559,50	1558,82	-0,04	117	1303,24	1302,45	-0,06	187	1429,57	1430,02	0,03
48	1914,06	1912,87	-0,06	118	1522,00	1520,92	-0,07	188	1215,36	1215,66	0,03
49	1698,65	1697,77	-0,05	119	1648,68	1647,49	-0,07	189	682,89	683,01	0,02
50	1594,93	1594,30	-0,04	120	1888,08	1886,35	-0,09	190	946,95	947,16	0,02
51	1872,25	1871,25	-0,05	121	611,27	610,77	-0,08	191	516,30	516,36	0,01
52	1874,46	1873,39	-0,06	122	637,32	636,75	-0,09	192	660,11	660,18	0,01
53	1913,72	1912,51	-0,06	123	506,28	505,93	-0,07	193	1364,62	1365,16	0,04
54	1539,27	1538,65	-0,04	124	181,47	181,45	-0,01	194	1533,28	1534,06	0,05
55	1531,74	1531,14	-0,04	125	412,49	412,30	-0,05	195	1382,31	1382,91	0,04
56	1564,91	1564,38	-0,03	126	492,14	491,84	-0,06	196	1279,42	1279,99	0,04
57	1429,39	1428,65	-0,05	127	363,05	362,92	-0,04	197	1562,09	1562,99	0,06
58	1252,72	1252,25	-0,04	128	239,58	239,53	-0,02	198	1418,00	1418,74	0,05
59	1330,45	1329,99	-0,03	129	515,35	515,02	-0,06	199	1286,09	1286,91	0,06
60	1928,90	1927,51	-0,07	130	460,84	460,56	-0,06	200	576,12	576,19	0,01
61	1717,41	1716,57	-0,05	131	328,76	328,64	-0,04	201	1644,35	1645,44	0,07
62	1898,88	1897,54	-0,07	132	245,41	245,36	-0,02	202	1297,73	1298,47	0,06
63	1558,41	1557,73	-0,04	133	454,62	454,36	-0,06	203	1697,02	1698,30	0,08
64	785,81	785,71	-0,01	134	432,16	431,87	-0,07	204	1783,78	1785,28	0,08
65	1544,75	1544,17	-0,04	135	402,33	402,11	-0,05	205	1694,05	1695,34	0,08
66	1433,27	1432,87	-0,03	136	571,65	571,24	-0,07	206	1740,74	1742,21	0,08
67	1834,19	1833,16	-0,06	137	617,54	617,05	-0,08	207	1788,78	1790,30	0,09
68	790,44	790,32	-0,02	138	582,85	582,44	-0,07	208	1742,75	1744,33	0,09
69	1839,24	1838,16	-0,06	139	499,74	499,47	-0,05	209	1298,99	1299,73	0,06
70	1982,25	1980,69	-0,08	140	564,93	564,53	-0,07	210	1649,41	1650,67	0,08

Tabela 38 – Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m²) para o Rio de Janeiro (cont.)

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	1855,15	1856,92	0,10	281	750,02	750,14	0,02	351	1227,62	1227,66	0,00
212	1416,79	1417,72	0,07	282	1699,52	1700,96	0,08	352	1788,34	1788,45	0,01
213	1612,50	1613,77	0,08	283	1838,52	1839,91	0,08	353	1604,83	1604,88	0,00
214	1774,23	1775,85	0,09	284	1543,38	1544,49	0,07	354	732,80	732,80	0,00
215	1021,43	1021,89	0,04	285	1089,48	1089,93	0,04	355	1366,39	1366,39	0,00
216	1710,39	1711,85	0,09	286	1207,55	1207,89	0,03	356	1235,36	1235,35	0,00
217	1526,38	1527,45	0,07	287	1996,88	1998,80	0,10	357	989,02	989,01	0,00
218	1911,51	1913,55	0,11	288	2012,42	2014,60	0,11	358	1123,52	1123,51	0,00
219	1837,49	1839,36	0,10	289	1760,78	1762,12	0,08	359	980,96	980,93	0,00
220	1729,02	1730,62	0,09	290	860,08	860,31	0,03	360	1777,14	1776,98	-0,01
221	1692,91	1694,49	0,09	291	1629,75	1630,89	0,07	361	1637,19	1637,05	-0,01
222	1435,07	1436,29	0,08	292	2018,18	2020,34	0,11	362	1815,84	1815,59	-0,01
223	1656,17	1657,68	0,09	293	1984,03	1985,84	0,09	363	1570,28	1570,11	-0,01
224	1579,70	1580,89	0,08	294	1752,39	1753,62	0,07	364	1409,35	1409,20	-0,01
225	659,23	659,40	0,03	295	1178,47	1178,76	0,02	365	1118,85	1118,77	-0,01
226	1061,66	1062,10	0,04	296	1120,03	1120,52	0,04				
227	1873,43	1875,54	0,11	297	1161,56	1161,79	0,02				
228	1671,17	1672,57	0,08	298	1580,32	1581,13	0,05				
229	1777,13	1778,82	0,09	299	1135,72	1136,06	0,03				
230	1881,33	1883,36	0,11	300	1043,03	1043,30	0,03				
231	1380,43	1381,41	0,07	301	818,87	819,01	0,02				
232	1983,59	1986,00	0,12	302	1302,55	1302,85	0,02				
233	934,57	935,06	0,05	303	1581,58	1582,37	0,05				
234	575,83	575,89	0,01	304	1907,93	1909,56	0,09				
235	1050,75	1051,07	0,03	305	1829,99	1831,03	0,06				
236	1619,74	1621,12	0,09	306	1502,69	1503,49	0,05				
237	1936,55	1938,74	0,11	307	1760,07	1761,16	0,06				
238	1837,94	1839,97	0,11	308	1799,61	1800,61	0,06				
239	1517,78	1519,09	0,09	309	1762,45	1763,51	0,06				
240	760,35	760,55	0,03	310	1358,74	1359,18	0,03				
241	878,45	878,75	0,03	311	1184,05	1184,25	0,02				
242	1889,76	1891,85	0,11	312	1128,28	1128,49	0,02				
243	840,04	840,19	0,02	313	1396,61	1397,10	0,04				
244	1579,62	1580,87	0,08	314	1687,84	1688,60	0,04				
245	810,78	810,84	0,01	315	1590,54	1591,32	0,05				
246	1694,00	1695,66	0,10	316	1688,06	1688,96	0,05				
247	1748,37	1749,79	0,08	317	805,52	805,58	0,01				
248	1993,76	1996,07	0,12	318	1644,40	1645,21	0,05				
249	1976,51	1978,66	0,11	319	1776,82	1778,01	0,07				
250	466,41	466,43	0,01	320	1181,42	1181,79	0,03				
251	600,24	600,34	0,02	321	1642,48	1643,28	0,05				
252	2019,61	2021,93	0,11	322	1765,61	1766,55	0,05				
253	1728,18	1729,82	0,10	323	1426,72	1427,19	0,03				
254	2124,29	2127,03	0,13	324	1103,05	1103,25	0,02				
255	2071,51	2074,06	0,12	325	937,13	937,21	0,01				
256	1763,95	1765,49	0,09	326	1446,69	1447,11	0,03				
257	1822,86	1824,75	0,10	327	1884,95	1885,95	0,05				
258	1857,75	1859,47	0,09	328	1880,83	1881,81	0,05				
259	1895,24	2055,23	7,78	329	1806,55	1807,34	0,04				
260	1836,80	1991,59	7,77	330	1400,34	1400,72	0,03				
261	903,53	978,85	7,69	331	1181,71	1181,88	0,01				
262	1072,19	1161,76	7,71	332	1886,31	1887,22	0,05				
263	1260,73	1366,33	7,73	333	1842,37	1843,19	0,04				
264	658,85	658,93	0,01	334	1835,62	1836,21	0,03				
265	573,45	573,48	0,00	335	1655,86	1656,36	0,03				
266	1226,76	1227,50	0,06	336	1539,38	1539,78	0,03				
267	1460,41	1461,59	0,08	337	1571,84	1572,24	0,03				
268	1013,37	1013,78	0,04	338	1648,27	1648,69	0,03				
269	1816,57	1818,26	0,09	339	1815,45	1815,98	0,03				
270	1901,63	1903,69	0,11	340	1692,67	1693,10	0,03				
271	984,99	985,35	0,04	341	1673,54	1673,93	0,02				
272	1074,21	1074,66	0,04	342	1560,63	1560,85	0,01				
273	1049,92	1050,26	0,03	343	1698,75	1699,17	0,02				
274	1600,77	1602,05	0,08	344	1810,66	1811,01	0,02				
275	1521,14	1522,41	0,08	345	1227,00	1227,09	0,01				
276	1510,90	1511,79	0,06	346	1410,24	1410,35	0,01				
277	1734,03	1735,49	0,08	347	1620,26	1620,46	0,01				
278	1889,74	1891,45	0,09	348	1176,62	1176,68	0,00				
279	1785,90	1787,48	0,09	349	1389,16	1389,26	0,01				
280	605,72	605,81	0,01	350	1581,01	1581,13	0,01				

Tabela 39 – Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para Denver.

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
1	1781,98	1755,27	-1,52	71	2199,50	2199,76	0,01	141	699,05	699,53	0,07
2	145,42	145,42	0,00	72	2155,14	2156,45	0,06	142	542,44	542,72	0,05
3	1306,81	1286,81	-1,55	73	2266,91	2268,30	0,06	143	668,83	669,24	0,06
4	2039,46	2005,34	-1,70	74	1880,93	1882,82	0,10	144	697,73	698,19	0,07
5	1931,63	1907,96	-1,24	75	2347,68	2350,52	0,12	145	639,78	640,16	0,06
6	2054,26	2030,57	-1,17	76	1462,24	1463,74	0,10	146	679,89	680,30	0,06
7	2154,52	2122,82	-1,49	77	1666,04	1667,99	0,12	147	503,55	503,74	0,04
8	2132,31	2096,14	-1,73	78	2389,36	2393,20	0,16	148	400,39	400,45	0,02
9	2103,72	2074,58	-1,40	79	2292,62	2296,39	0,16	149	438,07	438,17	0,02
10	1998,76	1969,48	-1,49	80	2032,40	2035,40	0,15	150	570,86	571,13	0,05
11	1596,61	1561,69	-2,24	81	673,44	673,65	0,03	151	715,95	716,32	0,05
12	2182,52	2143,15	-1,84	82	1468,63	1470,38	0,12	152	1486,53	1487,17	0,04
13	2157,51	2124,75	-1,54	83	2039,11	2042,28	0,16	153	1630,81	1631,49	0,04
14	687,07	686,36	-0,10	84	1482,17	1483,95	0,12	154	1634,50	1635,17	0,04
15	2249,16	2216,63	-1,47	85	2382,47	2386,35	0,16	155	1492,62	1493,20	0,04
16	1898,40	1881,29	-0,91	86	2208,95	2211,92	0,13	156	1780,82	1781,54	0,04
17	2172,32	2150,86	-1,00	87	1845,60	1847,82	0,12	157	1456,29	1456,72	0,03
18	2109,69	2088,02	-1,04	88	2098,57	2101,93	0,16	158	1502,45	1502,91	0,03
19	293,88	293,91	0,01	89	1961,49	1964,53	0,15	159	1190,60	1190,81	0,02
20	341,94	341,98	0,01	90	1942,37	1945,25	0,15	160	694,98	695,02	0,00
21	2303,65	2284,48	-0,84	91	1800,15	1802,53	0,13	161	591,61	591,65	0,01
22	2274,31	2257,23	-0,76	92	907,40	907,77	0,04	162	1737,99	1738,44	0,03
23	2087,72	2081,96	-0,28	93	662,71	662,97	0,04	163	1631,26	1631,60	0,02
24	2186,80	2174,63	-0,56	94	1628,08	1629,99	0,12	164	1583,15	1583,45	0,02
25	2239,77	2232,07	-0,34	95	1990,70	1993,44	0,14	165	1614,15	1614,44	0,02
26	937,63	928,31	-1,00	96	1867,43	1869,81	0,13	166	1741,40	1741,68	0,02
27	1498,92	1492,01	-0,46	97	1758,68	1760,96	0,13	167	759,72	759,75	0,00
28	2233,29	2235,53	0,10	98	2067,29	2070,23	0,14	168	1181,91	1181,99	0,01
29	2344,32	2341,75	-0,11	99	1385,14	1386,56	0,10	169	1119,57	1119,62	0,00
30	1956,87	1959,27	0,12	100	1592,15	1593,89	0,11	170	1674,24	1674,34	0,01
31	1951,26	1951,58	0,02	101	467,14	467,19	0,01	171	1621,79	1621,84	0,00
32	2405,21	2407,76	0,11	102	1412,02	1413,35	0,09	172	1200,37	1200,38	0,00
33	2418,20	2422,29	0,17	103	501,76	502,01	0,05	173	1670,36	1670,34	0,00
34	2357,32	2361,44	0,17	104	2082,99	2085,81	0,14	174	1474,31	1474,26	0,00
35	199,07	199,08	0,01	105	2116,66	2119,55	0,14	175	1710,95	1710,83	-0,01
36	417,35	418,26	0,22	106	1913,69	1916,03	0,12	176	1716,59	1716,43	-0,01
37	2462,86	2467,20	0,18	107	2116,02	2118,85	0,13	177	1762,13	1761,92	-0,01
38	2233,54	2237,13	0,16	108	2099,76	2102,47	0,13	178	1732,78	1732,54	-0,01
39	366,30	366,45	0,04	109	1134,73	1135,50	0,07	179	1600,69	1600,46	-0,01
40	1733,58	1735,83	0,13	110	1734,31	1736,27	0,11	180	1756,20	1755,85	-0,02
41	1560,84	1562,87	0,13	111	1630,02	1631,59	0,10	181	1761,62	1761,21	-0,02
42	2042,10	2045,64	0,17	112	2113,63	2116,29	0,13	182	1694,58	1694,16	-0,02
43	1470,99	1473,34	0,16	113	1536,60	1537,93	0,09	183	1570,62	1570,24	-0,02
44	1921,17	1923,69	0,13	114	1864,00	1866,01	0,11	184	1333,71	1333,36	-0,03
45	514,23	514,37	0,03	115	1927,00	1929,06	0,11	185	1566,41	1565,95	-0,03
46	916,45	917,38	0,10	116	1998,29	2000,65	0,12	186	569,85	569,83	0,00
47	1984,36	1987,67	0,17	117	1928,93	1931,09	0,11	187	1203,89	1203,59	-0,02
48	826,25	827,46	0,15	118	1699,93	1701,49	0,09	188	1178,60	1178,25	-0,03
49	2159,50	2163,37	0,18	119	540,61	540,65	0,01	189	1687,46	1686,73	-0,04
50	1953,82	1957,32	0,18	120	2064,44	2066,78	0,11	190	1703,40	1702,60	-0,05
51	2063,34	2067,02	0,18	121	774,73	775,58	0,11	191	1460,37	1459,79	-0,04
52	1198,88	1200,25	0,11	122	774,32	775,16	0,11	192	957,51	957,19	-0,03
53	2124,94	2128,71	0,18	123	760,51	761,31	0,11	193	1376,51	1375,91	-0,04
54	909,94	911,27	0,15	124	736,25	736,98	0,10	194	1168,96	1168,44	-0,04
55	2194,30	2198,22	0,18	125	520,56	520,89	0,06	195	1634,57	1633,66	-0,06
56	2202,93	2206,86	0,18	126	235,15	235,17	0,01	196	1667,38	1666,35	-0,06
57	2138,70	2142,43	0,17	127	594,43	594,90	0,08	197	1555,32	1554,43	-0,06
58	1697,92	1700,36	0,14	128	625,86	626,36	0,08	198	1494,76	1493,89	-0,06
59	2098,92	2089,73	-0,44	129	258,42	258,44	0,01	199	1680,17	1678,96	-0,07
60	1348,35	1349,88	0,11	130	502,83	503,12	0,06	200	1749,97	1748,66	-0,07
61	1953,02	1941,77	-0,58	131	344,73	344,79	0,02	201	1758,83	1757,47	-0,08
62	2127,63	2120,62	-0,33	132	684,99	685,54	0,08	202	1749,58	1748,26	-0,08
63	1989,55	1991,47	0,10	133	440,65	440,84	0,04	203	1855,42	1854,00	-0,08
64	231,08	231,09	0,01	134	763,25	763,90	0,09	204	1873,83	1872,36	-0,08
65	2266,12	2257,93	-0,36	135	755,60	756,23	0,08	205	1666,63	1665,37	-0,08
66	2261,04	2254,75	-0,28	136	744,22	744,83	0,08	206	1993,68	1991,86	-0,09
67	1588,59	1590,49	0,12	137	679,79	680,28	0,07	207	2009,27	2007,40	-0,09
68	2223,34	2220,28	-0,14	138	704,02	704,54	0,07	208	1887,29	1885,58	-0,09
69	1804,88	1803,13	-0,10	139	611,62	611,99	0,06	209	1589,68	1588,42	-0,08
70	1065,22	1065,63	0,04	140	751,89	752,45	0,07	210	1886,95	1885,07	-0,10

Tabela 40 – Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m²) para Denver (cont.)

