

ALEXANDRE FERREIRA LOBO

**SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR
COM MATERIAIS EM MUDANÇA DE FASE (MMF)
ADAPTADOS DE RESÍDUOS PESADOS DO REFINO DO
PETRÓLEO SOB CONDIÇÕES TRANSITÓRIAS DE
INSOLAÇÃO E DEMANDA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Área de Concentração: Engenharia de Processos Térmicos e Químicos da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção ao grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Risso Errera

**Curitiba-Paraná
Novembro - 2004**



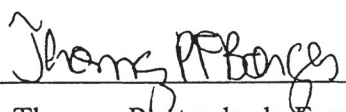
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Engenharia - PIPE
Setor de Tecnologia


RELATÓRIO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO


Aos vinte e nove dias do mês de novembro de 2004, na sala de seminário do Laboratório de Eficiência Energética na Indústria da Soja-LEIS-Centro Politécnico - UFPR, foi instalada pelo Prof Dr Fernando Wypych coordenador do PIPE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, a Banca Examinadora para a Sexagésima oitava defesa de mestrado área de concentração Engenharia de Processos Térmicos e Químicos Estiveram presentes no Ato, além do coordenador do Curso de Pós-Graduação, professores, alunos e visitantes A Banca Examinadora, atendendo a determinação do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, foi constituída pelos professores doutores Thomaz Penteado de Freitas (UFSC), George Stanescu (UFPR), Marcelo Risso Errera (UFPR) Às 9 30 horas, a banca iniciou os trabalhos, convidando o candidato **Alexandre Ferreira Lobo** a fazer a apresentação da dissertação de mestrado intitulada “Simulação de Sistemas de Aquecimento Solar com Materiais em Mudança de Fase (MMF) Adaptados de Resíduos Pesados do Refino do Petróleo sob Condições Transitórias de Insolação e Demanda” Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes

Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca aprovou o candidato,
(de acordo com a determinação dos Artigos 62 e 63 da Resolução 62/03 de 22 07 03)

Curitiba, 29 de novembro 2004


Prof Dr Thomaz Penteado de Freitas **BORGES**


Prof Dr George Stanescu


Prof Dr Marcelo Risso Errera

À minha família,
pelo incentivo a continuar sempre.

O homem confiante em si, positivo, otimista e que empreende o seu trabalho com segurança de que será coroado de êxito, magnetiza a sua condição. Atrai para si as forças criadoras do Universo.

Autor desconhecido.

AGRADECIMENTOS

Expresso estima e agradecimento a todos aqueles que contribuíram com seu tempo, energia, visão, suporte ou amizade, para que este estudo se tornasse possível.

Ao Professor Dr. **MARCELO RISSO ERRERA**, orientador deste trabalho, pela dedicação, paciência e incentivo, sendo sua participação de inestimável valor para esta pesquisa.

Ao Professor Dr. **GEORGE STANESCU**, do Departamento de Mecânica da UFPR.

Aos Professores do Departamento Acadêmico de Mecânica do CEFET/PR:

Prof. Dr. **SILVIO LUIZ DE MELLO JUNQUEIRA**

Prof. Dr. **JOSÉ ANTONIO A. VELASQUEZ ALEGRE**

Prof. MSc. **RAUL HENRIQUE ERTHAL**

Prof^a. Dr^a. **LÍVIA MARI ASSIS**

À Amiga Eng^a MSc. **ROSANA SELIGMAN**.

A minha gratidão.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS, FLUXOGRAMAS E ANEXOS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS GREGOS	xvi
1. INTRODUÇÃO	
1.1 Motivação	1
1.2 Radiação Térmica e Curva de Insolação	4
1.3 Princípio de funcionamento do Coletor Solar	12
1.4 Material de Mudança de Fase	13
1.5 Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado	15
1.6 Princípio de funcionamento do Tanque de Armazenamento	17
1.7 Objetivo	18
2. REVISÃO DA LITERATURA	19
3. MODELO MATEMÁTICO	
3.1 Metodologia	23
3.2 Coletor Solar	24
3.3 Tanque de Armazenamento de MMF	30
4. MÉTODO NUMÉRICO	33
4.1 Fluxogramas	35
4.2 Validação do código e modelo por balanços de energia	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
5.1 Curva solar	44

5.2 Coletor solar	45
5.3 Tanque de armazenamento de MMF.....	47
5.4 Simulação 1	52
5.5 Simulação 2.....	57
5.6 Simulação 3.....	63
5.7 Simulação 4.....	65
5.8 Simulação 5.....	76
5.9 Simulação 6.....	78
5.10 Simulação 7.....	82
5.11 Simulação 8.....	89
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS	91
7. CONCLUSÕES.....	94
BIBLIOGRAFIA	95
ANEXOS.....	98
BIOGRAFIA	99

RESUMO

O uso de energia solar para aquecimento de água tem se demonstrado como uma solução energética ambientalmente amigável por duas razões básicas: reduz o consumo de energia elétrica e de outros combustíveis, e ainda é uma fonte renovável de energia.

O presente trabalho visa contribuir para a redução dos picos de demanda de eletricidade através do suprimento de energia térmica nos períodos críticos (por exemplo: água quente para banho no início da noite). A solução proposta é a termo-acumulação de energia solar em Materiais com Mudança de Fase. O material estudado neste trabalho é um resíduo pesado de processo de refino de petróleo. Tais resíduos pesados fazem parte dos passivos ambientais de refinarias. Assim, espera-se que a solução em estudo venha produzir duplo efeito benéfico ao Meio Ambiente

Para estudar estas questões, foi desenvolvido um modelo matemático de um sistema de aquecimento de água com um tanque armazenador de energia térmica sensível e latente, que considera a variação temporal da insolação e da demanda de água quente. O modelo incorpora princípios da Termodinâmica e da Transferência de Calor, resultando num conjunto de equações diferenciais ordinárias. O sistema é resolvido através do método de Runge-Kutta Vetorial. Foi utilizado um material com mudança de fase de resíduo pesado de refino de petróleo (RPRP) nas simulações. O desempenho do simulador e do RPRP foi balizado e comparado com um material convencional.

Os resultados das simulações demonstram ser fisicamente consistentes e que materiais considerados da categoria RPRP podem ser utilizados para armazenamento de energia térmica. Conseqüentemente, alguns RPRP's podem se tornar sub-produtos deixando de ser resíduos.

Estudos mais detalhados sobre as características destes resíduos devem feitos para se levantar os parâmetros termo-físicos que venham contribuir para viabilidade econômica desta proposta.

ABSTRACT

Thermal solar energy has been proven to be an environmental friendly energy source for domestic and commercial water heating.

The goal of this dissertation is to investigate a solution that considers thermal energy storage as sensible and latent heat in order to make solar thermal energy available when it is needed the most. The material considered as phase-change-material (PCM) is a heavy residue of petroleum refining process so that it can also be upgraded to by-product.