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	1730,77	1729,21	-0,09	281	596,74	596,45	-0,05	351	2064,66	2048,51	-0,79
212	1729,76	1728,19	-0,09	282	1519,04	1515,39	-0,24	352	1429,42	1418,55	-0,77
213	1500,09	1498,86	-0,08	283	1709,54	1704,78	-0,28	353	1225,77	1209,55	-1,34
214	1248,16	1247,26	-0,07	284	2124,08	2118,01	-0,29	354	1952,83	1936,48	-0,84
215	1257,51	1256,59	-0,07	285	1085,05	1082,64	-0,22	355	2036,34	2020,16	-0,80
216	1650,61	1648,87	-0,11	286	2221,99	2215,32	-0,30	356	1092,43	1092,51	0,01
217	1988,17	1985,77	-0,12	287	2215,91	2209,21	-0,30	357	1947,44	1931,97	-0,80
218	1900,61	1898,32	-0,12	288	2210,66	2203,93	-0,31	358	1767,60	1762,94	-0,26
219	1667,85	1665,89	-0,12	289	2202,42	2195,67	-0,31	359	1910,70	1896,37	-0,76
220	635,47	635,36	-0,02	290	2196,61	2189,84	-0,31	360	1558,93	1545,15	-0,89
221	1224,34	1223,23	-0,09	291	2108,98	2102,51	-0,31	361	2031,46	2009,44	-1,10
222	1985,13	1982,47	-0,13	292	2170,98	2164,25	-0,31	362	2024,89	2008,61	-0,81
223	1795,08	1792,97	-0,12	293	1937,04	1931,23	-0,30	363	1972,75	1949,20	-1,21
224	820,14	819,45	-0,08	294	1978,84	1972,68	-0,31	364	1902,48	1876,60	-1,38
225	1995,83	1993,01	-0,14	295	1888,74	1882,78	-0,32	365	2008,95	1988,81	-1,01
226	1446,52	1444,93	-0,11	296	2110,66	2104,02	-0,32				
227	2008,38	2005,41	-0,15	297	2116,82	2110,10	-0,32				
228	1862,62	1859,97	-0,14	298	2053,92	2047,47	-0,31				
229	1875,00	1872,22	-0,15	299	1411,52	1407,89	-0,26				
230	1928,65	1925,80	-0,15	300	1982,96	1976,71	-0,32				
231	1630,25	1628,13	-0,13	301	2045,71	2039,80	-0,29				
232	1402,14	1400,51	-0,12	302	383,58	383,34	-0,06				
233	1271,66	1270,06	-0,13	303	2156,71	2149,92	-0,32				
234	1961,00	1957,77	-0,16	304	2053,48	2046,76	-0,33				
235	879,24	878,68	-0,06	305	631,27	630,75	-0,08				
236	2022,68	2019,20	-0,17	306	1876,54	1871,47	-0,27				
237	1995,89	1992,40	-0,17	307	2213,88	2207,00	-0,31				
238	2005,27	2001,70	-0,18	308	2479,92	2471,76	-0,33				
239	1826,77	1823,79	-0,16	309	2157,76	2150,94	-0,32				
240	1982,38	1978,83	-0,18	310	2203,39	2196,55	-0,31				
241	1972,87	1969,31	-0,18	311	1220,00	1217,23	-0,23				
242	1828,36	1825,04	-0,18	312	1888,35	1882,84	-0,29				
243	1429,53	1427,54	-0,14	313	2347,35	2338,43	-0,38				
244	1799,69	1796,30	-0,19	314	1756,99	1751,84	-0,29				
245	1948,93	1945,11	-0,20	315	2338,23	2327,91	-0,44				
246	2025,60	2021,53	-0,20	316	1395,42	1391,03	-0,32				
247	1995,94	1991,92	-0,20	317	463,32	463,00	-0,07				
248	1824,18	1820,79	-0,19	318	972,60	968,77	-0,40				
249	1928,31	1924,53	-0,20	319	2330,18	2315,76	-0,62				
250	1947,56	1943,49	-0,21	320	1269,91	1262,11	-0,62				
251	1229,93	1228,16	-0,14	321	2253,25	2238,63	-0,65				
252	1428,72	1426,35	-0,17	322	2021,37	2010,81	-0,53				
253	1488,37	1485,82	-0,17	323	2191,11	2176,76	-0,66				
254	1763,88	1760,30	-0,20	324	2140,18	2124,60	-0,73				
255	1950,81	1946,53	-0,22	325	1876,07	1866,17	-0,53				
256	1970,23	1965,85	-0,22	326	1729,51	1716,98	-0,73				
257	1413,08	1411,09	-0,14	327	2161,82	2146,15	-0,73				
258	953,89	953,13	-0,08	328	932,50	930,56	-0,21				
259	2297,08	2291,65	-0,24	329	2073,61	2059,75	-0,67				
260	2345,81	2340,22	-0,24	330	369,64	369,49	-0,04				
261	2170,41	2165,61	-0,22	331	1553,27	1540,44	-0,83				
262	510,18	510,09	-0,02	332	2060,12	2047,65	-0,61				
263	2320,99	2315,35	-0,24	333	1536,99	1534,50	-0,16				
264	2030,11	2025,66	-0,22	334	1913,86	1901,43	-0,65				
265	2326,46	2320,58	-0,25	335	273,94	273,89	-0,02				
266	2322,64	2316,66	-0,26	336	911,16	900,75	-1,16				
267	2317,97	2311,88	-0,26	337	1650,60	1640,15	-0,64				
268	2147,91	2142,28	-0,26	338	1916,38	1904,68	-0,61				
269	846,86	846,06	-0,09	339	1901,65	1891,70	-0,53				
270	2301,96	2295,47	-0,28	340	1093,36	1086,85	-0,60				
271	2248,04	2241,91	-0,27	341	146,22	146,21	-0,01				
272	2053,88	2048,28	-0,27	342	1921,49	1909,91	-0,61				
273	2187,81	2181,58	-0,29	343	2105,73	2086,68	-0,91				
274	1012,44	1010,14	-0,23	344	2032,66	2019,81	-0,64				
275	2290,72	2283,87	-0,30	345	1970,94	1965,25	-0,29				
276	2212,37	2205,92	-0,29	346	1941,70	1927,80	-0,72				
277	2277,16	2270,58	-0,29	347	1244,10	1243,34	-0,06				
278	2271,11	2264,40	-0,30	348	2071,78	2056,73	-0,73				
279	2235,01	2228,28	-0,30	349	1774,58	1759,26	-0,87				
280	1668,33	1663,43	-0,29	350	2067,08	2051,21	-0,77				

Tabela 41 – Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para Istambul.

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
1	1209,43	1209,90	0,04	71	568,15	568,21	0,01	141	605,57	605,93	0,06
2	341,26	341,27	0,00	72	1484,17	1485,81	0,11	142	643,78	644,22	0,07
3	677,24	677,46	0,03	73	1727,86	1730,14	0,13	143	494,87	495,05	0,04
4	1583,62	1584,55	0,06	74	678,60	678,68	0,01	144	360,40	360,45	0,02
5	1512,74	1513,64	0,06	75	592,34	592,40	0,01	145	553,17	553,41	0,04
6	403,67	403,71	0,01	76	466,62	466,65	0,01	146	310,40	310,42	0,01
7	447,71	447,76	0,01	77	468,90	468,91	0,00	147	309,54	309,55	0,00
8	518,48	518,58	0,02	78	699,78	757,97	7,68	148	489,02	489,16	0,03
9	419,53	419,59	0,02	79	495,57	495,59	0,01	149	377,03	377,08	0,01
10	355,79	355,82	0,01	80	486,26	486,29	0,01	150	295,68	295,69	0,01
11	559,19	559,33	0,02	81	822,20	890,74	7,69	151	342,30	342,33	0,01
12	1333,85	1325,14	-0,66	82	1584,80	1586,71	0,12	152	899,92	900,02	0,01
13	1712,39	1701,12	-0,66	83	861,19	861,53	0,04	153	1222,26	1222,51	0,02
14	375,43	375,46	0,01	84	892,23	892,57	0,04	154	1398,35	1398,73	0,03
15	283,12	283,12	0,00	85	1729,10	1731,36	0,13	155	1290,92	1291,20	0,02
16	429,95	430,01	0,01	86	1113,12	1113,82	0,06	156	1005,42	1005,52	0,01
17	1120,54	1121,36	0,07	87	859,34	859,64	0,03	157	1263,08	1263,29	0,02
18	689,61	689,90	0,04	88	756,54	756,66	0,02	158	1293,76	1294,00	0,02
19	710,32	708,87	-0,20	89	1013,36	1013,90	0,05	159	1590,93	1591,40	0,03
20	367,31	367,36	0,01	90	1226,32	1227,26	0,08	160	940,90	940,95	0,01
21	303,46	303,46	0,00	91	590,76	590,79	0,01	161	1502,95	1503,27	0,02
22	371,12	371,14	0,01	92	724,19	724,25	0,01	162	1601,60	1601,97	0,02
23	599,68	599,88	0,03	93	1348,15	1349,44	0,10	163	1450,84	1451,08	0,02
24	451,35	451,42	0,02	94	1579,86	1581,70	0,12	164	1589,68	1589,99	0,02
25	465,52	465,60	0,02	95	1734,64	1736,90	0,13	165	1583,62	1583,90	0,02
26	1636,55	1797,70	8,96	96	1769,13	1771,46	0,13	166	1118,71	1118,77	0,01
27	1571,02	1728,90	9,13	97	1008,44	1009,02	0,06	167	1217,25	1217,31	0,01
28	421,91	421,95	0,01	98	1052,75	1053,34	0,06	168	961,52	961,55	0,00
29	331,96	331,97	0,00	99	1690,75	1692,71	0,12	169	978,65	978,67	0,00
30	358,66	394,23	9,02	100	931,05	931,35	0,03	170	875,16	875,17	0,00
31	369,33	405,97	9,03	101	1252,78	1253,74	0,08	171	1597,01	1597,06	0,00
32	284,26	312,36	9,00	102	1050,08	1050,62	0,05	172	1594,57	1594,59	0,00
33	1191,70	1311,26	9,12	103	670,69	670,73	0,01	173	1518,40	1518,38	0,00
34	323,28	355,29	9,01	104	1044,09	1044,54	0,04	174	1589,39	1589,32	0,00
35	382,81	420,48	8,96	105	680,05	680,08	0,01	175	1588,27	1588,18	-0,01
36	499,95	500,07	0,03	106	902,67	902,90	0,03	176	1204,20	1204,13	-0,01
37	621,56	621,82	0,04	107	798,06	798,15	0,01	177	1342,07	1341,98	-0,01
38	971,24	972,01	0,08	108	662,36	662,40	0,01	178	1167,72	1167,65	-0,01
39	954,97	955,77	0,08	109	991,94	992,28	0,03	179	1569,15	1568,92	-0,01
40	943,42	944,15	0,08	110	1056,22	1056,71	0,05	180	1240,57	1240,45	-0,01
41	1332,53	1334,12	0,12	111	712,58	712,62	0,01	181	1479,63	1479,38	-0,02
42	440,74	440,78	0,01	112	554,10	554,12	0,00	182	1592,37	1592,01	-0,02
43	705,01	705,35	0,05	113	1281,17	1282,10	0,07	183	1608,32	1607,90	-0,03
44	1220,17	1221,56	0,11	114	1787,14	1789,01	0,11	184	1578,15	1577,71	-0,03
45	1498,68	1500,72	0,14	115	1239,57	1240,23	0,05	185	1597,67	1597,17	-0,03
46	566,60	566,72	0,02	116	1435,09	1436,05	0,07	186	1460,07	1459,65	-0,03
47	423,51	423,53	0,01	117	1340,09	1341,07	0,07	187	1608,74	1608,16	-0,04
48	397,04	397,04	0,00	118	1567,03	1568,25	0,08	188	1502,02	1501,54	-0,03
49	364,61	364,61	0,00	119	1095,67	1096,10	0,04	189	971,76	971,67	-0,01
50	685,69	685,93	0,03	120	1106,69	1107,18	0,04	190	715,40	715,37	0,00
51	1072,59	1073,47	0,08	121	273,83	273,85	0,01	191	1118,55	1118,31	-0,02
52	737,85	738,16	0,04	122	264,53	264,54	0,00	192	961,96	961,79	-0,02
53	549,30	549,43	0,02	123	287,01	287,05	0,01	193	1107,97	1107,74	-0,02
54	390,66	390,66	0,00	124	655,42	655,99	0,09	194	1534,07	1533,33	-0,05
55	504,62	504,65	0,01	125	560,57	560,93	0,06	195	1190,83	1190,48	-0,03
56	486,79	486,82	0,00	126	533,20	533,49	0,05	196	1366,43	1365,93	-0,04
57	1235,46	1236,67	0,10	127	421,51	421,64	0,03	197	1409,86	1409,23	-0,04
58	1625,01	1627,33	0,14	128	414,63	414,72	0,02	198	1507,15	1506,40	-0,05
59	493,11	493,15	0,01	129	547,97	548,29	0,06	199	1710,53	1709,40	-0,07
60	1008,80	1009,62	0,08	130	681,67	682,26	0,09	200	1346,55	1345,99	-0,04
61	1550,75	1552,86	0,14	131	522,98	523,26	0,05	201	1492,31	1491,51	-0,05
62	922,73	923,30	0,06	132	568,81	569,14	0,06	202	1290,22	1289,70	-0,04
63	1228,73	1230,10	0,11	133	662,25	662,77	0,08	203	1137,15	1136,77	-0,03
64	787,45	787,79	0,04	134	655,64	656,12	0,07	204	1710,73	1709,36	-0,08
65	666,25	666,37	0,02	135	475,94	476,13	0,04	205	1710,27	1708,81	-0,09
66	568,27	568,35	0,01	136	349,00	349,06	0,02	206	1674,84	1673,50	-0,08
67	731,01	731,24	0,03	137	541,17	541,47	0,05	207	1530,40	1529,29	-0,07
68	748,54	748,79	0,03	138	603,38	603,76	0,06	208	1333,83	1333,00	-0,06
69	582,46	582,51	0,01	139	574,93	575,27	0,06	209	805,32	805,25	-0,01
70	716,05	716,23	0,02	140	513,50	513,71	0,04	210	1407,39	1406,50	-0,06

Tabela 42 – Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m²) para Istambul (cont.)

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	1715,28	1713,58	-0,10	281	1605,50	1601,98	-0,22	351	455,54	455,49	-0,01
212	1687,28	1685,67	-0,10	282	1254,86	1252,70	-0,17	352	1558,92	1558,50	-0,03
213	1690,51	1688,76	-0,10	283	787,50	786,96	-0,07	353	346,35	346,34	0,00
214	1582,56	1581,09	-0,09	284	1341,91	1339,36	-0,19	354	318,51	318,51	0,00
215	1401,40	1400,36	-0,07	285	803,18	802,43	-0,09	355	613,48	613,48	0,00
216	1392,11	1391,01	-0,08	286	517,15	517,08	-0,01	356	498,79	498,80	0,00
217	1287,28	1286,50	-0,06	287	1526,33	1522,75	-0,24	357	635,54	635,62	0,01
218	1156,95	1156,32	-0,05	288	1371,33	1368,36	-0,22	358	354,84	354,85	0,00
219	1377,25	1474,22	6,58	289	934,94	933,72	-0,13	359	303,17	303,17	0,00
220	1401,37	1499,93	6,57	290	483,15	483,04	-0,02	360	532,00	532,09	0,02
221	1793,48	1791,28	-0,12	291	1184,62	1182,49	-0,18	361	341,62	341,64	0,01
222	1637,75	1636,06	-0,10	292	1369,82	1366,93	-0,21	362	338,34	338,36	0,01
223	1114,84	1114,31	-0,05	293	724,16	723,47	-0,09	363	328,18	328,20	0,01
224	696,71	696,67	-0,01	294	1519,24	1515,57	-0,24	364	253,25	253,25	0,00
225	1411,67	1410,51	-0,08	295	1519,15	1515,36	-0,25	365	701,06	701,48	0,06
226	1292,02	1291,11	-0,07	296	1574,89	1570,81	-0,26				
227	1213,72	1213,10	-0,05	297	1552,60	1548,56	-0,26				
228	1351,23	1350,17	-0,08	298	1255,08	1252,61	-0,20				
229	1386,01	1384,79	-0,09	299	687,90	687,43	-0,07				
230	1351,09	1349,89	-0,09	300	363,10	363,08	0,00				
231	1444,04	1442,58	-0,10	301	1350,16	1347,34	-0,21				
232	1420,34	1418,86	-0,10	302	437,65	437,58	-0,02				
233	1507,84	1506,11	-0,11	303	737,36	736,73	-0,09				
234	1785,50	1782,73	-0,16	304	1153,23	1151,07	-0,19				
235	1781,01	1778,20	-0,16	305	1518,61	1514,90	-0,24				
236	1742,70	1740,03	-0,15	306	417,36	417,32	-0,01				
237	1722,68	1720,04	-0,15	307	1247,60	1245,03	-0,21				
238	1771,95	1769,03	-0,17	308	1233,25	1230,66	-0,21				
239	1324,07	1322,77	-0,10	309	390,50	390,48	-0,01				
240	1766,63	1763,65	-0,17	310	1004,28	1102,44	8,90				
241	1754,60	1751,60	-0,17	311	694,94	763,35	8,96				
242	697,06	696,94	-0,02	312	1252,63	1374,22	8,85				
243	890,09	889,69	-0,04	313	438,12	438,04	-0,02				
244	1053,62	1052,90	-0,07	314	465,56	465,46	-0,02				
245	533,46	533,42	-0,01	315	1423,36	1419,81	-0,25				
246	974,18	973,60	-0,06	316	1544,68	1541,18	-0,23				
247	872,19	871,69	-0,06	317	403,42	403,36	-0,01				
248	1400,70	1398,83	-0,13	318	461,51	461,38	-0,03				
249	1327,28	1325,66	-0,12	319	1185,99	1183,95	-0,17				
250	1684,65	1681,51	-0,19	320	1542,31	1538,89	-0,22				
251	1589,00	1586,23	-0,17	321	730,58	729,76	-0,11				
252	931,82	931,24	-0,06	322	764,15	763,37	-0,10				
253	1141,60	1140,14	-0,13	323	458,57	458,46	-0,02				
254	1731,48	1728,03	-0,20	324	319,43	319,42	0,00				
255	1766,28	1762,59	-0,21	325	285,39	285,39	0,00				
256	1076,53	1075,26	-0,12	326	451,06	450,88	-0,04				
257	1588,72	1585,69	-0,19	327	567,08	566,71	-0,06				
258	1753,24	1749,46	-0,22	328	677,12	676,57	-0,08				
259	1744,60	1740,78	-0,22	329	946,69	945,45	-0,13				
260	1612,77	1609,52	-0,20	330	423,48	423,39	-0,02				
261	1881,64	1877,30	-0,23	331	378,16	378,11	-0,01				
262	1380,74	1378,81	-0,14	332	1132,50	1130,86	-0,14				
263	890,30	889,80	-0,06	333	514,19	513,97	-0,04				
264	934,64	934,15	-0,05	334	250,65	250,65	0,00				
265	752,55	752,38	-0,02	335	274,35	274,35	0,00				
266	1921,84	1917,64	-0,22	336	365,77	365,72	-0,01				
267	1998,32	1993,58	-0,24	337	374,69	374,61	-0,02				
268	1847,86	1843,92	-0,21	338	693,18	692,69	-0,07				
269	1763,77	1759,98	-0,22	339	356,45	356,41	-0,01				
270	1888,73	1884,44	-0,23	340	699,17	698,74	-0,06				
271	1048,82	1047,52	-0,12	341	411,97	411,89	-0,02				
272	1300,86	1298,98	-0,14	342	331,36	331,35	0,00				
273	1504,81	1501,83	-0,20	343	349,32	349,29	-0,01				
274	1177,00	1175,45	-0,13	344	348,37	348,35	-0,01				
275	935,30	934,50	-0,09	345	304,82	304,81	0,00				
276	1030,13	1028,90	-0,12	346	343,67	343,65	-0,01				
277	535,98	535,93	-0,01	347	1134,38	1133,67	-0,06				
278	602,65	602,49	-0,03	348	1593,91	1592,86	-0,07				
279	529,17	529,10	-0,01	349	647,29	647,08	-0,03				
280	1453,88	1451,06	-0,19	350	339,61	339,60	0,00				

Tabela 43 – Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m²) para Sidney.