A mathematical model of a domestic water heater with thermal storage tank was developed. The model considers basic principles of Thermodynamics and Heat Transfer and resulted in a system of ordinary differential equations that was further solved numerically by the Runge-Kutta Method.

The results show that the model yields reliable and consistent results, and that such heavy residues can be applied in thermal energy storage for solar water heating systems. More investigation should be carried out to verify whether the solution proposed in this dissertation can be economically efficient.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interação da radiação com a atmosfera até atingir a superfície terrestre	4
Figura 2 - Órbita elíptica da Terra com o período das estações climáticas	6
Figura 3 - Posição da Terra em relação aos raios solares no solstício de verão no Hemisfério Sul	7
Figura 4 - Esquema da esfera celeste mostrando o caminho aparente do Sol e a declinação solar	7
Figura 5 - Ângulo de zênite, Altitude solar e Azimute solar	8
Figura 6 - Ângulos relativos a uma superfície terrestre	9
Figura 7 - Figura esquemática ilustrando a variação temporal do ângulo horário durante as horas do dia	10
Figura 8 - Variação da irradiação extraterrestre em relação a um plano horizontal durante um período diurno	11
Figura 9 - Projeções superior e elevação do coletor solar do tipo serpentina	13
Figura 10 - Projeto geométrico do tanque de armazenamento de MMF	18
Figura 11 - Gráfico comparativo em termos de rendimento de acúmulo de energia térmica dos materiais: Cloreto de Cálcio Hexa-Hidratado (MMF), Água e Rochas	20

Figura 12 - Diagrama esquemático de um sistema de aquecimento residencial sistema (DHW)	22
Figura 13 - Sistema de aquecimento do MMF armazenado	23
Figura 14 - Fluxos de calor no coletor solar durante o aquecimento.....	24
Figura 15 - Interação entre os fluxos de calor entre o tubo do coletor e o fluido térmico de trabalho.....	27
Figura 16 - Perfil de temperatura considerado entre o tubo do coletor e o fluido térmico de trabalho.....	28
Figura 17 - Perfil de temperatura esperado do fluido térmico no interior do tubo do coletor	29
Figura 18 - Volume de controle do tanque de armazenamento do MMF contendo os fluxos de carga no período de aquecimento.....	32
Figura 19 - Figura esquemática ilustrando o VC geral do Coletor Solar e as variações da energia interna nos VC parciais.....	38
Figura 20 - Figura esquemática ilustrando o VC geral e parciais do aquecimento do tanque de armazenamento de MMF.....	40
Figura 21 - Figura esquemática ilustrando o VC geral e parciais do resfriamento do tanque de armazenamento de MMF.....	42
Figura 22 - Curva de insolação obtida para a cidade de Curitiba no dia 3 de Janeiro....	44

Figura 23 - Evolução da temperatura do vidro, ar interno, fluido térmico e tubo no interior do coletor solar.....	45
Figura 24 - Perfil evolutivo da temperatura do fluido térmico nos 5 (cinco) volumes de controle do tubo do coletor solar	46
Figura 25 - Perfil evolutivo da temperatura do fluido térmico no primeiro volume de controle do tanque de armazenamento de MMF	47
Figura 26 - Solução numérica da fração líquida do MMF.....	48
Figura 27 - Solução numérica da energia interna armazenada do MMF.....	49
Figura 28 - Gráfico da Temperatura do MMF em relação ao tempo.....	50
Figura 29 - Gráfico da Temperatura x tempo dos volumes de controle do tanque de armazenamento de MMF.....	51
Figura 30 - Tela de apresentação do Programa RADIASOL da UFRGS.....	51
Figura 31 -Tela do Programa RADIASOL onde mostra os valores médios da Energia acumulada no coletor durante os meses do ano	53
Figura 32 - Tela auxiliar do Programa RADIASOL com as saídas dos resultados de insolação.....	54
Figura 33 - Curva de insolação para Curitiba em 21 de Junho com base em $\beta_{\text{ÓTIMO}}$ e $\gamma_{\text{ÓTIMO}}$	56
Figura 34 - Configuração do coletor solar com tubos paralelos.....	57

Figura 35 - Esquema do módulo elementar do coletor solar com tubos paralelos	58
Figura 36 - Esquema geométrico preliminar do formato do tanque de armazenamento de MMF	60
Figura 37 - Configuração final do formato geométrico do tanque de armazenamento de MMF sugerido pelo trabalho.....	61
Figura 38 - Gráfico do critério de parada do programa de aquecimento do MMF.....	62
Figura 39 - Esquema que mostra a composição da massa de banho em função da massa de água quente e fria.....	66
Figura 40 - Gráfico que mostra a variação da temperatura da massa de água quente em função do tempo de banho	67
Figura 41 - Gráfico que mostra a composição das vazões da mistura de água quente e fria.....	68
Figura 42 - Evolução da temperatura do MMF e sua fração líquida com o tempo, utilizando o MMF RPRP.....	69
Figura 43 - Gráfico que mostra a temperatura da massa de água quente que entra no MMF aquecido.....	71
Figura 44 - Gráfico que mostra a queda de temperatura nos VC do MMF devido ao Resfriamento.....	72
Figura 45 - Gráfico que mostra a entrada da resistência elétrica complementar.....	73

Figura 46 - Número de Reynolds no escoamento da água quente no tubo do tanque do MMF.....	74
Figura 47 - Comportamento da massa de água quente (\dot{m}_{AQ}) e (\dot{m}_{BA}) em função da demanda.....	78
Figura 48 - Comportamento da temperatura de água quente (T_{AQ}) e temperatura de banho (T_{BA}) em função da demanda.....	79
Figura 49 - Comportamento da energia complementar (Q_{COMP}) com a aplicação da demanda de massa de banho (\dot{m}_{BA}).....	79
Figura 50 - Gráfico teórico mostrando Q_{ELE} e Q_{COMP} do MMF CCHH.....	83
Figura 51 - Gráfico teórico mostrando Q_{ELE} e Q_{COMP} do MMF RPRP.....	84
Figura 52 - Gráfico do Resfriamento dos MMF CCHH obtido na simulação numérica	85
Figura 53 - Gráfico do Resfriamento dos MMF RPRP obtido na simulação numérica	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Exemplos de MMF conforme ISMAIL, (1998).....	14
Tabela 2	Propriedades termofísicas do Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado.....	16
Tabela 3 -	Propriedades termofísicas do Resíduo Pesado do Refino de Petróleo (RPRP),JACOBS,(2003).....	16
Tabela 4 -	Balanco energético do Coletor Solar	39
Tabela 5 -	Balanco energético do aquecimento do tanque de armazenamento de MMF.....	41
Tabela 6 -	Balanco energético do resfriamento do tanque de armazenamento de MMF.....	43
Tabela 7 -	Energia acumulada pelo coletor em [kWh/m ²] variando a inclinação (β) e ângulo de azimute solar (γ) durante 21 de junho em Curitiba.....	55
Tabela 8 -	Dimensionamento dos parâmetros construtivos do coletor solares tipo paralelo.....	59
Tabela 9 -	Quadro comparativo entre o RPRP e CCHH para aquecimento e resfriamento.....	63