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
1	1797,41	1797,20	-0,01	71	926,82	926,66	-0,02	141	184,22	184,19	-0,02
2	1874,27	1873,96	-0,02	72	1617,00	1615,62	-0,09	142	455,48	455,02	-0,10
3	929,46	929,44	0,00	73	1555,96	1554,53	-0,09	143	470,26	469,77	-0,10
4	1516,99	1516,86	-0,01	74	1967,19	1964,94	-0,11	144	140,86	140,84	-0,01
5	1604,18	1604,00	-0,01	75	448,04	448,04	0,00	145	375,73	375,46	-0,07
6	1712,38	1712,11	-0,02	76	1756,76	1754,91	-0,11	146	300,74	300,57	-0,06
7	1914,25	1913,84	-0,02	77	947,73	947,50	-0,02	147	439,71	452,10	2,74
8	1347,26	1347,10	-0,01	78	1416,90	1415,91	-0,07	148	481,07	480,59	-0,10
9	2003,69	2003,16	-0,03	79	1769,02	1767,30	-0,10	149	235,63	235,53	-0,04
10	2005,88	2005,32	-0,03	80	1981,48	1979,25	-0,11	150	119,12	119,11	0,00
11	2006,05	2005,45	-0,03	81	1981,60	1979,31	-0,12	151	161,84	161,83	-0,01
12	2008,42	2007,79	-0,03	82	764,49	764,30	-0,03	152	1647,85	1646,46	-0,08
13	1657,75	1657,40	-0,02	83	2025,48	2022,99	-0,12	153	1393,61	1392,70	-0,07
14	1814,96	1814,49	-0,03	84	1394,62	1393,50	-0,08	154	1505,02	1503,95	-0,07
15	1454,77	1454,58	-0,01	85	1770,77	1768,90	-0,11	155	446,64	446,62	0,00
16	506,59	506,58	0,00	86	1927,43	1925,14	-0,12	156	301,54	301,54	0,00
17	853,19	853,15	0,00	87	1978,84	1976,32	-0,13	157	647,16	647,04	-0,02
18	910,17	910,06	-0,01	88	740,48	740,37	-0,01	158	237,78	237,78	0,00
19	2001,42	2000,59	-0,04	89	975,56	975,21	-0,04	159	241,45	241,45	0,00
20	1569,42	1569,05	-0,02	90	389,73	389,73	0,00	160	979,85	979,47	-0,04
21	1487,24	1486,88	-0,02	91	1997,65	1995,03	-0,13	161	1605,25	1604,48	-0,05
22	1236,07	1235,90	-0,01	92	1500,41	1498,80	-0,11	162	1597,90	1597,19	-0,04
23	850,30	850,26	0,00	93	1790,78	1788,58	-0,12	163	1603,60	1602,94	-0,04
24	1590,64	1590,23	-0,03	94	1743,35	1741,31	-0,12	164	302,61	302,61	0,00
25	1814,43	1813,68	-0,04	95	1913,66	1911,10	-0,13	165	605,26	605,21	-0,01
26	1392,58	1392,20	-0,03	96	1397,81	1396,53	-0,09	166	1581,11	1580,67	-0,03
27	1777,01	1776,24	-0,04	97	829,57	829,34	-0,03	167	936,56	936,41	-0,02
28	1385,01	1384,73	-0,02	98	1823,81	1821,49	-0,13	168	1334,98	1334,75	-0,02
29	1938,27	1937,22	-0,05	99	977,93	977,47	-0,05	169	1555,22	1554,97	-0,02
30	1970,77	1969,59	-0,06	100	820,69	820,44	-0,03	170	1491,50	1491,35	-0,01
31	807,18	807,14	0,00	101	1898,64	1896,00	-0,14	171	1124,75	1124,69	-0,01
32	1927,71	1926,57	-0,06	102	1887,38	1884,75	-0,14	172	1572,18	1572,13	0,00
33	1950,92	1949,67	-0,06	103	1801,47	1799,06	-0,13	173	675,69	675,69	0,00
34	1476,90	1476,45	-0,03	104	1343,83	1342,59	-0,09	174	791,23	791,26	0,00
35	1182,48	1182,11	-0,03	105	426,90	426,87	-0,01	175	1396,55	1396,70	0,01
36	1077,24	1077,07	-0,02	106	426,15	426,10	-0,01	176	1586,85	1587,09	0,02
37	1831,96	1830,86	-0,06	107	982,29	981,62	-0,07	177	1472,84	1473,11	0,02
38	1950,77	1949,42	-0,07	108	460,27	460,21	-0,01	178	1207,40	1207,62	0,02
39	1599,58	1598,87	-0,04	109	1500,18	1498,41	-0,12	179	835,30	835,41	0,01
40	1284,82	1284,22	-0,05	110	1853,74	1851,09	-0,14	180	1420,58	1421,01	0,03
41	1222,58	1222,34	-0,02	111	1800,97	1798,40	-0,14	181	694,87	694,98	0,02
42	501,95	501,94	0,00	112	1017,57	1016,88	-0,07	182	385,54	385,55	0,00
43	1836,61	1835,33	-0,07	113	1257,23	1255,90	-0,11	183	235,77	235,77	0,00
44	1925,58	1924,09	-0,08	114	691,45	691,27	-0,03	184	1604,50	1605,29	0,05
45	693,31	693,27	-0,01	115	1695,77	1693,37	-0,14	185	1378,48	1379,15	0,05
46	584,83	584,80	0,00	116	1741,50	1738,99	-0,14	186	1385,35	1386,07	0,05
47	804,56	804,50	-0,01	117	1741,13	1738,59	-0,15	187	1665,70	1666,73	0,06
48	1863,35	1861,95	-0,08	118	1052,49	1051,61	-0,08	188	1037,90	1038,34	0,04
49	1701,39	1700,27	-0,07	119	1428,55	1426,83	-0,12	189	877,41	877,69	0,03
50	1935,70	1933,98	-0,09	120	688,61	688,19	-0,06	190	1691,62	1692,87	0,07
51	1368,67	1368,12	-0,04	121	376,16	375,79	-0,10	191	1654,41	1655,69	0,08
52	561,96	561,87	-0,02	122	362,08	361,76	-0,09	192	1681,12	1682,50	0,08
53	1913,71	1912,09	-0,08	123	304,55	304,30	-0,08	193	1686,92	1688,37	0,09
54	787,16	787,08	-0,01	124	534,23	533,49	-0,14	194	748,82	749,05	0,03
55	1290,41	1289,80	-0,05	125	518,02	517,32	-0,14	195	1587,43	1588,83	0,09
56	1791,45	1789,96	-0,08	126	488,68	488,11	-0,12	196	1352,99	1354,10	0,08
57	891,98	891,77	-0,02	127	229,66	229,57	-0,04	197	1365,24	1366,43	0,09
58	1528,58	1527,64	-0,06	128	552,22	551,46	-0,14	198	1735,64	1737,47	0,11
59	1706,53	1705,19	-0,08	129	554,49	553,73	-0,14	199	1742,72	1744,72	0,11
60	1758,01	1756,48	-0,09	130	551,52	550,77	-0,14	200	1735,98	1738,04	0,12
61	1322,08	1321,42	-0,05	131	496,74	496,12	-0,12	201	1723,09	1725,17	0,12
62	1903,54	1901,51	-0,11	132	407,44	407,00	-0,11	202	913,80	914,38	0,06
63	1889,90	1887,89	-0,11	133	190,30	190,27	-0,02	203	826,31	826,70	0,05
64	1635,61	1634,29	-0,08	134	116,41	116,39	-0,01	204	622,50	622,64	0,02
65	655,18	655,13	-0,01	135	495,32	494,72	-0,12	205	502,96	503,04	0,01
66	1186,48	1186,06	-0,04	136	268,15	268,02	-0,05	206	1118,98	1119,99	0,09
67	1733,99	1732,50	-0,09	137	530,83	530,17	-0,12	207	1827,65	1830,22	0,14
68	2036,10	2033,85	-0,11	138	285,23	285,02	-0,07	208	881,59	882,22	0,07
69	2016,51	2014,19	-0,12	139	243,61	243,50	-0,05	209	593,60	593,76	0,03
70	1013,20	1012,94	-0,03	140	180,13	180,10	-0,02	210	1669,06	1671,52	0,15

Tabela 44 – Irradiação total horária em média diária incidente em superfície inclinada (kJ/m^2) para Sidney (cont.).

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	1679,94	1682,47	0,15	281	1683,56	1685,82	0,13	351	1576,61	1576,78	0,01
212	1472,26	1474,19	0,13	282	960,48	960,85	0,04	352	1204,16	1204,19	0,00
213	1577,23	1579,73	0,16	283	953,77	954,23	0,05	353	1751,17	1751,27	0,01
214	1577,04	1579,60	0,16	284	1015,00	1015,37	0,04	354	1781,37	1781,42	0,00
215	776,58	777,17	0,08	285	2003,07	2006,25	0,16	355	1846,51	1846,50	0,00
216	1583,38	1585,97	0,16	286	2011,74	2014,91	0,16	356	512,37	512,37	0,00
217	1599,27	1601,95	0,17	287	2020,14	2023,31	0,16	357	691,88	691,88	0,00
218	1638,29	1641,03	0,17	288	1790,98	1793,40	0,13	358	486,64	486,64	0,00
219	1641,10	1643,91	0,17	289	1880,32	1882,79	0,13	359	522,16	522,15	0,00
220	1492,28	1494,68	0,16	290	2009,70	2012,73	0,15	360	833,54	833,50	-0,01
221	1495,36	1497,82	0,16	291	1421,87	1422,88	0,07	361	1844,05	1843,70	-0,02
222	1654,59	1657,53	0,18	292	565,24	565,29	0,01	362	1822,23	1821,82	-0,02
223	1662,73	1665,69	0,18	293	1893,60	1896,36	0,15	363	1227,05	1226,91	-0,01
224	641,60	641,82	0,03	294	1894,54	1897,00	0,13	364	1761,65	1761,27	-0,02
225	859,70	860,31	0,07	295	1368,67	1369,87	0,09	365	1852,79	1852,21	-0,03
226	1660,04	1663,01	0,18	296	1637,04	1638,85	0,11				
227	1517,54	1520,12	0,17	297	1887,77	1890,35	0,14				
228	1706,01	1709,14	0,18	298	1311,97	1312,99	0,08				
229	1710,48	1713,62	0,18	299	1686,77	1688,73	0,12				
230	949,32	950,11	0,08	300	1336,94	1337,92	0,07				
231	1735,13	1738,31	0,18	301	1923,98	1926,62	0,14				
232	1553,92	1556,41	0,16	302	1367,00	1367,93	0,07				
233	1414,58	1416,73	0,15	303	581,85	581,90	0,01				
234	302,94	302,94	0,00	304	1409,09	1410,31	0,09				
235	562,58	562,70	0,02	305	471,53	471,53	0,00				
236	752,09	752,48	0,05	306	1566,50	1567,79	0,08				
237	1795,11	1798,46	0,19	307	1507,78	1509,01	0,08				
238	1197,05	1198,64	0,13	308	1935,18	1937,42	0,12				
239	1310,22	1312,01	0,14	309	1640,04	1641,42	0,08				
240	1257,29	1259,02	0,14	310	1871,74	1873,79	0,11				
241	1846,27	1849,75	0,19	311	1828,84	1830,67	0,10				
242	1841,16	1844,60	0,19	312	875,03	875,17	0,02				
243	1841,13	1844,58	0,19	313	1945,40	1947,50	0,11				
244	947,18	947,81	0,07	314	1842,27	1843,99	0,09				
245	1629,86	1632,47	0,16	315	583,63	583,71	0,01				
246	1785,83	1789,02	0,18	316	1751,65	1878,28	6,74				
247	742,79	743,00	0,03	317	1749,85	1876,32	6,74				
248	1602,52	1605,01	0,16	318	1082,98	1160,35	6,67				
249	834,81	835,32	0,06	319	797,70	854,54	6,65				
250	1197,57	1198,95	0,12	320	1576,99	1690,52	6,72				
251	1826,93	1830,15	0,18	321	1838,66	1971,46	6,74				
252	354,94	354,94	0,00	322	1311,48	1405,43	6,69				
253	1844,78	1848,01	0,17	323	1608,31	1724,01	6,71				
254	1889,53	1892,89	0,18	324	1553,96	1665,43	6,69				
255	815,23	815,44	0,03	325	1368,70	1466,49	6,67				
256	694,72	694,87	0,02	326	1557,44	1669,30	6,70				
257	1286,79	1288,19	0,11	327	1135,15	1216,03	6,65				
258	1186,23	1187,51	0,11	328	1677,58	1798,01	6,70				
259	1800,92	1803,79	0,16	329	1481,00	1481,62	0,04				
260	1652,68	1655,08	0,15	330	819,42	819,49	0,01				
261	1950,09	1953,50	0,17	331	964,53	964,63	0,01				
262	1387,30	1388,79	0,11	332	478,52	478,53	0,00				
263	1833,94	1989,98	7,84	333	819,62	819,68	0,01				
264	1834,19	1837,30	0,17	334	1526,28	1526,87	0,04				
265	1856,38	1859,64	0,18	335	497,23	497,24	0,00				
266	1826,03	1829,15	0,17	336	1339,88	1340,26	0,03				
267	1843,66	1846,81	0,17	337	1261,79	1262,07	0,02				
268	1769,57	1772,41	0,16	338	1840,34	1841,27	0,05				
269	1860,70	1863,87	0,17	339	1835,73	1836,59	0,05				
270	1878,81	1882,01	0,17	340	1844,60	1845,43	0,04				
271	1878,06	1881,28	0,17	341	1835,85	1836,62	0,04				
272	907,05	907,74	0,08	342	1412,50	1412,83	0,02				
273	1663,85	1666,09	0,13	343	484,01	484,01	0,00				
274	1896,40	1899,69	0,17	344	1759,49	1759,98	0,03				
275	1819,66	1822,47	0,15	345	1840,17	1840,71	0,03				
276	1088,68	1089,33	0,06	346	1712,16	1712,53	0,02				
277	1959,49	1962,83	0,17	347	1595,00	1595,28	0,02				
278	1314,20	1315,73	0,12	348	1485,06	1485,27	0,01				
279	746,58	746,76	0,02	349	515,12	515,12	0,00				
280	1922,76	1925,76	0,16	350	1614,63	1614,81	0,01				

Tabela 46 – Comparação do fluxo de calor no coletor (média diária - kJ)
(cont.).