Tabela 10 -	Quadro comparativo do tempo de banho sem a utilização do aquecimento elétrico complementar do CCHH variando a temperatura de banho (T_{BA}) com $m_{BA} = 55$ ml/s	76
Tabela 11 -	Quadro comparativo do tempo de banho sem a utilização do aquecimento elétrico complementar do RPRP variando a temperatura de banho (T_{BA}) com $m_{BA} = 55$ ml/s	77
Tabela 12 -	Quadro comparativo entre CCHH e RPRP conforme relação $\frac{kWh_{ECONOMIZADO}}{m_{MMF}}$ de $t = 0$ à $t_{QCOMP=0}$	86
Tabela 13 -	Quadro comparativo entre CCHH e RPRP conforme relação $\frac{kWh_{ECONOMIZADO}}{m_{MMF}}$ de $t = 0$ à $t = 14401$ s.....	87
Tabela 14 -	Comparativo entre o Resíduo Pesado do Refino de Petróleo (RPRP) e o Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado (CCHH) utilizando o fator de transmitância conforme DUARTE (2004).	89

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Fluxograma do Aquecimento do MMF	35
Fluxograma 2 - Fluxograma do Resfriamento do MMF	36

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Planilha analítica do balanço energético do coletor solar.....	98
Anexo 2 - Planilha analítica do balanço energético do aquecimento do tanque de armazenamento de MMF.....	98
Anexo 3 - Planilha analítica do balanço energético do resfriamento do tanque de armazenamento de MMF.....	98
Anexo 4 - Exemplo de Programa em Fortran, arquivos de entradas de dados, saída de dados e saída para conferência.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS

A	área, m^2
A_B	nível de absortividade, [-]
A_L	nível de albedo, [-]
A_h	área com base no diâmetro hidráulico, m^2
C_{COL}	comprimento do coletor, m
C_{ELEM}	largura elementar do módulo do Coletor Solar com tubos paralelos, m
$C_{p_{AR}}$	calor específico do ar interno do coletor, J/kg K
$C_{p_{MMF}}$	calor específico do MMF, J/kg K
$C_{p_{TB}}$	calor específico do tubo do coletor, J/kg K
$C_{p_{VD}}$	calor específico do vidro do coletor, J/kg K
$C_{p_{MMF_SOL}}$	calor específico do MMF no estado sólido, J/kg K
$C_{p_{MMF_LIQ}}$	calor específico do MMF no estado líquido, J/kg K
D_h	diâmetro hidráulico, m
d_{EXT}	diâmetro externo do tubo do coletor, m
d_{INT}	diâmetro interno do tubo do coletor, m
e_{VD}	espessura do vidro, m
e_{TB}	espessura do tubo do coletor, m
E_o	fator de excentricidade da órbita elíptica da Terra em relação ao Sol, [-]
E_{VC}	Energia armazenada pelo sistema, J
H_{COL}	altura do coletor, m
$H_{o\beta\gamma}$	energia acumulada no coletor com ângulo de inclinação (β) e ângulo de azimute solar (γ), $J/m^2 h$
\dot{H}	fluxo entálpico, J/kg

h_{AR}	coeficiente de convecção do ar interno do coletor, $W/m^2 K$
h_{FT}	coeficiente de convecção do fluido térmico, $W/m^2 K$
h_{INF}	coeficiente de convecção do meio externo em torno do coletor, $W/m^2 K$
h_{FT_ENT}	entalpia total do fluido térmico na entrada do VC, J
h_{FT_SAI}	entalpia total do fluido térmico na saída do VC, J
I_{SC}	constante da radiação extraterrestre no topo da atmosfera, W/m^2
I	radiação incidente no coletor solar, W/m^2
$I_{o\beta}$	radiação incidente no coletor alinhado com a linha do Equador e com ângulo de inclinação (β), W/m^2
$I_{o\beta\gamma}$	radiação incidente no coletor com ângulo de inclinação (β) e com ângulo de azimute solar (γ) deslocado da linha do Equador, W/m^2
k_{TB}	coeficiente de condutibilidade térmica do tubo, W/mK
L_{COL}	largura do coletor solar, m
L_{ELEM}	largura elementar do módulo do Coletor Solar com tubos paralelos, m
L_{TUBO}	comprimento elementar do tubo do módulo do Coletor Solar com tubos paralelos, m
\dot{m}_{FT}	vazão mássica do fluido térmico, kg/s
m_{MMF}	massa do MMF, kg
N_d	número de dias corridos desde 1 janeiro até uma data (calendário Juliano)
Nu	número adimensional de Nusselt local
N_{MODE}	número de módulos elementares do coletor solar de tubos paralelos, (-)
Per	perímetro, m
\dot{Q}_D	radiação direta, W/m^2
\dot{Q}_d	radiação difusa, W/m^2

\dot{Q}_r	radiação refletida, W/m^2
\dot{Q}_G	radiação global, W/m^2
\dot{Q}_o	radiação extraterrestre no topo da atmosfera, W/m^2
\dot{q}_{RAD}	radiação térmica incidente no coletor, W/m^2
\dot{q}_{INCID}	radiação térmica total incidente no coletor, W
\dot{q}_{REFLE}	radiação térmica total refletida no vidro do coletor, W
\dot{q}_{ABS}	radiação térmica total absorvida no vidro do coletor, W
\dot{q}_{TRANS}	radiação térmica total transmitida pelo vidro do coletor, W
\dot{q}_{INF}	taxa de transferência de calor do vidro para o maio externo, W
\dot{q}_{AR_VD}	taxa de transferência de calor do ar interno do coletor para o vidro, W
\dot{q}_{TR_TB}	taxa de transferência de calor do vidro para o tubo do coletor, W
\dot{q}_{TB_AR}	taxa de transferência de calor do tubo do coletor para o ar interno do coletor, W
\dot{q}_{TB_FT}	taxa de transferência de calor do tubo para o fluido térmico, W
\dot{q}_{FT_MMF}	taxa de transferência de calor do fluido térmico para o MMF, W
\dot{q}_{FT_MA}	taxa de transferência de calor do fluido térmico para o meio ambiente, W
\dot{Q}	taxa de transferência de calor do meio quente para o meio frio, W
\dot{Q}_{COMP}	energia elétrica complementar, J/s
\dot{Q}_{ELE}	potência elétrica convencional oriunda de chuveiro elétrico, J/s

\dot{Q}_{IN}	carga térmica que entra no VC cruzando a fronteira, W
\dot{Q}_{OUT}	carga térmica que sai do VC cruzando a fronteira, W
R_o	raio interno do tubo do fluido térmico, m
T_{FRIO}	temperatura em um ponto frio, K
T_{FT}	temperatura do fluido térmico, K
T_{AR}	temperatura do ar interno do coletor, K
T_{MMF}	temperatura do MMF, K
T_{QUENTE}	temperatura em um ponto quente, K
T_R	nível de transmissibilidade, [-]
T_{TB}	temperatura do tubo do coletor, K
T_{VIDRO}	temperatura do vidro, K
T_{INF}	temperatura do meio externo, K
T_{FT_ENT}	temperatura do fluido térmico na entrada do VC, K
T_{FT_SAI}	temperatura do fluido térmico na saída do VC, K
T^*, T_{FUSAO}	temperatura de referência onde a energia interna do MMF é zero, K
T_{REF}	temperatura da água na saída do VC, K
T_{IN}	temperatura na entrada do VC, K
\bar{T}_M	temperatura média integral no interior do VC, K
T_{OUT}	temperatura na saída do VC, K
$t_{Q_COMP=0}$	tempo sem a utilização da energia elétrica complementar, s

U_{∞}	velocidade do fluido térmico no tanque de armazenamento de MMF, m/s
U	coeficiente de transferência de calor global entre dois meios, $W/m^2 K$
u	energia interna específica do MMF, J/kg
V_{AR}	volume do ar interno no interior do coletor, m^3
V_{TB}	volume do tubo no interior do coletor solar, m^3
V_{VD}	volume do vidro no coletor solar, m^3
V_{MMF}	volume do MMF no tanque de armazenamento, m^3
X	fração líquida do MMF
y_{FT}	altura da tubulação quadrada do fluido térmico no tanque de MMF, m
y_{MMF}	altura do tanque de armazenamento de MMF, m
z_{VC}	largura da tubulação quadrada do fluido térmico, MMF e água no tanque de armazenamento de MMF, m
T_1, x_1	temperatura (K) e comprimento (m) do fluido térmico na posição 1 do tubo do fluido térmico no interior do coletor solar
x, y, z	eixos ortogonais das coordenadas cartesianas
$XX h YY m$	indica XX horas e YY minutos

SÍMBOLOS GREGOS:

η	difusibilidade térmica do fluido térmico, m^2/s
α	ângulo de altitude solar, rad
β	ângulo de inclinação do plano inclinado do coletor solar, rad
β_{OTIMO}	melhor ângulo de inclinação do coletor para Curitiba no dia 21 de Junho, rad
Δ	variação de temperatura (ΔT) em K, intervalo de tempo (Δt) em s ou variação da energia interna (ΔU) em J
γ	ângulo de azimute solar: Ângulo entre a Linha do Equador e o coletor, para Leste POSITIVO e para Oeste NEGATIVO, rad
γ_{OTIMO}	melhor ângulo de azimute solar para Curitiba no dia 21 de Junho, rad
δ	ângulo de declinação solar ou declividade. Para o Hemisfério Norte POSITIVO e para o hemisfério Sul NEGATIVO, rad
λ	calor latente de fusão do MMF, J/kg
θ_z	ângulo de zênite, rad
ϕ	ângulo de latitude solar, rad
ϕ_{INT}	diâmetro interno do tubo do coletor, mm
ϕ_{EXT}	diâmetro externo do tubo do coletor, mm
ψ	ângulo de azimute solar, rad
ω, ω_i	ângulo horário, rad
ω_{iss}	ângulo de nascer do Sol (nascente), rad
ω_{isr}	ângulo de entardecer do Sol (poente), rad
ρ	massa específica, kg/m^3

ν viscosidade cinemática da água, m^2/s

SUBSCRITOS:

AQ,aq:	água quente
AF,af:	água fria
AR,ar:	ar interno do coletor
BA,ba:	banho
CCHH:	cloreto de cálcio hexa-hidratado
FT,ft:	fluido térmico
MMF,mmf:	material de mudança de fase
ma:	meio ambiente
n:	número final de contagem
inf:	infinito
in,ent:	entrada
out,sai:	saída
i:	número do elemento de volume
TB:	tubo
VC,vc:	volume de controle
RPRP:	Resíduo Pesado do Refino de Petróleo
UFRGS:	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SOBRESCRITOS:

• : elemento de taxa

1. INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Atualmente é visível a preocupação do corpo científico mundial com a escassez das fontes de energia convencionais como o potencial hídrico e o do petróleo, com seu esgotamento em aproximadamente 100 anos (KAYGUSUZ, 1995).

No Brasil, a energia elétrica é uma das mais principais fontes energéticas e seu uso se tornou essencial. As variações em sua disponibilidade levam a preocupações, tais como:

- sistema de transmissão de energia elétrica com vários pontos de ineficiência;
- esgotamento das bacias fluviais para a construção de novas usinas geradoras de eletricidade;
- questões de impacto ambiental;
- ocorrência de vários períodos sem chuvas, impossibilitando níveis seguros de armazenamento de água nas barragens;
- questões sociais.

Todo o processo de obtenção, transformação e transporte da energia elétrica entram na composição do preço, que a cada dia onera mais o consumidor final.

Em torno deste contexto, cientistas e pesquisadores viram-se na necessidade de estudar novas fontes de energia, conhecidas como fontes de energia alternativas.

Com os pesquisadores prevendo muitas dificuldades futuras no atendimento, pelos meios governamentais, ao crescente aumento no consumo de energia, houve estímulo para o estudo do aproveitamento das fontes de energia disponíveis.

A constatação de que a energia solar é uma fonte inesgotável de energia leva à oportunidade de aproveitamento desta fonte térmica disponível.

Os primeiros modelos de aquecimento solar têm como objetivo em variar a temperatura de água armazenada em tanques e reservatórios.

Utilizando a água como fluido térmico de trabalho, um volume de água a ser consumida é aquecido através de um equipamento denominado trocador de calor, que utiliza a energia solar.

Com este modelo consagrado de conservação de energia, foi dado um grande impulso no aproveitamento energético do sol.

Uma contribuição ao estudo do Sol como fonte alternativa de energia é o objetivo deste trabalho.

1.1.1 CONCEITOS PRELIMINARES

O crescimento populacional e da atividade industrial conduzem a uma demanda cada vez maior por energia. A escassez dos recursos naturais e a crescente agressão ao meio ambiente para suprir tal demanda vem sendo apontadas como fatores de desequilíbrio ao ecossistema. Tendo em vista tal situação, a utilização de energias não convencionais tem sido apontada como uma solução alternativa ao modelo energético em vigor (MONTENEGRO, 2000).

A falta de uma utilização mais racional, ao longo do tempo, das fontes convencionais de energia ainda à disposição da humanidade, começa a preocupar as civilizações, pela ameaça de extinção de seus recursos naturais. A demanda crescente para atender ao progresso traz em paralelo a ameaça do desequilíbrio ecológico, afetando sensivelmente os ecossistemas. Ocorre derrubada de áreas verdes, poluição dos cursos de água, extermínio da vida vegetal e animal além de, paulatinamente, contribuir para tornar insuportável a vida das populações dos grandes centros urbanos. Agentes agressivos são lançados à atmosfera, cujos níveis já se aproximam bastante dos limites previstos pela Organização Mundial da Saúde (BEZERRA, 2001).