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	4695,34	4695,34	8,06E-05	281	2050,06	2050,06	5,79E-06	351	3755,68	3755,68	4,57E-05
212	3648,00	3647,99	1,48E-04	282	4367,24	4367,24	-2,13E-05	352	5417,67	5417,67	3,52E-05
213	4201,03	4201,03	6,08E-05	283	4867,84	4867,84	-6,95E-05	353	4716,50	4716,50	3,50E-05
214	4426,32	4426,32	-3,32E-05	284	4145,98	4145,98	3,24E-05	354	2398,79	2398,79	-1,36E-05
215	2586,78	2586,78	2,68E-05	285	2956,49	2956,49	-1,16E-04	355	4113,22	4113,22	3,04E-05
216	4229,45	4229,46	-4,33E-05	286	3201,06	3201,06	5,63E-05	356	3634,79	3634,80	-8,44E-05
217	3989,49	3989,49	-8,18E-05	287	5250,40	5250,40	-1,67E-05	357	3221,13	3221,13	-3,81E-05
218	4755,86	4755,87	-5,93E-05	288	5389,95	5389,96	-7,96E-05	358	3367,05	3367,05	-3,04E-05
219	4642,10	4642,10	7,77E-05	289	4823,31	4823,31	1,77E-05	359	3208,65	3208,65	2,16E-06
220	4479,30	4479,30	4,72E-05	290	2569,17	2569,17	2,53E-06	360	5462,98	5462,98	-8,12E-06
221	4170,86	4170,87	-7,33E-05	291	4479,40	4479,40	6,42E-05	361	4848,28	4848,28	7,83E-06
222	3734,32	3734,32	-1,99E-05	292	5458,15	5458,15	-1,20E-05	362	5391,92	5391,92	3,93E-05
223	4423,55	4423,55	3,45E-05	293	5686,24	5686,25	-9,17E-05	363	4753,15	4753,15	1,37E-05
224	3881,79	3881,79	-4,87E-05	294	4915,48	4915,47	1,09E-04	364	4435,78	4435,78	3,44E-05
225	1704,21	1704,21	-9,40E-06	295	3223,54	3223,54	-2,44E-05	365	3808,56	3808,56	1,63E-05
226	2625,02	2625,02	3,66E-05	296	3093,57	3093,56	9,53E-05				
227	4633,10	4633,10	5,21E-05	297	3218,06	3218,06	1,22E-05				
228	4302,51	4302,51	3,04E-05	298	4375,88	4375,87	6,72E-05				
229	4611,27	4611,27	2,47E-05	299	3184,95	3184,96	-5,58E-05				
230	4627,14	4627,14	3,79E-05	300	2853,40	2853,40	5,25E-05				
231	3469,92	3469,92	-1,39E-05	301	2374,92	2374,92	-1,41E-05				
232	5223,74	5223,75	-6,01E-05	302	3517,88	3517,88	1,36E-04				
233	2515,45	2515,45	1,99E-05	303	4328,88	4328,89	-1,41E-04				
234	1341,31	1341,31	9,79E-07	304	5311,51	5311,51	-1,00E-06				
235	2203,68	2203,68	-1,46E-04	305	4932,75	4932,75	-2,98E-05				
236	3839,68	3839,68	1,23E-05	306	4123,46	4123,46	-3,83E-05				
237	4671,09	4671,09	6,79E-05	307	4680,41	4680,40	3,08E-05				
238	4716,78	4716,78	2,82E-05	308	5021,23	5021,22	4,89E-05				
239	4258,71	4258,71	1,30E-05	309	4937,74	4937,74	-2,98E-05				
240	2064,07	2064,07	-4,27E-05	310	3826,62	3826,62	4,64E-05				
241	2119,81	2119,81	1,21E-05	311	3057,43	3057,43	2,11E-06				
242	4655,85	4655,85	-6,02E-05	312	2967,60	2967,60	-1,33E-06				
243	2148,17	2148,17	2,41E-05	313	3743,09	3743,09	8,91E-07				
244	3747,24	3747,24	1,02E-04	314	4544,51	4544,52	-4,02E-05				
245	1749,01	1749,01	-5,77E-06	315	4575,84	4575,84	-4,13E-05				
246	4023,53	4023,53	-1,51E-05	316	4855,01	4855,01	-2,26E-05				
247	4277,29	4277,29	1,04E-04	317	2391,19	2391,19	1,94E-06				
248	4941,87	4941,86	1,22E-04	318	4732,38	4732,38	1,72E-05				
249	4956,97	4956,97	2,47E-06	319	5084,64	5084,63	1,04E-04				
250	879,20	879,20	3,74E-05	320	3463,77	3463,77	-1,45E-05				
251	1109,82	1109,82	1,30E-05	321	4793,79	4793,79	3,53E-05				
252	4724,18	4724,18	2,97E-05	322	5127,84	5127,84	2,87E-05				
253	4154,33	4154,33	-1,59E-05	323	4209,73	4209,73	-1,02E-05				
254	5225,16	5225,16	-1,58E-05	324	3365,63	3365,63	-6,81E-05				
255	5186,68	5186,68	-6,41E-05	325	2845,88	2845,88	-4,38E-05				
256	4481,27	4481,27	7,83E-06	326	4156,73	4156,72	7,45E-05				
257	4664,86	4664,86	-1,63E-05	327	5341,63	5341,63	2,50E-05				
258	4768,68	4768,68	-5,91E-05	328	5404,05	5404,05	4,33E-05				
259	5123,98	5123,98	-6,51E-05	329	5460,92	5460,92	3,41E-05				
260	5055,06	5055,06	9,30E-05	330	4387,17	4387,17	6,25E-05				
261	2606,22	2606,22	2,96E-05	331	3545,83	3545,83	2,27E-05				
262	2826,83	2826,83	-9,88E-06	332	5523,09	5523,09	-2,34E-05				
263	3247,08	3247,08	2,19E-05	333	5515,94	5515,94	2,46E-05				
264	1771,05	1771,05	3,66E-05	334	5599,28	5599,27	8,39E-05				
265	1393,83	1393,83	5,04E-05	335	4779,43	4779,44	-4,01E-05				
266	3011,99	3011,99	-4,29E-05	336	4574,13	4574,13	-4,13E-05				
267	3818,54	3818,55	-8,64E-05	337	4707,40	4707,40	1,05E-05				
268	2618,79	2618,78	1,56E-04	338	5013,59	5013,59	1,76E-05				
269	4834,97	4834,97	-7,51E-05	339	5465,11	5465,11	1,11E-05				
270	5145,67	5145,67	1,80E-05	340	5081,02	5081,02	-5,57E-05				
271	2670,21	2670,21	-4,27E-05	341	5083,71	5083,71	-8,31E-05				
272	2643,66	2643,66	-2,64E-05	342	4682,59	4682,59	-4,16E-05				
273	2528,05	2528,05	-6,50E-05	343	4921,47	4921,48	-9,03E-05				
274	4293,19	4293,19	2,68E-05	344	5105,26	5105,26	-1,49E-05				
275	4006,12	4006,12	-4,41E-05	345	3589,22	3589,22	-1,21E-05				
276	3891,69	3891,69	-7,18E-06	346	4118,93	4118,93	8,53E-05				
277	4593,64	4593,64	1,06E-04	347	4816,38	4816,38	-8,87E-07				
278	4955,95	4955,95	-6,51E-05	348	3601,20	3601,20	-2,18E-05				
279	4864,22	4864,22	7,86E-06	349	4110,80	4110,80	-2,73E-05				
280	1845,72	1845,72	-3,18E-05	350	4701,84	4701,84	5,15E-06				

Tabela 48 – Comparação da temperatura na saída do coletor (média diária - °C) (cont.).

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	4695,34	4695,34	8,06E-05	281	2050,06	2050,06	5,79E-06	351	3755,68	3755,68	4,57E-05
212	3648,00	3647,99	1,48E-04	282	4367,24	4367,24	-2,13E-05	352	5417,67	5417,67	3,52E-05
213	4201,03	4201,03	6,08E-05	283	4867,84	4867,84	-6,95E-05	353	4716,50	4716,50	3,50E-05
214	4426,32	4426,32	-3,32E-05	284	4145,98	4145,98	3,24E-05	354	2398,79	2398,79	-1,36E-05
215	2586,78	2586,78	2,68E-05	285	2956,49	2956,49	-1,16E-04	355	4113,22	4113,22	3,04E-05
216	4229,45	4229,46	-4,33E-05	286	3201,06	3201,06	5,63E-05	356	3634,79	3634,80	-8,44E-05
217	3989,49	3989,49	-8,18E-05	287	5250,40	5250,40	-1,67E-05	357	3221,13	3221,13	-3,81E-05
218	4755,86	4755,87	-5,93E-05	288	5389,95	5389,96	-7,96E-05	358	3367,05	3367,05	-3,04E-05
219	4642,10	4642,10	7,77E-05	289	4823,31	4823,31	1,77E-05	359	3208,65	3208,65	2,16E-06
220	4479,30	4479,30	4,72E-05	290	2569,17	2569,17	2,53E-06	360	5462,98	5462,98	-8,12E-06
221	4170,86	4170,87	-7,33E-05	291	4479,40	4479,40	6,42E-05	361	4848,28	4848,28	7,83E-06
222	3734,32	3734,32	-1,99E-05	292	5458,15	5458,15	-1,20E-05	362	5391,92	5391,92	3,93E-05
223	4423,55	4423,55	3,45E-05	293	5686,24	5686,25	-9,17E-05	363	4753,15	4753,15	1,37E-05
224	3881,79	3881,79	-4,87E-05	294	4915,48	4915,47	1,09E-04	364	4435,78	4435,78	3,44E-05
225	1704,21	1704,21	-9,40E-06	295	3223,54	3223,54	-2,44E-05	365	3808,56	3808,56	1,63E-05
226	2625,02	2625,02	3,66E-05	296	3093,57	3093,56	9,53E-05				
227	4633,10	4633,10	5,21E-05	297	3218,06	3218,06	1,22E-05				
228	4302,51	4302,51	3,04E-05	298	4375,88	4375,87	6,72E-05				
229	4611,27	4611,27	2,47E-05	299	3184,95	3184,96	-5,58E-05				
230	4627,14	4627,14	3,79E-05	300	2853,40	2853,40	5,25E-05				
231	3469,92	3469,92	-1,39E-05	301	2374,92	2374,92	-1,41E-05				
232	5223,74	5223,75	-6,01E-05	302	3517,88	3517,88	1,36E-04				
233	2515,45	2515,45	1,99E-05	303	4328,88	4328,89	-1,41E-04				
234	1341,31	1341,31	9,79E-07	304	5311,51	5311,51	-1,00E-06				
235	2203,68	2203,68	-1,46E-04	305	4932,75	4932,75	-2,98E-05				
236	3839,68	3839,68	1,23E-05	306	4123,46	4123,46	-3,83E-05				
237	4671,09	4671,09	6,79E-05	307	4680,41	4680,40	3,08E-05				
238	4716,78	4716,78	2,82E-05	308	5021,23	5021,22	4,89E-05				
239	4258,71	4258,71	1,30E-05	309	4937,74	4937,74	-2,98E-05				
240	2064,07	2064,07	-4,27E-05	310	3826,62	3826,62	4,64E-05				
241	2119,81	2119,81	1,21E-05	311	3057,43	3057,43	2,11E-06				
242	4655,85	4655,85	-6,02E-05	312	2967,60	2967,60	-1,33E-06				
243	2148,17	2148,17	2,41E-05	313	3743,09	3743,09	8,91E-07				
244	3747,24	3747,24	1,02E-04	314	4544,51	4544,52	-4,02E-05				
245	1749,01	1749,01	-5,77E-06	315	4575,84	4575,84	-4,13E-05				
246	4023,53	4023,53	-1,51E-05	316	4855,01	4855,01	-2,26E-05				
247	4277,29	4277,29	1,04E-04	317	2391,19	2391,19	1,94E-06				
248	4941,87	4941,86	1,22E-04	318	4732,38	4732,38	1,72E-05				
249	4956,97	4956,97	2,47E-06	319	5084,64	5084,63	1,04E-04				
250	879,20	879,20	3,74E-05	320	3463,77	3463,77	-1,45E-05				
251	1109,82	1109,82	1,30E-05	321	4793,79	4793,79	3,53E-05				
252	4724,18	4724,18	2,97E-05	322	5127,84	5127,84	2,87E-05				
253	4154,33	4154,33	-1,59E-05	323	4209,73	4209,73	-1,02E-05				
254	5225,16	5225,16	-1,58E-05	324	3365,63	3365,63	-6,81E-05				
255	5186,68	5186,68	-6,41E-05	325	2845,88	2845,88	-4,38E-05				
256	4481,27	4481,27	7,83E-06	326	4156,73	4156,72	7,45E-05				
257	4664,86	4664,86	-1,63E-05	327	5341,63	5341,63	2,50E-05				
258	4768,68	4768,68	-5,91E-05	328	5404,05	5404,05	4,33E-05				
259	5123,98	5123,98	-6,51E-05	329	5460,92	5460,92	3,41E-05				
260	5055,06	5055,06	9,30E-05	330	4387,17	4387,17	6,25E-05				
261	2606,22	2606,22	2,96E-05	331	3545,83	3545,83	2,27E-05				
262	2826,83	2826,83	-9,88E-06	332	5523,09	5523,09	-2,34E-05				
263	3247,08	3247,08	2,19E-05	333	5515,94	5515,94	2,46E-05				
264	1771,05	1771,05	3,66E-05	334	5599,28	5599,27	8,39E-05				
265	1393,83	1393,83	5,04E-05	335	4779,43	4779,44	-4,01E-05				
266	3011,99	3011,99	-4,29E-05	336	4574,13	4574,13	-4,13E-05				
267	3818,54	3818,55	-8,64E-05	337	4707,40	4707,40	1,05E-05				
268	2618,79	2618,78	1,56E-04	338	5013,59	5013,59	1,76E-05				
269	4834,97	4834,97	-7,51E-05	339	5465,11	5465,11	1,11E-05				
270	5145,67	5145,67	1,80E-05	340	5081,02	5081,02	-5,57E-05				
271	2670,21	2670,21	-4,27E-05	341	5083,71	5083,71	-8,31E-05				
272	2643,66	2643,66	-2,64E-05	342	4682,59	4682,59	-4,16E-05				
273	2528,05	2528,05	-6,50E-05	343	4921,47	4921,48	-9,03E-05				
274	4293,19	4293,19	2,68E-05	344	5105,26	5105,26	-1,49E-05				
275	4006,12	4006,12	-4,41E-05	345	3589,22	3589,22	-1,21E-05				
276	3891,69	3891,69	-7,18E-06	346	4118,93	4118,93	8,53E-05				
277	4593,64	4593,64	1,06E-04	347	4816,38	4816,38	-8,87E-07				
278	4955,95	4955,95	-6,51E-05	348	3601,20	3601,20	-2,18E-05				
279	4864,22	4864,22	7,86E-06	349	4110,80	4110,80	-2,73E-05				
280	1845,72	1845,72	-3,18E-05	350	4701,84	4701,84	5,15E-06				

APÊNDICE C – Validação da Temperatura do Reservatório

Tabela 49 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para o Rio de Janeiro.