No entanto, este quadro de preocupação do homem com os recursos energéticos tem se alterado significativamente nos últimos anos. Devido à eficiência dos meios de comunicações, pessoas leigas estão mais bem informadas. Isto gera um fortalecimento da consciência comum quanto à necessidade da manutenção de nossas reservas esgotáveis de energia e do desenvolvimento tecnológico no setor de aproveitamento de fontes de energia alternativas não convencionais, tais como a energia solar.

1.1.2 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO SOL

O Sol, além de fonte de vida, é a origem de todas as formas de energia que o homem vem utilizando durante sua história. Pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético no futuro, uma vez que o homem aprenda a aproveitar de maneira racional a luz, que esta estrela constantemente derrama sobre nosso planeta. Brilhando há mais de 5 bilhões de anos, calcula-se que o Sol ainda privilegiará a humanidade por outros 6 bilhões de anos. Isto significa que ele está apenas na metade de sua existência, lançando sobre a Terra, só neste ano, 4000 vezes mais energia que aquela consumida pelo homem.

Frente a esta realidade, seria irracional não buscar, por todos os meios tecnicamente possíveis, aproveitar esta fonte de energia limpa, inesgotável e gratuita. Será discutido, a partir deste ponto, a disponibilidade da energia proveniente do Sol, os métodos de captação desta energia e possíveis usos e aplicações.

Basicamente a energia que o Sol proporciona a Terra pode ser aproveitada para as finalidades principais:

- iluminação;
- aquecimento de ambientes;
- aquecimento de água por acumulação;
- produção de eletricidade;
- secagem de grãos.

1.2 CONCEITOS DE RADIAÇÃO TÉRMICA E CURVA DE INSOLAÇÃO

1.2.1 RADIAÇÃO EXTRATERRESTRE

A intensidade dos raios solares, na distância média entre o Sol e a Terra, sobre um plano normal à linha que une seus centros e localizado fora da atmosfera terrestre é chamada de constante solar ou radiação extraterrestre (I_{SC}). O valor de I_{SC} , (e.g., IQBAL,1983) é de 1367 W/m^2 no topo da atmosfera terrestre, e a mesma é função da latitude local, da hora do dia, data e do ângulo da declinação solar neste mesmo dia. (IQBAL, 1983).

A radiação solar, ao ser transmitida do topo à atmosfera terrestre, interage através dos seguintes fenômenos: absorção, difusão (seletiva e não seletiva) e reflexão.

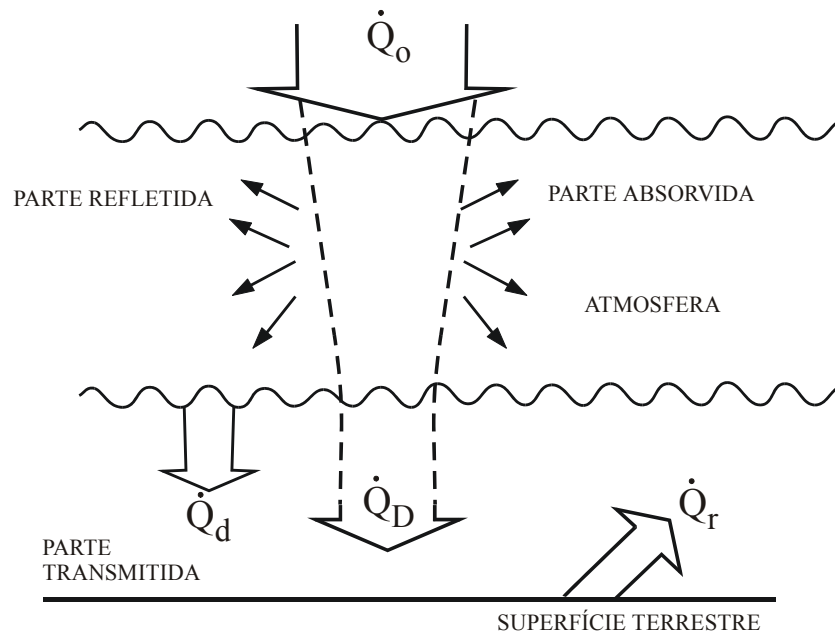


FIGURA 1 - INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A ATMOSFERA ATÉ ATINGIR A SUPERFÍCIE TERRESTRE. (ESCOBEDO, 2002).

Da quantidade de radiação solar que chega no topo da atmosfera (\dot{Q}_o), há dois tipos de radiações que atingem a superfície terrestre: Radiação Direta (\dot{Q}_D) e Radiação Difusa (\dot{Q}_d) e após a interação com a mesma surge uma outra componente denominada Radiação Refletida (\dot{Q}_r):

\dot{Q}_o - Radiação Solar : é o valor da radiação extraterrestre oriunda do Sol.

\dot{Q}_D - Radiação Direta: é a fração que atinge a superfície sem interagir com a atmosfera.

\dot{Q}_d - Radiação Difusa: é a fração extraterrestre que sofre difusão na atmosfera, seletiva ou não seletiva.

\dot{Q}_r - Radiação Refletida: é a fração da radiação global refletida pela superfície.

A soma de \dot{Q}_D com \dot{Q}_d resulta \dot{Q}_G , que é a radiação global que atinge a superfície terrestre. Logo:

$$\dot{Q}_G = \dot{Q}_D + \dot{Q}_d \quad (1.1)$$

1.2.2 DECLINAÇÃO SOLAR

Como pode ser observado na Figura 2, o plano do equador é inclinado em relação ao plano da trajetória da Terra em $23,45^\circ$. Esta inclinação é responsável pela ocorrência das estações climáticas que ocorrem na Terra. O verão ocorre quando, devido à posição da Terra em relação ao Sol, o número de horas de insolação é maior e, conseqüentemente, é também maior o aquecimento desta parte do globo terrestre. No verão do Hemisfério Sul (HS), devido ao fato da Terra estar mais próxima do Sol, a radiação solar direta é mais intensa do que àquela observada no verão do Hemisfério Norte (HN). A Figura 3 mostra que nas regiões polares, na região limitada pelo paralelo $66,55^\circ$, há dias em que o Sol não se põe ou não nasce, dependendo da época do ano. Este paralelo define o círculo ártico no hemisfério norte e o círculo antártico no hemisfério sul.

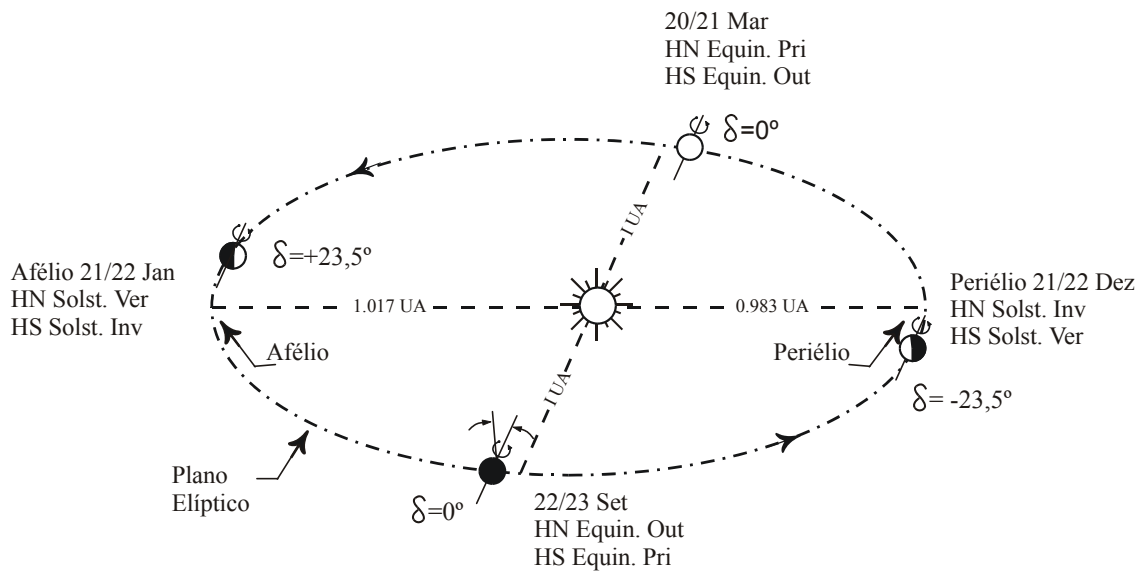


FIGURA 2 – ÓRBITA ELÍPTICA DA TERRA CONTENDO AS ESTAÇÕES CLIMÁTICAS. (OMETTO, 1968).

Considerando a Terra como fixa, obtém-se um movimento aparente para o Sol, conforme ilustrado na Figura 4.

A declinação solar (δ) é então definida como a distância angular dos raios solares em relação ao plano do equador da Terra. A equação (1.2) descreve a variação da declinação solar (δ), durante o ano, IQBAL (1983).

$$\delta = -23,45 \operatorname{sen} \left[360 \left(\frac{284 + N_d}{365} \right) \right] \quad (1.2)$$

onde (N_d) representa o número de dias corridos desde 1 de janeiro até a presente data.

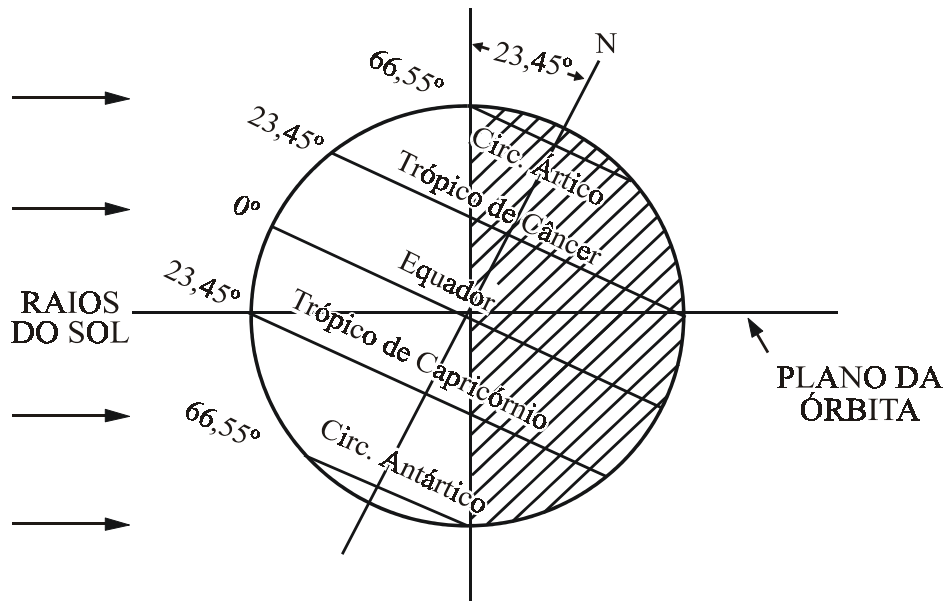


FIGURA 3 – POSIÇÃO DA TERRA EM RELAÇÃO AOS RAIOS SOLARES NO SOLSTÍCIO DE VERÃO NO HEMISFÉRIO SUL. (OMETTO, 1968).

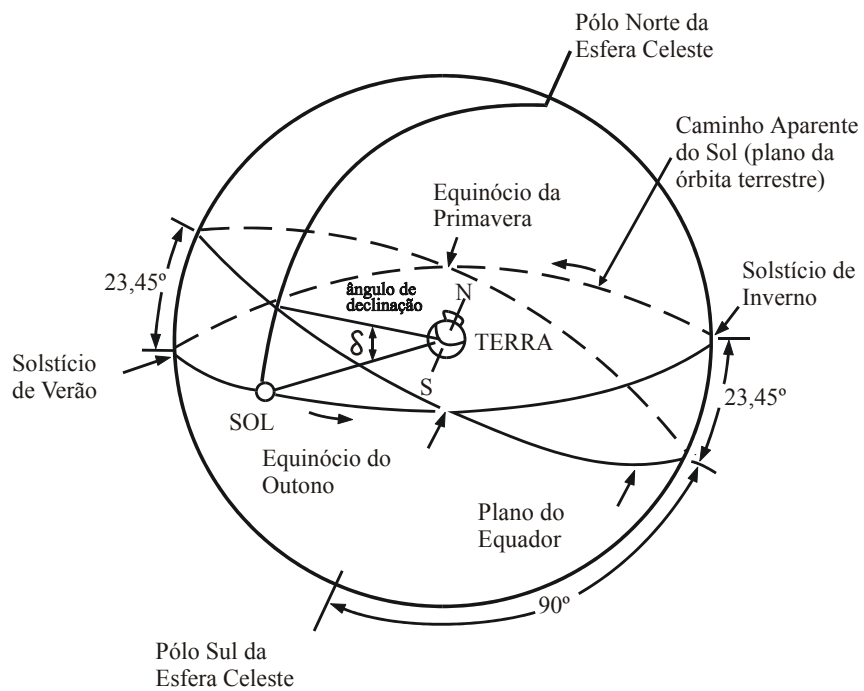


FIGURA 4 – ESQUEMA DA ESFERA CELESTE MOSTRANDO O CAMINHO APARENTE DO SOL E A DECLINAÇÃO SOLAR. REF.: (OMETTO, 1968).

1.2.3 ÂNGULOS SOLARES

O ângulo horário (ϖ_1), é o deslocamento angular do Sol para Leste (no período da manhã) ou Oeste (no período da tarde) em relação ao meridiano local, devido ao movimento de rotação da Terra sobre seu eixo, o qual ocorre na razão de 15° por hora. Este ângulo será considerado negativo de manhã e positivo à tarde.