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
1	45,1654	43,5582	-3,69	71	52,9984	52,9266	-0,14	141	51,7408	51,6897	-0,10
2	51,1676	51,1306	-0,07	72	52,5342	52,4764	-0,11	142	50,4547	50,4444	-0,02
3	50,4970	50,4820	-0,03	73	52,7412	52,6787	-0,12	143	50,0000	50,0000	0,00
4	50,5452	50,5242	-0,04	74	53,3369	53,2583	-0,15	144	51,0133	50,9796	-0,07
5	52,5712	52,5047	-0,13	75	51,8876	51,8392	-0,09	145	50,1817	50,1754	-0,01
6	52,4148	52,3519	-0,12	76	50,1191	50,1131	-0,01	146	51,3399	51,2962	-0,09
7	52,4917	52,4319	-0,11	77	50,9849	50,9626	-0,04	147	50,7410	50,7180	-0,05
8	51,5673	51,5261	-0,08	78	50,0355	50,0341	0,00	148	51,1101	51,0763	-0,07
9	52,4666	52,4164	-0,10	79	50,0869	50,0842	-0,01	149	51,2712	51,2352	-0,07
10	52,8892	52,8269	-0,12	80	50,0000	50,0000	0,00	150	51,2103	51,1711	-0,08
11	52,2207	52,1581	-0,12	81	50,9364	50,9134	-0,05	151	51,0352	51,0073	-0,05
12	50,9436	50,9185	-0,05	82	51,4485	51,4056	-0,08	152	50,4209	50,4098	-0,02
13	50,1422	50,1414	0,00	83	52,6513	52,5842	-0,13	153	51,0963	51,0644	-0,06
14	52,0008	51,9431	-0,11	84	51,8433	51,7764	-0,13	154	51,0418	51,0077	-0,07
15	51,3328	51,2894	-0,08	85	50,8259	50,8054	-0,04	155	49,9996	49,9996	0,00
16	51,9032	51,8593	-0,08	86	51,0020	50,9740	-0,05	156	49,9990	49,9990	0,00
17	51,9585	51,9127	-0,09	87	50,2379	50,2299	-0,02	157	50,5568	50,5396	-0,03
18	52,3698	52,3094	-0,12	88	51,5639	51,5097	-0,11	158	50,0061	50,0058	0,00
19	52,5244	52,4593	-0,12	89	52,3644	52,2954	-0,13	159	51,3016	51,2612	-0,08
20	52,1784	52,1227	-0,11	90	52,2732	52,2059	-0,13	160	51,0836	51,0528	-0,06
21	51,7674	51,7227	-0,09	91	52,2060	52,1395	-0,13	161	50,5356	50,5182	-0,03
22	51,3811	51,3458	-0,07	92	50,9736	50,9526	-0,04	162	50,5391	50,5192	-0,04
23	52,5729	52,5127	-0,11	93	50,4339	50,4215	-0,02	163	50,1077	50,1042	-0,01
24	52,4410	52,3788	-0,12	94	50,2610	50,2505	-0,02	164	50,7953	50,7769	-0,04
25	52,7228	52,6542	-0,13	95	50,4404	50,4239	-0,03	165	50,8591	50,8308	-0,06
26	51,9877	51,9373	-0,10	96	50,3238	50,3155	-0,02	166	51,0068	50,9771	-0,06
27	50,4771	50,4682	-0,02	97	50,2393	50,2323	-0,01	167	50,9472	50,9163	-0,06
28	51,3383	51,2921	-0,09	98	50,3203	50,3102	-0,02	168	50,6898	50,6684	-0,04
29	52,1888	52,1753	-0,03	99	52,2756	52,2107	-0,12	169	50,9333	50,9048	-0,06
30	50,6601	50,6412	-0,04	100	51,9450	51,8963	-0,09	170	50,2584	50,2483	-0,02
31	50,7566	50,7390	-0,03	101	52,6438	52,5705	-0,14	171	50,0551	50,0538	0,00
32	50,6413	50,6170	-0,05	102	52,7129	52,6463	-0,13	172	50,7400	50,7157	-0,05
33	52,4602	52,4005	-0,11	103	51,8121	51,7652	-0,09	173	50,1512	50,1465	-0,01
34	53,0243	52,9556	-0,13	104	51,3298	51,2944	-0,07	174	50,4263	50,4182	-0,02
35	52,9144	52,8487	-0,12	105	50,1018	50,0973	-0,01	175	50,8852	50,8582	-0,05
36	51,6609	51,6192	-0,08	106	50,1402	50,1350	-0,01	176	50,0055	50,0052	0,00
37	50,3939	50,3834	-0,02	107	50,4941	50,4775	-0,03	177	50,3800	50,3668	-0,03
38	50,9489	50,9507	0,00	108	51,9176	51,8588	-0,11	178	50,9736	50,9442	-0,06
39	51,8226	51,7757	-0,09	109	52,3005	52,2377	-0,12	179	51,0550	51,0241	-0,06
40	50,4291	50,4187	-0,02	110	52,3272	52,2633	-0,12	180	51,2226	51,1859	-0,07
41	51,8653	51,8167	-0,09	111	52,2221	52,1605	-0,12	181	49,9972	49,9972	0,00
42	52,9103	52,8416	-0,13	112	51,8801	51,8276	-0,10	182	50,0099	50,0098	0,00
43	52,6376	52,5748	-0,12	113	51,7945	51,7483	-0,09	183	49,9980	49,9976	0,00
44	52,5195	52,4503	-0,13	114	50,9194	50,8911	-0,06	184	50,0252	50,0240	0,00
45	53,2818	53,2061	-0,14	115	51,3257	51,2859	-0,08	185	51,1819	51,1448	-0,07
46	52,7200	52,6664	-0,10	116	50,9694	50,9415	-0,05	186	50,3122	50,3040	-0,02
47	51,9067	51,8908	-0,03	117	50,6147	50,5990	-0,03	187	50,6395	50,6212	-0,04
48	53,0638	52,9886	-0,14	118	51,1315	51,0924	-0,08	188	50,4398	50,4285	-0,02
49	52,1751	52,1180	-0,11	119	51,4419	51,3967	-0,09	189	49,9948	49,9951	0,00
50	51,7875	51,7382	-0,10	120	52,1258	52,0680	-0,11	190	50,1866	50,1834	-0,01
51	52,8003	52,7364	-0,12	121	52,1745	52,1167	-0,11	191	49,9844	49,9851	0,00
52	53,0084	52,9395	-0,13	122	52,3980	52,3319	-0,13	192	49,9874	49,9879	0,00
53	53,3419	53,2685	-0,14	123	51,3948	51,3520	-0,08	193	50,7144	50,6948	-0,04
54	51,9610	51,9131	-0,09	124	50,0000	50,0000	0,00	194	50,9862	50,9620	-0,05
55	51,7224	51,6744	-0,09	125	50,6468	50,6285	-0,04	195	50,7314	50,7099	-0,04
56	51,8624	51,8158	-0,09	126	51,0247	51,0004	-0,05	196	50,4121	50,4005	-0,02
57	51,2246	51,2018	-0,04	127	50,1568	50,1524	-0,01	197	50,9240	50,8948	-0,06
58	51,1528	51,1224	-0,06	128	50,0070	50,0068	0,00	198	50,8219	50,8113	-0,02
59	50,7874	50,7611	-0,05	129	51,2581	51,2203	-0,07	199	50,1172	50,1136	-0,01
60	53,2095	53,1330	-0,14	130	51,0504	51,0203	-0,06	200	49,9836	49,9843	0,00
61	51,8712	51,8217	-0,10	131	50,3145	50,3035	-0,02	201	51,0960	51,0663	-0,06
62	53,2022	53,1264	-0,14	132	50,0031	50,0026	0,00	202	50,5795	50,5619	-0,03
63	51,4156	51,3771	-0,07	133	50,8749	50,8495	-0,05	203	51,3430	51,3029	-0,08
64	50,0000	50,0000	0,00	134	50,3745	50,3602	-0,03	204	51,4304	51,3915	-0,08
65	51,3846	51,3437	-0,08	135	50,3157	50,3059	-0,02	205	51,3056	51,2665	-0,08
66	51,2820	51,2855	0,01	136	51,4598	51,4214	-0,07	206	51,3621	51,3244	-0,07
67	52,5113	52,4460	-0,12	137	51,7567	51,6999	-0,11	207	51,5524	51,5090	-0,08
68	50,0360	50,0345	0,00	138	51,5270	51,4854	-0,08	208	51,3774	51,3429	-0,07
69	52,3808	52,3188	-0,12	139	50,9863	50,9554	-0,06	209	50,5390	50,5232	-0,03
70	52,8133	52,7505	-0,12	140	51,3746	51,3350	-0,08	210	51,2482	51,2125	-0,07

Tabela 50 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para o Rio de Janeiro (cont.).

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	51,7059	51,6565	-0,10	281	49,9562	49,9580	0,00	351	50,5538	50,5427	-0,02
212	50,6863	50,6662	-0,04	282	51,4774	51,4402	-0,07	352	52,6612	52,5963	-0,12
213	51,2120	51,1788	-0,06	283	51,8761	51,8228	-0,10	353	51,7232	51,6809	-0,08
214	51,4378	51,3966	-0,08	284	50,9359	50,9101	-0,05	354	50,0284	50,0273	0,00
215	50,0093	50,0103	0,00	285	50,1757	50,1714	-0,01	355	51,1130	51,0830	-0,06
216	51,2818	51,2461	-0,07	286	50,4183	50,4110	-0,01	356	50,3755	50,3670	-0,02
217	50,9968	50,9684	-0,06	287	52,5218	52,4614	-0,12	357	50,1478	50,1434	-0,01
218	51,7021	51,6537	-0,09	288	52,4409	52,3817	-0,11	358	50,3338	50,3220	-0,02
219	51,5507	51,5074	-0,08	289	51,7559	51,7160	-0,08	359	50,0965	50,0913	-0,01
220	51,3442	51,3135	-0,06	290	49,9790	49,9795	0,00	360	52,4796	52,4207	-0,11
221	51,1390	51,1074	-0,06	291	51,4523	51,4174	-0,07	361	51,9988	51,9557	-0,08
222	50,8120	50,7933	-0,04	292	52,5041	52,4488	-0,11	362	52,4951	52,4386	-0,11
223	51,1970	51,1673	-0,06	293	52,5923	52,5383	-0,10	363	51,7330	51,6860	-0,09
224	51,1020	51,0685	-0,07	294	51,8716	51,8194	-0,10	364	51,1407	51,1056	-0,07
225	49,9673	49,9686	0,00	295	50,1330	50,1290	-0,01	365	50,6935	50,6754	-0,04
226	50,1845	50,1804	-0,01	296	50,2442	50,2376	-0,01				
227	51,5437	51,4991	-0,09	297	50,1932	50,1932	0,00				
228	51,2463	51,2123	-0,07	298	51,5114	51,4641	-0,09				
229	51,5561	51,5113	-0,09	299	50,2018	50,1971	-0,01				
230	51,6586	51,6144	-0,09	300	50,0917	50,0883	-0,01				
231	50,6013	50,5841	-0,03	301	49,9874	49,9872	0,00				
232	52,1143	52,0628	-0,10	302	50,3589	50,3466	-0,02				
233	50,0396	50,0377	0,00	303	51,1312	51,1055	-0,05				
234	49,9520	49,9539	0,00	304	52,2763	52,2256	-0,10				
235	50,0402	50,0387	0,00	305	52,0123	51,9660	-0,09				
236	50,9010	50,8919	-0,02	306	51,3018	51,2740	-0,05				
237	51,6833	51,6382	-0,09	307	51,7902	51,7440	-0,09				
238	51,5824	51,5411	-0,08	308	51,8488	51,7999	-0,09				
239	50,8666	50,8476	-0,04	309	51,7808	51,7319	-0,09				
240	49,9602	49,9618	0,00	310	50,9479	50,9191	-0,06				
241	49,9549	49,9567	0,00	311	50,2571	50,2509	-0,01				
242	51,6385	51,5939	-0,09	312	50,1508	50,1480	-0,01				
243	49,9598	49,9612	0,00	313	50,4779	50,4679	-0,02				
244	50,8395	50,8172	-0,04	314	51,4745	51,4353	-0,08				
245	49,9448	49,9470	0,00	315	51,6363	51,5911	-0,09				
246	51,0253	51,0014	-0,05	316	51,7410	51,6942	-0,09				
247	51,3815	51,3497	-0,06	317	49,9915	49,9919	0,00				
248	51,9780	51,9323	-0,09	318	51,8334	51,7920	-0,08				
249	52,0239	51,9818	-0,08	319	52,0754	52,0260	-0,10				
250	49,9323	49,9350	0,01	320	50,2895	50,2728	-0,03				
251	49,9394	49,9418	0,00	321	51,5698	51,5300	-0,08				
252	51,9775	51,9368	-0,08	322	52,1349	52,0854	-0,09				
253	51,1525	51,1275	-0,05	323	51,0572	51,0345	-0,04				
254	52,2432	52,1897	-0,10	324	50,1813	50,1779	-0,01				
255	52,2030	52,1534	-0,10	325	50,1675	50,1616	-0,01				
256	51,3794	51,3471	-0,06	326	51,0874	51,0572	-0,06				
257	51,3595	51,3261	-0,07	327	52,4546	52,4280	-0,05				
258	51,7235	51,6775	-0,09	328	52,5238	52,4604	-0,12				
259	52,1594	52,1133	-0,09	329	52,4084	52,3451	-0,12				
260	52,1544	52,1052	-0,09	330	51,2522	51,2273	-0,05				
261	50,0681	50,0687	0,00	331	50,2640	50,2593	-0,01				
262	50,0672	50,0672	0,00	332	52,6070	52,5421	-0,12				
263	50,5736	50,5615	-0,02	333	52,5442	52,4886	-0,11				
264	49,9539	49,9557	0,00	334	52,6292	52,5985	-0,06				
265	49,9423	49,9446	0,00	335	51,8240	51,7737	-0,10				
266	50,3984	50,3895	-0,02	336	51,5475	51,5256	-0,04				
267	50,8566	50,8338	-0,04	337	51,6684	51,6277	-0,08				
268	50,1871	50,1799	-0,01	338	52,1098	52,0545	-0,11				
269	51,8540	51,8069	-0,09	339	52,6067	52,5404	-0,13				
270	52,1203	52,0701	-0,10	340	52,0401	51,9894	-0,10				
271	50,0032	50,0048	0,00	341	52,0801	52,0288	-0,10				
272	50,1842	50,1802	-0,01	342	51,4250	51,3814	-0,08				
273	50,1108	50,1086	0,00	343	52,1506	52,0962	-0,10				
274	51,3501	51,3200	-0,06	344	52,2264	52,1741	-0,10				
275	51,1502	51,1204	-0,06	345	50,5625	50,5508	-0,02				
276	50,7890	50,7779	-0,02	346	51,0411	51,0174	-0,05				
277	51,7013	51,6604	-0,08	347	51,8824	51,8383	-0,08				
278	52,0059	51,9611	-0,09	348	50,4403	50,4249	-0,03				
279	51,7991	51,7473	-0,10	349	50,8240	50,8006	-0,05				
280	49,9666	49,9679	0,00	350	51,7553	51,7083	-0,09				

Tabela 51 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Denver.

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
1	42,6228	39,6868	-7,40	71	52,9134	52,7625	-0,29	141	56,0524	55,8684	-0,33
2	47,8664	47,8459	-0,04	72	53,5837	53,4830	-0,19	142	52,5459	52,4807	-0,12
3	47,5814	47,6793	0,21	73	52,7862	52,7306	-0,11	143	54,9429	54,7518	-0,35
4	48,8569	48,8942	0,08	74	50,8020	50,8518	0,10	144	55,8706	55,8691	0,00
5	49,8256	49,8259	0,00	75	53,4264	53,2802	-0,27	145	55,2143	55,0801	-0,24
6	51,0990	51,0486	-0,10	76	49,6944	49,7825	0,18	146	55,3850	55,3170	-0,12
7	51,2316	51,2008	-0,06	77	48,9550	49,0095	0,11	147	51,6669	51,6509	-0,03
8	50,9391	50,9081	-0,06	78	53,2490	53,0970	-0,29	148	49,6188	49,6415	0,05
9	51,1832	51,1509	-0,06	79	54,1818	54,0876	-0,17	149	50,2260	50,2126	-0,03
10	50,9952	50,9647	-0,06	80	52,2193	52,1971	-0,04	150	53,2925	53,1859	-0,20
11	50,3663	50,3655	0,00	81	48,0173	48,1401	0,26	151	56,9887	56,7920	-0,35
12	51,3555	51,3162	-0,08	82	48,4961	48,5612	0,13	152	53,0422	52,9784	-0,12
13	51,5310	51,4848	-0,09	83	52,3533	52,2457	-0,21	153	55,5570	55,3575	-0,36
14	47,9150	48,0552	0,29	84	48,8895	48,9921	0,21	154	55,6181	55,5500	-0,12
15	49,8950	49,9045	0,02	85	55,3109	55,1036	-0,38	155	53,1748	53,1260	-0,09
16	49,2424	49,2869	0,09	86	54,9725	54,8947	-0,14	156	56,6726	56,4575	-0,38
17	50,6535	50,6288	-0,05	87	51,5010	51,5093	0,02	157	54,2573	54,1404	-0,22
18	51,2611	51,2322	-0,06	88	54,8471	54,8074	-0,07	158	54,4291	54,3072	-0,22
19	47,8544	47,9842	0,27	89	55,1225	55,1706	0,09	159	51,8020	51,7558	-0,09
20	47,4401	47,5529	0,24	90	54,5556	54,4933	-0,11	160	49,2750	49,3227	0,10
21	49,5567	49,5691	0,03	91	52,9756	52,9256	-0,09	161	49,2466	49,2742	0,06
22	50,7926	50,7697	-0,05	92	48,2993	48,4263	0,26	162	55,4254	55,3453	-0,14
23	50,9624	50,9461	-0,03	93	47,9579	48,0403	0,17	163	55,5909	55,4133	-0,32
24	51,4549	51,4136	-0,08	94	50,3796	50,3694	-0,02	164	55,5386	55,3828	-0,28
25	51,6688	51,6183	-0,10	95	53,7830	53,6406	-0,27	165	55,0404	54,8793	-0,29
26	48,1754	48,2990	0,26	96	54,1092	53,9974	-0,21	166	56,8348	56,6253	-0,37
27	47,7793	47,8749	0,20	97	52,2392	52,1974	-0,08	167	49,7288	49,7924	0,13
28	51,5669	51,4981	-0,13	98	54,8928	54,7393	-0,28	168	51,5093	51,4506	-0,11
29	51,0897	51,0849	-0,01	99	50,7517	50,8308	0,16	169	51,2501	51,1837	-0,13
30	49,5914	49,6438	0,11	100	51,3901	51,3865	-0,01	170	55,9123	55,8409	-0,13
31	48,9624	48,9992	0,08	101	48,3363	48,4368	0,21	171	55,9486	55,7958	-0,27
32	51,3919	51,3417	-0,10	102	50,6939	50,6646	-0,06	172	51,0745	51,0683	-0,01
33	52,0218	51,9864	-0,07	103	48,2343	48,3165	0,17	173	55,8215	55,6156	-0,37
34	51,3874	51,3753	-0,02	104	53,5947	53,4287	-0,31	174	54,5795	54,4665	-0,21
35	47,7006	47,8398	0,29	105	54,9264	54,7810	-0,27	175	57,1259	56,9137	-0,37
36	47,2469	47,3641	0,25	106	53,9017	53,8084	-0,17	176	57,5552	57,3751	-0,31
37	50,7978	50,7418	-0,11	107	55,6841	55,6011	-0,15	177	57,1979	56,9838	-0,38
38	51,4900	51,4513	-0,08	108	55,9477	55,7709	-0,32	178	57,4255	57,3484	-0,13
39	47,6917	47,8371	0,30	109	49,6555	49,7417	0,17	179	56,7259	56,5183	-0,37
40	49,4377	49,4267	-0,02	110	52,3771	52,2746	-0,20	180	57,9685	57,7507	-0,38
41	48,3168	48,3994	0,17	111	52,1612	52,1242	-0,07	181	58,1160	57,8987	-0,38
42	51,8066	51,7456	-0,12	112	55,4339	55,3489	-0,15	182	57,5907	57,3894	-0,35
43	49,3929	49,4731	0,16	113	52,0978	52,0727	-0,05	183	56,7968	56,6172	-0,32
44	51,0571	51,0031	-0,11	114	54,9620	54,7994	-0,30	184	53,1205	53,0317	-0,17
45	47,8149	47,9505	0,28	115	55,7360	55,5738	-0,29	185	55,4549	55,2431	-0,38
46	47,4390	47,5501	0,23	116	55,9197	55,7634	-0,28	186	49,5679	49,6131	0,09
47	50,3913	50,3756	-0,03	117	54,8235	54,8448	0,04	187	52,3979	52,2812	-0,22
48	48,0259	47,8633	-0,34	118	52,9684	53,0970	0,24	188	51,4954	51,4786	-0,03
49	51,3740	51,2921	-0,16	119	48,6748	48,8081	0,27	189	56,8166	56,6920	-0,22
50	50,7977	50,7904	-0,01	120	55,0026	54,8817	-0,22	190	57,6246	57,4050	-0,38
51	51,9117	51,8753	-0,07	121	55,1392	54,9771	-0,29	191	56,0055	55,8461	-0,29
52	48,2188	48,3558	0,28	122	55,0580	54,8964	-0,29	192	50,9600	50,9436	-0,03
53	50,9356	50,8837	-0,10	123	55,6053	55,4323	-0,31	193	54,1527	54,0342	-0,22
54	47,8948	48,0140	0,25	124	55,4171	55,2448	-0,31	194	52,8515	52,7596	-0,17
55	53,1147	52,9613	-0,29	125	50,6870	50,7119	0,05	195	56,5690	56,3393	-0,41
56	52,9522	52,8661	-0,16	126	48,7301	48,7889	0,12	196	57,2116	57,0144	-0,35
57	52,5770	52,5377	-0,07	127	51,8193	51,7465	-0,14	197	56,7936	56,5529	-0,43
58	51,0846	51,1204	0,07	128	52,9800	52,8612	-0,22	198	56,0923	55,8852	-0,37
59	52,6378	52,5704	-0,13	129	48,9209	49,0045	0,17	199	56,9426	56,7429	-0,35
60	49,0183	49,1343	0,24	130	50,3018	50,3300	0,06	200	57,9374	57,7134	-0,39
61	49,9794	49,9831	0,01	131	48,8303	48,8838	0,11	201	58,3721	58,1305	-0,42
62	52,2399	52,1752	-0,12	132	53,5805	53,4296	-0,28	202	57,3611	57,1301	-0,40
63	52,4856	52,4382	-0,09	133	49,4534	49,5218	0,14	203	57,3074	57,0647	-0,43
64	47,8234	47,9655	0,30	134	55,8124	55,7626	-0,09	204	57,7332	57,5004	-0,40
65	51,2598	51,1957	-0,13	135	56,5953	56,4676	-0,23	205	56,1747	55,9501	-0,40
66	52,1006	52,0564	-0,08	136	56,3442	56,3832	0,07	206	58,0396	57,8125	-0,39
67	49,6761	49,7422	0,13	137	55,1205	54,9837	-0,25	207	58,8194	58,5825	-0,40
68	52,1321	52,0627	-0,13	138	55,5399	55,3593	-0,33	208	57,7792	57,5310	-0,43
69	50,4965	50,5608	0,13	139	53,4810	53,3862	-0,18	209	55,8577	55,6471	-0,38
70	47,8587	47,9730	0,24	140	56,5213	56,3113	-0,37	210	57,3585	57,1263	-0,41

Tabela 52 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Denver (cont.)