O ângulo de zênite (θ_z) é o ângulo que determina a posição do Sol em relação ao plano vertical local. A altitude solar (α) é definida como o ângulo que o raio celeste do Sol faz com a sua projeção no plano horizontal local, e o azimute solar (ψ) que é definido como a ângulo no plano horizontal entre a projeção do raio celeste neste plano e o ponto cardinal norte-sul.

Todos estes ângulos solares são demonstrados através das Figuras 5 e 6. As equações foram obtidas em (IQBAL, 1983).

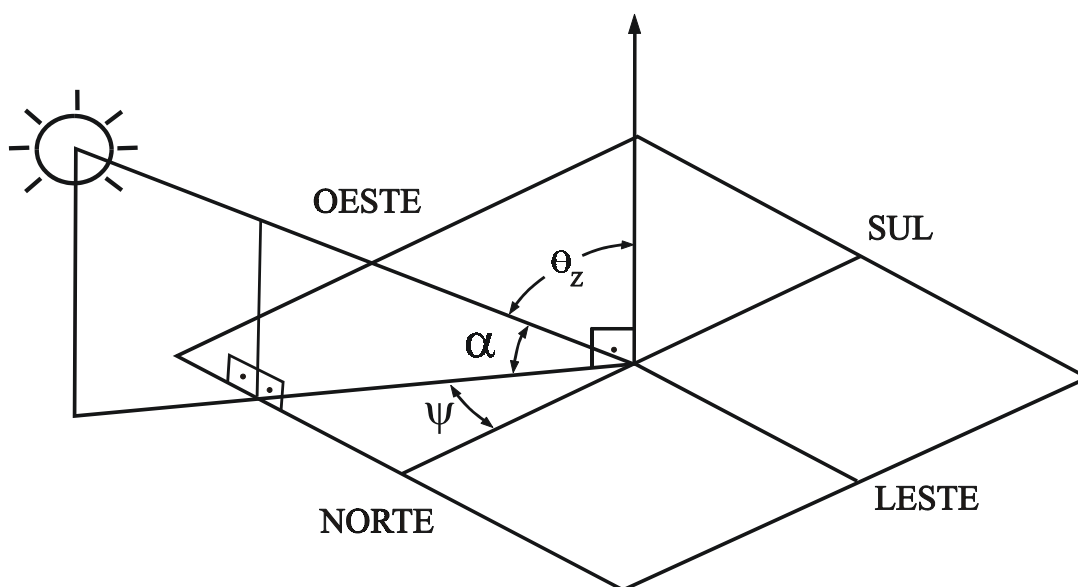


FIGURA 5 - ÂNGULOS DE ZÊNITE (θ_z), ALTITUDE SOLAR (α) E AZIMUTE SOLAR (Ψ). (OMETTO, 1968).

O ângulo de zênite (θ_z), seu complemento a altitude solar (α) e o ângulo de azimute solar (Ψ) são obtidos, respectivamente, pelas seguintes equações:

$$\cos(\theta_z) = \text{sen}(\delta) \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\omega) = \text{sen}(\alpha) \quad (1.3)$$

$$\alpha = 90^\circ - \theta_z \quad (1.4)$$

$$\cos(\Psi) = \frac{\text{sen}(\alpha) \text{sen}(\phi) - \text{sen}(\delta)}{\cos(\alpha) \cos(\phi)} \quad (1.5)$$

onde: (ϕ) é o ângulo de latitude geográfica local (HN positivo e HS negativo).

Neste trabalho, considera-se o coletor solar com ângulo de inclinação do coletor (β) com o plano horizontal da coordenada geográfica do ponto existente. A Figura 6 representa esta situação.

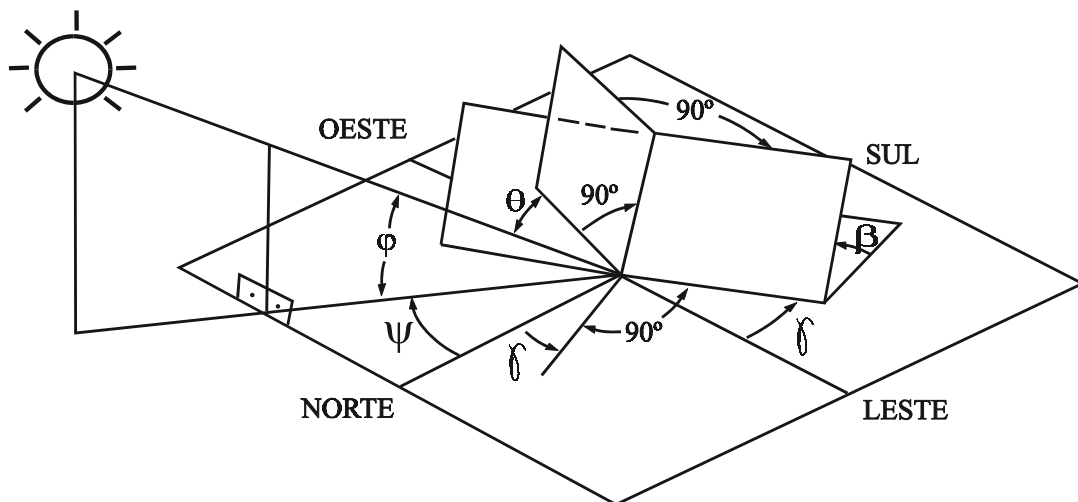


FIGURA 6 – ÂNGULOS RELATIVOS A UMA SUPERFÍCIE TERRESTRE. (OMETTO, 1968).