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	56,2682	56,0789	-0,34	281	49,3681	49,4208	0,11	351	51,4855	51,4305	-0,11
212	56,8098	56,5787	-0,41	282	52,0494	51,9388	-0,21	352	49,2116	49,2709	0,12
213	54,4031	54,2348	-0,31	283	52,3699	52,2807	-0,17	353	49,2269	48,8866	-0,70
214	52,2768	52,2013	-0,14	284	55,8555	55,6024	-0,46	354	50,9677	50,9105	-0,11
215	52,3832	52,3988	0,03	285	50,6205	50,6232	0,01	355	51,4629	51,4203	-0,08
216	55,0518	54,9485	-0,19	286	56,1517	55,8812	-0,48	356	48,5971	48,6870	0,18
217	58,0505	57,8158	-0,41	287	56,1320	55,9107	-0,40	357	51,2909	51,2133	-0,15
218	57,4991	57,2618	-0,41	288	56,5602	56,3158	-0,43	358	49,9148	49,9511	0,07
219	54,8702	54,7095	-0,29	289	56,7399	56,4903	-0,44	359	51,0454	50,9805	-0,13
220	49,6854	49,7188	0,07	290	56,6959	56,4480	-0,44	360	49,0290	49,1020	0,15
221	52,0121	51,9195	-0,18	291	54,7858	54,5997	-0,34	361	50,8153	50,7652	-0,10
222	57,5771	57,4666	-0,19	292	56,0820	55,8538	-0,41	362	51,2146	51,1777	-0,07
223	57,3218	57,1954	-0,22	293	54,6252	54,4558	-0,31	363	50,4264	50,4395	0,03
224	50,1034	50,1168	0,03	294	54,8923	54,6825	-0,38	364	49,5567	49,6066	0,10
225	57,9021	57,6529	-0,43	295	53,4359	53,3056	-0,24	365	50,8699	50,8148	-0,11
226	54,3183	54,1584	-0,30	296	54,6916	54,4834	-0,38				
227	58,4479	58,1960	-0,43	297	55,0850	54,8774	-0,38				
228	57,6999	57,4502	-0,43	298	54,1446	54,0026	-0,26				
229	57,5067	57,3946	-0,20	299	51,2541	51,3387	0,16				
230	57,7721	57,5143	-0,45	300	54,4658	54,2480	-0,40				
231	55,3784	55,1963	-0,33	301	53,6979	53,5434	-0,29				
232	53,4876	53,3565	-0,25	302	49,0591	49,1361	0,16				
233	51,9095	51,8399	-0,13	303	53,0182	52,8537	-0,31				
234	56,9669	56,7396	-0,40	304	53,7869	53,6424	-0,27				
235	49,8844	49,9153	0,06	305	49,0543	49,1346	0,16				
236	57,7959	57,6646	-0,23	306	51,0255	50,9621	-0,12				
237	58,2409	57,9947	-0,42	307	51,8630	51,7400	-0,24				
238	58,7162	58,4642	-0,43	308	53,4537	53,2897	-0,31				
239	57,3009	57,0770	-0,39	309	52,8670	52,7349	-0,25				
240	58,0280	57,7633	-0,46	310	53,4848	53,3333	-0,28				
241	57,9912	57,7343	-0,44	311	49,0879	49,1562	0,14				
242	56,7754	56,6782	-0,17	312	51,9140	51,8062	-0,21				
243	53,6555	53,6137	-0,08	313	53,5145	53,3556	-0,30				
244	56,6072	56,4903	-0,21	314	51,6069	51,5439	-0,12				
245	58,2519	58,0066	-0,42	315	53,0555	52,9097	-0,28				
246	57,9851	57,8694	-0,20	316	49,8983	49,9265	0,06				
247	57,4660	57,3615	-0,18	317	48,7325	48,7836	0,10				
248	57,1054	56,8624	-0,43	318	48,7232	48,7832	0,12				
249	57,9652	57,7021	-0,46	319	52,6250	52,4711	-0,29				
250	57,6444	57,5184	-0,22	320	49,4943	49,5453	0,10				
251	52,8911	52,7528	-0,26	321	52,8093	52,6589	-0,29				
252	54,7118	54,5176	-0,36	322	51,8738	51,7990	-0,14				
253	53,0687	52,9631	-0,20	323	52,0669	51,9746	-0,18				
254	56,0015	55,7758	-0,40	324	52,2549	52,1578	-0,19				
255	56,6114	56,3829	-0,41	325	51,7342	51,6585	-0,15				
256	57,8283	57,5631	-0,46	326	50,0403	50,0581	0,04				
257	51,8029	51,7472	-0,11	327	51,0846	51,0107	-0,14				
258	49,7800	49,8025	0,05	328	48,7402	48,8083	0,14				
259	56,7808	56,5138	-0,47	329	52,9113	52,7488	-0,31				
260	57,7254	57,5965	-0,22	330	48,7236	48,8265	0,21				
261	57,1349	56,8938	-0,42	331	49,4190	48,9006	-1,06				
262	49,5365	49,5936	0,12	332	51,6387	51,5142	-0,24				
263	56,5274	56,2528	-0,49	333	50,4511	50,4376	-0,03				
264	55,2891	55,1101	-0,32	334	51,2207	51,1500	-0,14				
265	57,3948	57,1480	-0,43	335	48,5224	48,6149	0,19				
266	56,7165	56,4733	-0,43	336	48,4545	48,5167	0,13				
267	56,8106	56,5695	-0,43	337	49,6279	49,6305	0,01				
268	56,8620	56,6188	-0,43	338	50,1975	50,1702	-0,05				
269	49,4747	49,5410	0,13	339	50,6495	50,5979	-0,10				
270	56,1993	55,9256	-0,49	340	48,6156	48,7050	0,18				
271	57,1429	56,8880	-0,45	341	48,1527	48,2377	0,18				
272	55,6799	55,4727	-0,37	342	49,0022	49,0123	0,02				
273	56,8751	56,6310	-0,43	343	51,0397	50,9541	-0,17				
274	50,0019	50,0507	0,10	344	50,8334	50,8060	-0,05				
275	56,2196	55,9399	-0,50	345	50,5932	50,5730	-0,04				
276	56,3862	56,1507	-0,42	346	50,1409	50,1376	-0,01				
277	57,0147	56,7580	-0,45	347	48,5320	48,6017	0,14				
278	57,0545	56,7963	-0,45	348	50,2297	50,1962	-0,07				
279	57,0680	56,8095	-0,46	349	49,3101	49,3498	0,08				
280	52,8777	52,7734	-0,20	350	50,6536	50,6117	-0,08				

Tabela 53 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Istambul.

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
1	49,5860	47,6336	-4,10	71	50,0000	50,0000	0,00	141	55,5866	55,3528	-0,42
2	50,0000	50,0000	0,00	72	51,6617	51,5916	-0,14	142	57,2698	56,9896	-0,49
3	50,0000	50,0000	0,00	73	53,1769	53,0245	-0,29	143	53,2838	53,1465	-0,26
4	51,6469	51,5651	-0,16	74	50,0000	50,0000	0,00	144	50,7089	50,6752	-0,07
5	51,7565	51,6675	-0,17	75	50,0000	50,0000	0,00	145	54,0134	53,8205	-0,36
6	50,0000	50,0000	0,00	76	50,0000	50,0000	0,00	146	50,0000	50,0000	0,00
7	50,0000	50,0000	0,00	77	50,0000	50,0000	0,00	147	50,0000	50,0000	0,00
8	50,0000	50,0000	0,00	78	50,0000	50,0000	0,00	148	51,9557	51,8550	-0,19
9	50,0000	50,0000	0,00	79	50,0000	50,0000	0,00	149	50,4776	50,4810	0,01
10	50,0000	50,0000	0,00	80	50,0000	50,0000	0,00	150	50,0004	50,0003	0,00
11	50,0000	50,0000	0,00	81	50,0000	50,0000	0,00	151	50,0776	50,0736	-0,01
12	50,7878	50,7424	-0,09	82	52,5114	52,3957	-0,22	152	50,8852	50,8373	-0,09
13	51,8687	51,7735	-0,18	83	50,0000	50,0000	0,00	153	52,9931	52,8487	-0,27
14	50,0000	50,0000	0,00	84	50,1705	50,1624	-0,02	154	54,7251	54,5215	-0,37
15	50,0000	50,0000	0,00	85	54,3820	54,2080	-0,32	155	53,7534	53,5663	-0,35
16	50,0000	50,0000	0,00	86	51,3386	51,2712	-0,13	156	51,4380	51,3569	-0,16
17	50,1254	50,1214	-0,01	87	50,0150	50,0136	0,00	157	53,6447	53,4653	-0,34
18	50,0000	50,0000	0,00	88	50,0000	50,0000	0,00	158	53,4803	53,3270	-0,29
19	50,0000	50,0000	0,00	89	50,2931	50,2791	-0,03	159	56,4945	56,2299	-0,47
20	50,0000	50,0000	0,00	90	50,7273	50,6924	-0,07	160	50,9827	50,9175	-0,13
21	50,0000	50,0000	0,00	91	50,0000	50,0000	0,00	161	55,7101	55,4702	-0,43
22	50,0000	50,0000	0,00	92	50,0000	50,0000	0,00	162	56,8573	56,5882	-0,48
23	50,0000	50,0000	0,00	93	51,5086	51,4414	-0,13	163	55,5404	55,3061	-0,42
24	50,0000	50,0000	0,00	94	53,6907	53,5419	-0,28	164	57,3669	57,0735	-0,51
25	50,0000	50,0000	0,00	95	54,8048	54,6101	-0,36	165	57,4506	57,1581	-0,51
26	51,9523	51,8581	-0,18	96	55,2052	54,9932	-0,39	166	52,9257	52,7919	-0,25
27	51,9939	51,8960	-0,19	97	50,1395	50,1324	-0,01	167	53,4752	53,3040	-0,32
28	50,0000	50,0000	0,00	98	50,7843	50,7438	-0,08	168	50,6824	50,6359	-0,09
29	50,0000	50,0000	0,00	99	54,9752	54,7464	-0,42	169	51,1618	51,0993	-0,12
30	50,0000	50,0000	0,00	100	50,2412	50,2301	-0,02	170	50,5673	50,5366	-0,06
31	50,0000	50,0000	0,00	101	52,8148	52,6952	-0,23	171	56,6385	56,3659	-0,48
32	50,0000	50,0000	0,00	102	50,6905	50,6576	-0,07	172	57,4432	57,1412	-0,53
33	50,6112	50,5816	-0,06	103	50,0000	50,0000	0,00	173	56,3040	56,0436	-0,46
34	50,0000	50,0000	0,00	104	50,6700	50,6446	-0,05	174	57,5819	57,2753	-0,54
35	50,0000	50,0000	0,00	105	50,0000	50,0000	0,00	175	57,7125	57,4071	-0,53
36	50,0000	50,0000	0,00	106	50,2893	50,2750	-0,03	176	54,1630	53,9953	-0,31
37	50,0000	50,0000	0,00	107	50,0000	50,0000	0,00	177	54,5872	54,3877	-0,37
38	50,0397	50,0376	0,00	108	50,0000	50,0000	0,00	178	52,4724	52,3421	-0,25
39	50,0857	50,0829	-0,01	109	50,4719	50,4480	-0,05	179	56,4572	56,1873	-0,48
40	50,0727	50,0702	-0,01	110	50,2481	50,2345	-0,03	180	53,7166	53,5295	-0,35
41	51,3927	51,3175	-0,15	111	50,0000	50,0000	0,00	181	55,7972	55,5476	-0,45
42	50,0000	50,0000	0,00	112	50,0000	50,0000	0,00	182	57,7788	57,4587	-0,56
43	50,0000	50,0000	0,00	113	51,6873	51,6133	-0,14	183	57,7196	57,4088	-0,54
44	50,6485	50,6164	-0,06	114	55,5860	55,3563	-0,41	184	57,5085	57,1978	-0,54
45	51,6790	51,5977	-0,16	115	51,6753	51,5852	-0,17	185	58,0892	57,7750	-0,54
46	50,0000	50,0000	0,00	116	53,0347	52,8920	-0,27	186	56,0864	55,8239	-0,47
47	50,0000	50,0000	0,00	117	52,8240	52,6918	-0,25	187	57,9828	57,6670	-0,55
48	50,0000	50,0000	0,00	118	54,5812	54,3666	-0,39	188	56,8587	56,5781	-0,50
49	50,0000	50,0000	0,00	119	51,0971	51,0432	-0,11	189	51,6253	51,5494	-0,15
50	50,0000	50,0000	0,00	120	50,4232	50,4043	-0,04	190	50,0948	50,0894	-0,01
51	50,0069	50,0073	0,00	121	50,0000	50,0000	0,00	191	52,2206	52,1016	-0,23
52	50,0000	50,0000	0,00	122	50,0000	50,0000	0,00	192	51,3722	51,2992	-0,14
53	50,0000	50,0000	0,00	123	50,0000	50,0000	0,00	193	53,2700	53,1147	-0,29
54	50,0000	50,0000	0,00	124	55,3096	55,1113	-0,36	194	57,3015	56,9994	-0,53
55	50,0000	50,0000	0,00	125	53,6789	53,5155	-0,31	195	53,4649	53,2973	-0,31
56	50,0000	50,0000	0,00	126	53,4849	53,3412	-0,27	196	54,3448	54,2751	-0,13
57	50,2810	50,2677	-0,03	127	51,0397	51,0386	0,00	197	55,7418	55,5020	-0,43
58	52,2095	52,1085	-0,19	128	51,4114	51,3373	-0,14	198	55,5936	55,3469	-0,45
59	50,0000	50,0000	0,00	129	54,0273	53,8531	-0,32	199	57,7982	57,4857	-0,54
60	50,1169	50,1121	-0,01	130	56,8970	56,6152	-0,50	200	54,2725	54,0647	-0,38
61	52,3495	52,3196	-0,06	131	52,3623	52,2468	-0,22	201	55,9267	55,6781	-0,45
62	50,0000	50,0000	0,00	132	53,8219	53,6427	-0,33	202	54,0213	53,8486	-0,32
63	51,0178	50,9753	-0,08	133	56,3616	56,1033	-0,46	203	52,2358	52,2127	-0,04
64	50,0000	50,0000	0,00	134	55,9092	55,6644	-0,44	204	58,3281	57,9978	-0,57
65	50,0000	50,0000	0,00	135	51,8441	51,7617	-0,16	205	58,4359	58,0988	-0,58
66	50,0000	50,0000	0,00	136	50,3026	50,2882	-0,03	206	58,1918	57,8531	-0,59
67	50,0000	50,0000	0,00	137	53,1782	53,0295	-0,28	207	56,3451	56,0784	-0,48
68	50,0000	50,0000	0,00	138	55,2609	55,0397	-0,40	208	54,2095	54,1348	-0,14
69	50,0000	50,0000	0,00	139	54,0022	53,8197	-0,34	209	50,2429	50,2228	-0,04
70	50,0000	50,0000	0,00	140	53,2643	53,1241	-0,26	210	54,8742	54,7724	-0,19

Tabela 54 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Istambul (cont.)

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	58,2496	57,9171	-0,57	281	54,9291	54,6768	-0,46	351	50,0000	50,0000	0,00
212	58,2678	57,9258	-0,59	282	52,3295	52,1888	-0,27	352	51,6028	51,5138	-0,17
213	58,1162	57,7910	-0,56	283	50,1601	50,1504	-0,02	353	50,0000	50,0000	0,00
214	57,1273	56,8171	-0,55	284	52,9770	52,8208	-0,30	354	50,0000	50,0000	0,00
215	55,3217	55,0831	-0,43	285	50,5432	50,5073	-0,07	355	50,0000	50,0000	0,00
216	55,3405	55,1144	-0,41	286	50,0000	50,0000	0,00	356	50,0000	50,0000	0,00
217	54,4805	54,2738	-0,38	287	53,9413	53,7311	-0,39	357	50,0000	50,0000	0,00
218	52,8560	52,7095	-0,28	288	53,5240	53,3209	-0,38	358	50,0000	50,0000	0,00
219	55,4485	55,2130	-0,43	289	51,3017	51,2349	-0,13	359	50,0000	50,0000	0,00
220	55,5944	55,3576	-0,43	290	50,0000	50,0000	0,00	360	50,0000	50,0000	0,00
221	58,5829	58,2355	-0,60	291	51,9333	51,8075	-0,24	361	50,0000	50,0000	0,00
222	56,6895	56,4072	-0,50	292	53,1709	53,0043	-0,31	362	50,0000	50,0000	0,00
223	52,6337	52,4857	-0,28	293	50,0000	50,0000	0,00	363	50,0000	50,0000	0,00
224	50,0034	50,0026	0,00	294	53,4956	53,3054	-0,36	364	50,0000	50,0000	0,00
225	54,5799	54,3633	-0,40	295	53,6911	53,4941	-0,37	365	50,0000	50,0000	0,00
226	53,7164	53,5429	-0,32	296	54,3686	54,1342	-0,43				
227	53,1918	53,0328	-0,30	297	54,3853	54,1504	-0,43				
228	54,4928	54,2860	-0,38	298	51,5153	51,4140	-0,20				
229	54,5083	54,2936	-0,40	299	50,0158	50,0141	0,00				
230	54,1758	53,9697	-0,38	300	50,0000	50,0000	0,00				
231	55,1936	54,9653	-0,42	301	52,5729	52,4075	-0,32				
232	54,8132	54,5845	-0,42	302	50,0000	50,0000	0,00				
233	55,6319	55,3859	-0,44	303	50,0058	50,0058	0,00				
234	58,2208	57,8792	-0,59	304	51,0940	51,0202	-0,14				
235	58,6220	58,2695	-0,60	305	53,7459	53,5336	-0,40				
236	57,9758	57,6410	-0,58	306	50,0000	50,0000	0,00				
237	57,6025	57,2814	-0,56	307	51,8963	51,7833	-0,22				
238	58,5101	58,1618	-0,60	308	51,5598	51,4580	-0,20				
239	54,4742	54,2638	-0,39	309	50,0000	50,0000	0,00				
240	58,5722	58,2227	-0,60	310	50,3359	50,3480	0,02				
241	58,7294	58,3759	-0,61	311	50,0128	50,0115	0,00				
242	50,0113	50,0097	0,00	312	51,3862	51,2862	-0,20				
243	51,0353	50,9715	-0,13	313	50,0000	50,0000	0,00				
244	51,9940	51,8897	-0,20	314	50,0000	50,0000	0,00				
245	50,0000	50,0000	0,00	315	51,1099	51,0294	-0,16				
246	51,4076	51,3261	-0,16	316	52,2507	52,1100	-0,27				
247	50,7335	50,6885	-0,09	317	50,0000	50,0000	0,00				
248	54,3393	54,1355	-0,38	318	50,0000	50,0000	0,00				
249	53,8039	53,6261	-0,33	319	50,3729	50,3455	-0,05				
250	57,1576	56,8375	-0,56	320	52,0786	51,9508	-0,25				
251	56,3383	56,0604	-0,50	321	50,0059	50,0048	0,00				
252	51,3012	51,2252	-0,15	322	50,0040	50,0026	0,00				
253	52,2597	52,1331	-0,24	323	50,0000	50,0000	0,00				
254	58,4404	58,0835	-0,61	324	50,0000	50,0000	0,00				
255	58,7444	58,3857	-0,61	325	50,0000	50,0000	0,00				
256	52,4211	52,2967	-0,24	326	50,0000	50,0000	0,00				
257	56,6139	56,3157	-0,53	327	50,0000	50,0000	0,00				
258	58,8501	58,4869	-0,62	328	50,0000	50,0000	0,00				
259	58,5544	58,1959	-0,62	329	50,0051	50,0033	0,00				
260	57,2093	56,9009	-0,54	330	50,0000	50,0000	0,00				
261	58,1716	57,8236	-0,60	331	50,0000	50,0000	0,00				
262	53,8776	53,6698	-0,39	332	50,2707	50,2539	-0,03				
263	50,1462	50,1348	-0,02	333	50,0000	50,0000	0,00				
264	50,5147	50,4816	-0,07	334	50,0000	50,0000	0,00				
265	50,0083	50,0071	0,00	335	50,0000	50,0000	0,00				
266	57,0285	56,7152	-0,55	336	50,0000	50,0000	0,00				
267	57,9834	57,6500	-0,58	337	50,0000	50,0000	0,00				
268	56,6327	56,3431	-0,51	338	50,0000	50,0000	0,00				
269	56,0229	55,7320	-0,52	339	50,0000	50,0000	0,00				
270	56,9717	56,6687	-0,53	340	50,0000	50,0000	0,00				
271	50,8720	50,8229	-0,10	341	50,0000	50,0000	0,00				
272	52,3713	52,2404	-0,25	342	50,0000	50,0000	0,00				
273	53,7722	53,5611	-0,39	343	50,0000	50,0000	0,00				
274	51,7464	51,6404	-0,21	344	50,0000	50,0000	0,00				
275	50,7553	50,7065	-0,10	345	50,0000	50,0000	0,00				
276	51,1560	51,0859	-0,14	346	50,0000	50,0000	0,00				
277	50,0000	50,0000	0,00	347	50,2551	50,2394	-0,03				
278	50,0000	50,0000	0,00	348	51,8427	51,7280	-0,22				
279	50,0000	50,0000	0,00	349	50,0000	50,0000	0,00				
280	53,4645	53,2718	-0,36	350	50,0000	50,0000	0,00				

Tabela 55 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Sidney.

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
1	55,8554	54,2288	-3,00	71	50,3396	50,3411	0,00	141	50,0000	50,0000	0,00
2	60,5090	60,3792	-0,21	72	55,4281	55,3427	-0,15	142	52,6605	52,6000	-0,12
3	50,6576	50,6310	-0,05	73	54,3257	54,2564	-0,13	143	52,7303	52,6516	-0,15
4	55,0795	55,0130	-0,12	74	59,2237	59,0974	-0,21	144	50,0000	50,0000	0,00
5	55,2050	55,0716	-0,24	75	50,0000	50,0000	0,00	145	51,5131	51,4749	-0,07
6	56,3190	56,1914	-0,23	76	56,5430	56,4427	-0,18	146	50,4369	50,4278	-0,02
7	58,2076	58,1154	-0,16	77	50,3142	50,3012	-0,03	147	52,4000	52,3543	-0,09
8	53,6861	53,6469	-0,07	78	53,0082	52,9575	-0,10	148	52,9376	52,8896	-0,09
9	59,5897	59,4736	-0,20	79	55,4056	55,3042	-0,18	149	50,1097	50,1053	-0,01
10	59,5412	59,4531	-0,15	80	57,2742	57,1261	-0,26	150	50,0000	50,0000	0,00
11	60,5111	60,3810	-0,22	81	57,4494	57,3465	-0,18	151	50,0000	50,0000	0,00
12	61,4776	61,3299	-0,24	82	50,0000	50,0137	0,03	152	52,8714	52,8187	-0,10
13	56,6748	56,5756	-0,18	83	58,0575	57,9636	-0,16	153	51,9724	51,9363	-0,07
14	57,9228	57,8218	-0,17	84	53,0695	52,9908	-0,15	154	52,1697	52,1344	-0,07
15	55,2073	55,1239	-0,15	85	55,9342	55,8302	-0,19	155	50,0000	50,0000	0,00
16	50,0000	50,0000	0,00	86	57,5215	57,4197	-0,18	156	50,0000	50,0000	0,00
17	50,4474	50,4313	-0,03	87	58,4145	58,2966	-0,20	157	50,0000	50,0000	0,00
18	50,8752	50,8616	-0,03	88	50,0993	50,0985	0,00	158	50,0000	50,0000	0,00
19	60,0134	59,9023	-0,19	89	50,4603	50,4718	0,02	159	50,0000	50,0000	0,00
20	55,1070	55,2929	0,34	90	50,0000	50,0000	0,00	160	50,1785	50,1820	0,01
21	54,7916	54,7120	-0,15	91	56,9910	56,8366	-0,27	161	52,4326	52,3935	-0,07
22	52,3021	52,2724	-0,06	92	53,1991	53,5012	0,56	162	52,4656	52,4252	-0,08
23	50,3162	50,3047	-0,02	93	55,8175	55,6903	-0,23	163	52,5327	52,4880	-0,09
24	55,0402	54,9489	-0,17	94	55,6481	55,6123	-0,06	164	50,0000	50,0000	0,00
25	57,2958	57,2084	-0,15	95	56,9991	56,8316	-0,29	165	50,0000	50,0000	0,00
26	53,5389	53,4530	-0,16	96	53,4459	53,4368	-0,02	166	52,5561	52,5117	-0,08
27	57,9473	57,8298	-0,20	97	50,2833	50,2977	0,03	167	50,0956	50,1002	0,01
28	53,8139	53,7934	-0,04	98	56,1350	55,9813	-0,27	168	51,5859	51,5614	-0,05
29	59,1785	59,0764	-0,17	99	50,2491	50,2434	-0,01	169	52,2739	52,2164	-0,11
30	60,1825	60,0717	-0,18	100	50,0090	50,0089	0,00	170	52,2233	52,1652	-0,11
31	50,3726	50,3566	-0,03	101	56,5620	56,4259	-0,24	171	50,1961	50,2018	0,01
32	59,7123	59,9668	0,42	102	56,7346	56,5919	-0,25	172	52,1802	52,1551	-0,05
33	60,5291	60,4175	-0,18	103	56,5013	56,3678	-0,24	173	50,0000	50,0000	0,00
34	55,8223	55,6967	-0,23	104	53,2363	53,4612	0,42	174	50,0000	50,0000	0,00
35	53,1408	53,0450	-0,18	105	50,0000	50,0000	0,00	175	51,7304	51,7133	-0,03
36	51,4879	51,4403	-0,09	106	50,0000	50,0000	0,00	176	52,5313	52,4969	-0,07
37	58,7310	58,6115	-0,20	107	50,6163	50,6011	-0,03	177	52,1741	52,1179	-0,11
38	59,9215	59,8226	-0,17	108	50,0000	50,0000	0,00	178	50,9787	50,9733	-0,01
39	56,7598	56,6589	-0,18	109	53,7506	53,6508	-0,19	179	50,0000	50,0000	0,00
40	53,6292	53,5593	-0,13	110	56,1366	55,9944	-0,25	180	51,3839	51,3485	-0,07
41	53,5517	53,4573	-0,18	111	55,3368	55,2038	-0,24	181	50,0000	50,0000	0,00
42	50,0000	50,0000	0,00	112	50,6969	50,6749	-0,04	182	50,0000	50,0000	0,00
43	58,3017	58,1781	-0,21	113	51,9588	52,1640	0,39	183	50,0000	50,0000	0,00
44	59,5266	59,4111	-0,19	114	50,0000	50,0000	0,00	184	52,9415	52,8872	-0,10
45	50,2063	50,2032	-0,01	115	54,9786	54,8524	-0,23	185	51,6327	51,5936	-0,08
46	50,0000	50,0022	0,00	116	55,5551	55,4159	-0,25	186	51,8089	51,7879	-0,04
47	50,4507	50,4381	-0,02	117	56,0172	55,8705	-0,26	187	52,5535	52,5237	-0,06
48	58,4020	58,2876	-0,20	118	51,6808	51,6268	-0,10	188	50,4264	50,4207	-0,01
49	56,8668	56,7680	-0,17	119	54,0282	53,9207	-0,20	189	50,0047	50,0055	0,00
50	59,8130	59,7000	-0,19	120	50,0000	50,0011	0,00	190	52,4444	52,4177	-0,05
51	54,4405	54,6306	0,35	121	51,3261	51,2906	-0,07	191	52,5030	52,4770	-0,05
52	50,0000	50,0004	0,00	122	51,1452	51,1189	-0,05	192	52,5845	52,5504	-0,06
53	59,0563	58,9417	-0,19	123	50,6424	50,6328	-0,02	193	52,5182	52,4882	-0,06
54	50,3878	50,3766	-0,02	124	54,6446	54,5158	-0,24	194	50,0000	50,0000	0,00
55	53,7436	53,6641	-0,15	125	54,3891	54,2968	-0,17	195	52,3452	52,3045	-0,08
56	57,9089	57,7571	-0,26	126	54,2622	54,1641	-0,18	196	51,2635	51,2517	-0,02
57	50,6067	50,6020	-0,01	127	50,0000	50,0000	0,00	197	51,3697	51,3411	-0,06
58	55,5638	55,4317	-0,24	128	54,3385	54,2277	-0,20	198	53,3748	53,3111	-0,12
59	58,5152	58,3456	-0,29	129	54,2668	54,1702	-0,18	199	53,1155	53,0531	-0,12
60	58,2159	58,4228	0,35	130	54,2201	54,1160	-0,19	200	52,9986	52,9419	-0,11
61	53,6100	53,5240	-0,16	131	53,1663	53,0675	-0,19	201	52,7568	52,7190	-0,07
62	59,9142	59,7986	-0,19	132	51,8980	51,8340	-0,12	202	50,0375	50,0408	0,01
63	59,9747	59,8577	-0,20	133	50,0000	50,0000	0,00	203	50,0098	50,0097	0,00
64	57,9739	57,8548	-0,21	134	50,0000	50,0000	0,00	204	50,0000	50,0000	0,00
65	50,2001	50,1941	-0,01	135	53,2432	53,1410	-0,19	205	50,0000	50,0000	0,00
66	51,4532	51,5277	0,14	136	50,1936	50,1915	0,00	206	50,2067	50,2064	0,00
67	56,2352	56,1439	-0,16	137	53,7208	53,6415	-0,15	207	52,9045	52,8589	-0,09
68	59,7567	59,6427	-0,19	138	50,0751	50,0760	0,00	208	50,0000	50,0005	0,00
69	59,4196	59,3023	-0,20	139	50,0000	50,0000	0,00	209	50,0000	50,0000	0,00
70	51,0546	51,2006	0,29	140	50,0000	50,0000	0,00	210	53,2260	53,1559	-0,13

Tabela 56 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para Sidney (cont.)

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	53,2390	53,1744	-0,12	281	54,9822	54,9183	-0,12	351	57,6904	57,6040	-0,15
212	52,2232	52,2396	0,03	282	50,6724	50,8577	0,36	352	53,3478	53,2628	-0,16
213	53,5500	53,4867	-0,12	283	50,1258	50,1254	0,00	353	59,1533	59,0486	-0,18
214	53,6578	53,5998	-0,11	284	50,2193	50,2128	-0,01	354	58,7543	58,6503	-0,18
215	50,1693	50,1687	0,00	285	57,4334	57,3204	-0,20	355	62,0604	61,9354	-0,20
216	53,9882	53,9239	-0,12	286	58,6270	58,4937	-0,23	356	50,0000	50,0172	0,03
217	54,1590	54,0825	-0,14	287	57,3928	57,2916	-0,18	357	50,2763	50,1119	-0,33
218	53,4780	53,4288	-0,09	288	55,4312	55,3663	-0,12	358	50,0000	50,0000	0,00
219	53,8567	53,7910	-0,12	289	56,5941	56,5034	-0,16	359	50,0000	50,0000	0,00
220	52,3538	52,3199	-0,06	290	58,1334	57,9949	-0,24	360	50,3209	50,1272	-0,39
221	52,3918	52,3691	-0,04	291	55,3275	55,2431	-0,15	361	60,1562	60,0460	-0,18
222	53,5985	53,5379	-0,11	292	50,0000	50,0000	0,00	362	59,7025	59,5904	-0,19
223	53,7519	53,6885	-0,12	293	57,1153	57,0223	-0,16	363	52,9159	52,8903	-0,05
224	50,0000	50,0000	0,00	294	57,0337	56,9407	-0,16	364	57,1107	57,0348	-0,13
225	50,0959	50,1003	0,01	295	53,5811	53,5279	-0,10	365	59,6363	59,5111	-0,21
226	53,8468	53,7800	-0,12	296	55,7903	55,7247	-0,12				
227	52,7936	52,7511	-0,08	297	58,4579	58,3250	-0,23				
228	54,9346	54,8531	-0,15	298	53,2993	53,2868	-0,02				
229	55,3955	55,3034	-0,17	299	57,7837	57,6437	-0,24				
230	50,5750	50,7000	0,25	300	52,2581	52,2440	-0,03				
231	54,6600	54,5854	-0,14	301	57,1333	57,0184	-0,20				
232	53,8081	53,7484	-0,11	302	52,4511	52,4180	-0,06				
233	53,3680	53,3268	-0,08	303	50,0639	50,0686	0,01				
234	50,0000	50,0000	0,00	304	53,5157	53,5878	0,13				
235	50,0000	50,0000	0,00	305	50,0000	50,0000	0,00				
236	50,0000	50,0000	0,00	306	56,1476	56,0805	-0,12				
237	54,5326	54,4580	-0,14	307	55,2728	55,2151	-0,10				
238	51,2305	51,2960	0,13	308	58,2191	58,0803	-0,24				
239	51,6288	51,5983	-0,06	309	55,0595	55,2952	0,43				
240	50,7262	50,7241	0,00	310	57,3747	57,2615	-0,20				
241	54,9262	54,8528	-0,13	311	57,7421	57,9385	0,34				
242	55,1262	55,0453	-0,15	312	50,7003	50,6780	-0,04				
243	55,1644	55,0835	-0,15	313	58,5764	58,7878	0,36				
244	50,3298	50,4723	0,28	314	57,2169	57,1105	-0,19				
245	54,4013	54,3275	-0,14	315	50,0000	50,0000	0,00				
246	54,4846	54,4121	-0,13	316	58,1599	58,0275	-0,23				
247	50,0000	50,0000	0,00	317	57,6813	57,5565	-0,22				
248	53,1685	53,1287	-0,07	318	52,1204	52,0456	-0,14				
249	50,1237	50,1243	0,00	319	51,0325	51,0049	-0,05				
250	51,2770	51,2509	-0,05	320	55,9284	55,8230	-0,19				
251	55,5517	55,4547	-0,17	321	57,5131	57,3843	-0,22				
252	50,0000	50,0000	0,00	322	53,1280	53,0673	-0,11				
253	54,8404	54,7667	-0,13	323	55,5570	55,4544	-0,19				
254	55,2386	55,1534	-0,15	324	55,3397	55,2424	-0,18				
255	50,0000	50,0009	0,00	325	53,7932	53,7131	-0,15				
256	50,0000	50,0000	0,00	326	56,8744	56,7247	-0,26				
257	52,9683	52,8996	-0,13	327	51,8815	52,0463	0,32				
258	50,7568	51,0557	0,59	328	56,5439	56,4247	-0,21				
259	55,2225	55,1724	-0,09	329	55,3819	55,2690	-0,20				
260	54,3290	54,2862	-0,08	330	50,5345	50,5264	-0,02				
261	55,5319	55,4489	-0,15	331	51,1726	51,1620	-0,02				
262	52,0950	52,2998	0,39	332	50,0000	50,0000	0,00				
263	56,4612	56,3640	-0,17	333	50,6522	50,6042	-0,09				
264	56,0113	55,9212	-0,16	334	56,2283	56,1376	-0,16				
265	56,2227	56,1254	-0,17	335	50,0000	50,0000	0,00				
266	55,7004	55,6015	-0,18	336	53,2886	53,2605	-0,05				
267	56,0863	55,9950	-0,16	337	52,4856	52,4411	-0,08				
268	55,4515	55,3626	-0,16	338	58,4575	58,6926	0,40				
269	56,0627	55,9819	-0,14	339	59,1796	59,0695	-0,19				
270	56,4049	56,3117	-0,17	340	59,2880	59,1788	-0,18				
271	56,7644	56,6556	-0,19	341	59,6978	59,5972	-0,17				
272	50,8717	51,0673	0,38	342	54,6449	54,5393	-0,19				
273	55,8126	55,7029	-0,20	343	50,0000	50,0000	0,00				
274	58,6233	58,5572	-0,11	344	57,0024	57,2269	0,39				
275	58,5238	58,4121	-0,19	345	58,5553	58,4492	-0,18				
276	51,9307	51,8987	-0,06	346	57,7054	57,5551	-0,26				
277	57,5185	57,4064	-0,20	347	57,1690	57,0604	-0,19				
278	52,7247	52,8340	0,21	348	54,4440	54,3954	-0,09				
279	50,1109	50,1123	0,00	349	50,0000	50,0000	0,00				
280	56,3582	56,2675	-0,16	350	56,9860	56,9015	-0,15				

Tabela 57 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) para o Rio de Janeiro sem aquecimento auxiliar.

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
1	31,0320	30,7320	-0,98	71	44,0319	44,0798	0,11	141	39,4488	39,4782	0,07
2	37,2172	37,2651	0,13	72	43,9981	44,0984	0,23	142	37,1539	37,3282	0,47
3	36,3922	36,6507	0,71	73	44,0184	44,1156	0,22	143	32,0031	32,3231	0,99
4	36,0921	36,2071	0,32	74	44,8599	44,9219	0,14	144	33,8921	33,8316	-0,18
5	39,7478	39,7805	0,08	75	43,2072	43,3859	0,41	145	34,2401	34,3131	0,21
6	42,0631	42,1913	0,30	76	38,4679	38,8421	0,96	146	35,7629	35,7835	0,06
7	42,5971	42,7886	0,45	77	37,1175	37,2364	0,32	147	35,6520	35,7816	0,36
8	41,3187	41,6230	0,73	78	36,0423	36,2039	0,45	148	36,8788	36,9011	0,06
9	41,4788	41,6993	0,53	79	34,1835	34,3155	0,38	149	38,0452	38,0742	0,08
10	43,2432	43,4726	0,53	80	32,2576	32,4750	0,67	150	38,0197	38,0821	0,16
11	43,0209	43,2531	0,54	81	34,5794	34,5433	-0,10	151	36,8754	37,0297	0,42
12	39,1571	39,4102	0,64	82	38,6877	38,6556	-0,08	152	35,7786	35,9059	0,35
13	36,5659	36,7880	0,60	83	41,6192	41,5769	-0,10	153	36,3786	36,4020	0,06
14	38,7469	38,7368	-0,03	84	41,8211	41,9148	0,22	154	37,0459	37,0900	0,12
15	39,4554	39,5537	0,25	85	39,1693	39,3706	0,51	155	33,2783	33,4917	0,64
16	40,0608	40,1007	0,10	86	38,2516	38,5521	0,78	156	30,3849	30,5414	0,51
17	41,2969	41,4489	0,37	87	36,5667	36,7859	0,60	157	32,1402	32,1072	-0,10
18	42,1145	42,2889	0,41	88	37,8291	37,8376	0,02	158	32,3635	32,4961	0,41
19	42,9626	43,1440	0,42	89	40,3630	40,3203	-0,11	159	34,9819	34,9029	-0,23
20	42,6984	42,8841	0,43	90	42,0377	42,0766	0,09	160	36,6935	36,7444	0,14
21	41,7640	42,0121	0,59	91	42,2715	42,3536	0,19	161	36,0191	36,1277	0,30
22	40,7831	41,0476	0,64	92	40,2668	40,4430	0,44	162	34,9825	35,1025	0,34
23	41,8005	41,9628	0,39	93	37,3856	37,6599	0,73	163	33,9633	34,0844	0,36
24	42,7058	42,8731	0,39	94	35,4318	35,6219	0,53	164	34,8367	34,8431	0,02
25	43,2260	43,3647	0,32	95	35,7143	35,7964	0,23	165	35,6548	35,7981	0,40
26	42,3807	42,6044	0,53	96	35,5878	35,6590	0,20	166	36,1861	36,3298	0,40
27	38,9651	39,3065	0,87	97	35,2703	35,3347	0,18	167	36,6557	36,7473	0,25
28	38,9141	39,1318	0,56	98	35,3355	35,3735	0,11	168	35,7012	35,8239	0,34
29	40,5756	40,7803	0,50	99	39,0431	38,9428	-0,26	169	36,3139	36,3654	0,14
30	38,6790	38,9999	0,82	100	41,3934	41,4267	0,08	170	34,8154	34,9483	0,38
31	37,4356	37,5854	0,40	101	42,6189	42,6693	0,12	171	32,7352	32,8765	0,43
32	37,8456	37,9838	0,36	102	43,4697	43,5272	0,13	172	33,6961	33,7439	0,14
33	40,5111	40,5311	0,05	103	42,3730	42,5231	0,35	173	33,4402	33,5633	0,37
34	43,3483	43,4027	0,13	104	40,5603	40,7032	0,35	174	33,4320	33,4871	0,16
35	44,3440	44,5006	0,35	105	37,2534	37,4726	0,58	175	34,8934	34,9352	0,12
36	42,8435	43,0746	0,54	106	35,1277	35,2418	0,32	176	32,6567	32,8377	0,55
37	38,5358	38,9355	1,03	107	35,2383	35,4008	0,46	177	32,5032	32,6550	0,47
38	37,6790	37,9463	0,70	108	38,6541	38,6455	-0,02	178	34,7190	34,7381	0,05
39	39,7432	39,8508	0,27	109	41,2106	41,2209	0,02	179	36,2010	36,2240	0,06
40	38,2700	38,4764	0,54	110	41,8508	41,8979	0,11	180	36,8587	36,8944	0,10
41	39,5613	39,5809	0,05	111	42,1229	42,1931	0,17	181	33,5028	33,7277	0,67
42	42,6484	42,6733	0,06	112	41,6053	41,7167	0,27	182	29,2257	29,4124	0,63
43	43,8022	43,9386	0,31	113	40,5793	40,6773	0,24	183	28,6365	28,6767	0,14
44	43,7146	43,8812	0,38	114	38,8679	39,0112	0,37	184	29,7762	29,7812	0,02
45	44,4845	44,5975	0,25	115	38,3007	38,4493	0,39	185	33,7355	33,6166	-0,35
46	44,5592	44,7331	0,39	116	38,1428	38,3341	0,50	186	34,6669	34,7112	0,13
47	42,8924	43,1026	0,49	117	36,6274	36,8820	0,69	187	34,5041	34,6314	0,37
48	43,4572	43,5696	0,26	118	37,4040	37,4904	0,23	188	33,7789	33,9046	0,37
49	43,4181	43,5826	0,38	119	38,5478	38,5798	0,08	189	31,0673	31,2421	0,56
50	42,2613	42,4415	0,42	120	40,2564	40,2531	-0,01	190	30,3064	30,4085	0,34
51	43,0144	43,0985	0,20	121	41,0039	41,0624	0,14	191	28,1532	28,3575	0,72
52	44,2661	44,3651	0,22	122	41,8908	41,9334	0,10	192	26,9862	26,9977	0,04
53	45,1605	45,2899	0,29	123	40,5330	40,7348	0,50	193	30,6236	30,3709	-0,83
54	43,7095	43,9342	0,51	124	34,3065	34,6938	1,12	194	34,2279	34,2306	0,01
55	41,3663	41,5269	0,39	125	33,5303	33,5517	0,06	195	35,0530	35,2213	0,48
56	41,2631	41,3791	0,28	126	36,3552	36,3025	-0,15	196	34,6826	34,8203	0,40
57	40,4262	40,5345	0,27	127	35,7426	35,8602	0,33	197	34,8187	34,9300	0,32
58	40,1914	40,3196	0,32	128	32,6839	32,7663	0,25	198	34,5698	34,6715	0,29
59	38,9460	39,0540	0,28	129	35,0066	34,9629	-0,12	199	33,8563	33,9634	0,32
60	42,3467	42,3233	-0,06	130	36,7359	36,8552	0,32	200	30,0425	30,2640	0,73
61	42,4937	42,6188	0,29	131	34,7710	34,9541	0,52	201	32,6404	32,5518	-0,27
62	43,9031	43,9421	0,09	132	31,7191	31,8909	0,54	202	34,3079	34,3556	0,14
63	42,5329	42,7119	0,42	133	33,6019	33,5436	-0,17	203	35,7382	35,7215	-0,05
64	37,3953	37,6892	0,78	134	34,7414	34,7492	0,02	204	37,2406	37,2722	0,08
65	37,7738	37,8244	0,13	135	34,2535	34,3480	0,28	205	37,3962	37,4737	0,21
66	39,3227	39,3995	0,19	136	36,6816	36,6436	-0,10	206	37,5211	37,5910	0,19
67	41,2404	41,2323	-0,02	137	38,7398	38,7264	-0,03	207	38,0915	38,2346	0,37
68	37,2824	37,6248	0,91	138	38,9402	39,1271	0,48	208	37,9886	38,2018	0,56
69	39,1921	39,1605	-0,08	139	38,0071	38,1693	0,43	209	35,4977	35,7035	0,58
70	42,7921	42,7883	-0,01	140	38,2405	38,2941	0,14	210	35,9128	35,9655	0,15

Tabela 58 – Temperatura no interior do reservatório (média diária - °C) o Rio de Janeiro sem aquecimento auxiliar (cont.)

dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%	dia	prog	TRN	%
211	37,7406	37,7677	0,07	281	29,5497	29,8283	0,93	351	37,5922	37,7801	0,50
212	36,5593	36,8376	0,76	282	33,3815	33,4036	0,07	352	40,1551	40,1383	-0,04
213	36,3068	36,4306	0,34	283	37,2628	37,4193	0,42	353	40,5617	40,7939	0,57
214	37,1453	37,2166	0,19	284	37,3724	37,6508	0,74	354	35,4214	35,8696	1,25
215	33,9527	34,2878	0,98	285	34,4519	34,8572	1,16	355	35,3424	35,4399	0,28
216	34,7664	34,8164	0,14	286	33,0310	33,2648	0,70	356	36,3685	36,5489	0,49
217	35,8081	36,0026	0,54	287	37,1574	37,1616	0,01	357	35,0531	35,2943	0,68
218	37,4901	37,5688	0,21	288	40,0690	40,2500	0,45	358	34,9334	35,0399	0,30
219	38,2504	38,3563	0,28	289	39,5786	39,8241	0,62	359	34,5285	34,6860	0,45
220	37,9340	38,0478	0,30	290	34,7010	35,0519	1,00	360	39,0243	38,9317	-0,24
221	37,1948	37,3119	0,31	291	35,6223	35,7250	0,29	361	41,0250	41,1572	0,32
222	35,5602	35,7715	0,59	292	39,1862	39,2542	0,17	362	41,5796	41,7571	0,43
223	36,5866	36,6875	0,27	293	41,1980	41,2756	0,19	363	41,2818	41,5333	0,61
224	36,2176	36,4126	0,54	294	40,7315	40,9014	0,42	364	39,6441	39,9137	0,68
225	31,5398	31,9288	1,22	295	36,0824	36,4208	0,93	365	38,1311	38,4873	0,93
226	30,3520	30,4610	0,36	296	33,7322	34,0507	0,94				
227	34,6408	34,5469	-0,27	297	33,0475	33,1888	0,43				
228	36,7727	36,8125	0,11	298	35,5401	35,6590	0,33				
229	37,4414	37,4900	0,13	299	34,9068	35,0970	0,54				
230	38,0695	38,1437	0,19	300	32,8552	33,0044	0,45				
231	35,7799	35,9589	0,50	301	31,1325	31,2837	0,48				
232	37,8386	37,8401	0,00	302	32,7154	32,6953	-0,06				
233	34,8089	35,0913	0,80	303	35,6494	35,6056	-0,12				
234	29,1901	29,4534	0,89	304	39,2767	39,2478	-0,07				
235	28,9362	28,9733	0,13	305	39,9184	40,0445	0,32				
236	32,3021	32,2081	-0,29	306	38,1084	38,3097	0,53				
237	36,2935	36,2326	-0,17	307	38,5803	38,7345	0,40				
238	37,9369	38,0627	0,33	308	39,4738	39,5689	0,24				
239	37,0738	37,3065	0,62	309	39,8330	40,0050	0,43				
240	32,8523	33,1642	0,94	310	37,9082	38,1237	0,57				
241	29,6632	29,7400	0,26	311	34,9114	35,1120	0,57				
242	34,0436	33,8908	-0,45	312	33,1110	33,2258	0,35				
243	32,5680	32,7443	0,54	313	34,1781	34,1870	0,03				
244	33,0855	33,0676	-0,05	314	36,8852	36,9624	0,21				
245	30,8430	31,1055	0,84	315	38,3376	38,4173	0,21				
246	32,6791	32,7544	0,23	316	39,2811	39,3441	0,16				
247	35,8674	35,9161	0,14	317	34,7625	35,1073	0,98				
248	37,9888	38,0096	0,05	318	36,1080	36,1504	0,12				
249	39,0314	39,1124	0,21	319	39,4304	39,4560	0,06				
250	31,6661	32,2019	1,66	320	37,4172	37,6177	0,53				
251	26,6265	26,9160	1,08	321	37,7266	37,7542	0,07				
252	32,7242	32,5719	-0,47	322	39,9249	39,9588	0,08				
253	36,2288	36,2617	0,09	323	38,6293	38,8877	0,66				
254	38,3239	38,3548	0,08	324	36,1389	36,5076	1,01				
255	39,8367	39,9385	0,25	325	33,6368	33,9056	0,79				
256	38,7256	38,8987	0,45	326	35,1519	35,2196	0,19				
257	38,0548	38,1845	0,34	327	39,2841	39,2418	-0,11				
258	38,4886	38,5941	0,27	328	41,2966	41,4776	0,44				
259	39,3768	39,4677	0,23	329	41,7939	42,0740	0,67				
260	39,2889	39,4218	0,34	330	40,2480	40,5102	0,65				
261	34,7479	35,1110	1,03	331	37,0409	37,2674	0,61				
262	32,1122	32,2933	0,56	332	39,5902	39,5689	-0,05				
263	32,4941	32,6500	0,48	333	41,8997	41,9580	0,14				
264	30,2875	30,6192	1,08	334	42,5314	42,6237	0,22				
265	27,6374	27,8734	0,85	335	41,2636	41,5649	0,72				
266	29,8027	29,7633	-0,13	336	39,8672	40,0674	0,50				
267	33,5687	33,6049	0,11	337	39,5887	39,7126	0,31				
268	32,3123	32,4743	0,50	338	40,1166	40,2331	0,29				
269	35,3485	35,3931	0,13	339	41,6366	41,7732	0,33				
270	38,4890	38,7994	0,80	340	41,4777	41,7077	0,55				
271	34,7268	35,2415	1,46	341	40,9852	41,2312	0,60				
272	31,7984	31,9749	0,55	342	40,2995	40,4728	0,43				
273	30,7522	30,9282	0,57	343	40,5467	40,7713	0,55				
274	33,8554	33,9318	0,23	344	40,9602	41,2119	0,61				
275	36,1222	36,2627	0,39	345	38,2706	38,6241	0,92				
276	35,3451	35,4924	0,41	346	37,1634	37,3998	0,63				
277	36,7939	36,8689	0,20	347	39,1669	39,2428	0,19				
278	38,6500	38,7867	0,35	348	37,4421	37,6257	0,49				
279	38,9597	39,1469	0,48	349	36,9813	37,1267	0,39				
280	32,8128	33,3385	1,58	350	38,9481	39,0771	0,33				