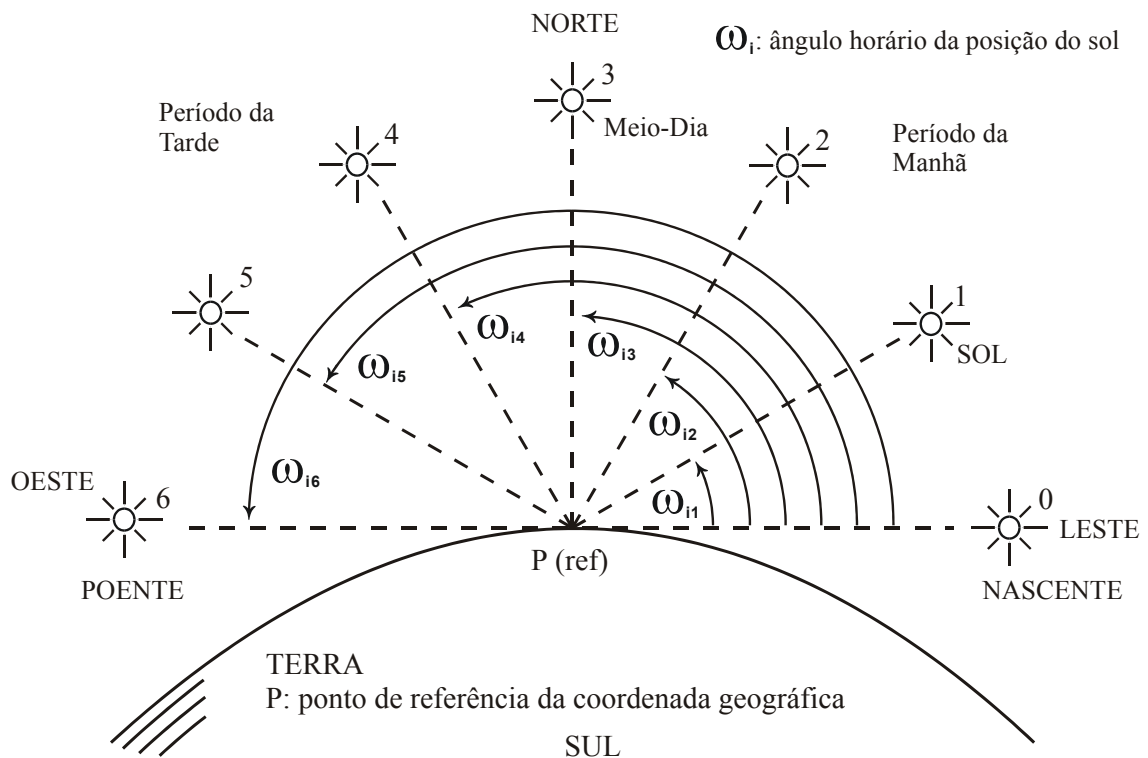


FIGURA 7 – ILUSTRAÇÃO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO ÂNGULO HORÁRIO DURANTE O PERÍODO DIURNO.

A Figura 7 mostra o ponto P como referencial do Coletor Solar posicionado no Hemisfério Sul, coincidindo com o Sol nascente a Leste e poente a Oeste.

Para a elaboração da Curva de Insolação, foi considerado o ângulo horário (ω_i) positivo a Leste e na evolução temporal do dia o mesmo vai decrescendo até chegar ao meio-dia onde seu valor é zero. No período vespertino, o ângulo horário continua decrescendo mas assumindo valores negativos até culminar no poente com ângulo horário próximo de 90° .

O programa de simulação numérica calcula o ângulo horário no nascente (ω_{ISS}) e o ângulo horário no poente (ω_{ISR}), onde a cada segundo no decorrer do dia corresponde uma variação deste ângulo horário. O programa computacional utiliza a Eq. (1.6) para a elaboração da curva de insolação.

1.2.4 CURVA DE INSOLAÇÃO

A Eq. 1.6, (IQBAL, 1983), apresenta a curva teórica esperada sobre a radiação térmica pelo horário do dia.

$$I_{o\beta} = I_{sc} E_o [\text{sen}(\delta) \text{sen}(\phi - \beta) + 0,9772 \cos(\delta) \cos(\phi - \beta) \cos(\varpi_i)] \quad (1.6)$$

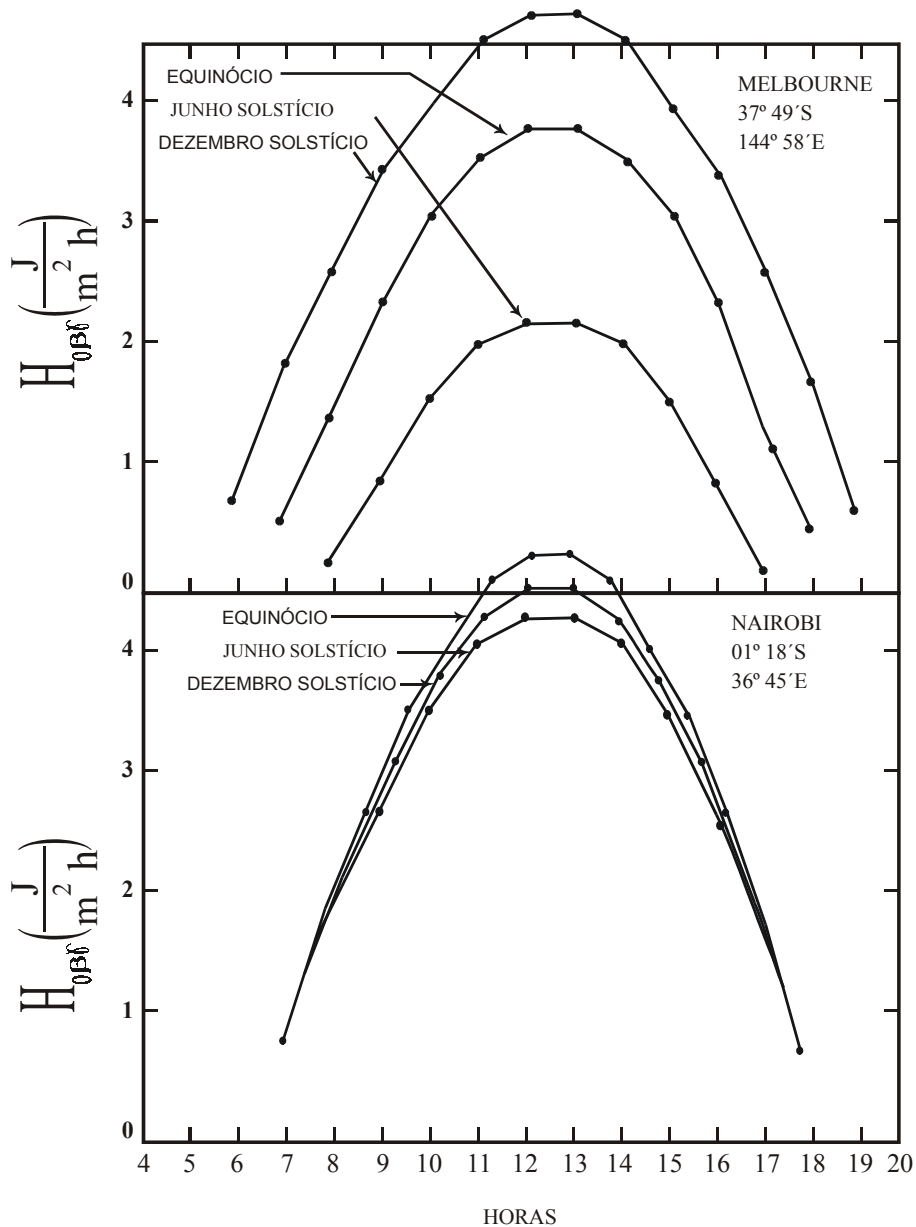


FIGURA 8 – VARIAÇÃO DA IRRADIAÇÃO EXTRATERRESTRE EM UM PLANO HORIZONTAL AO LONGO DE UM PERÍODO DESDE O INÍCIO ATÉ AO FINAL DO DIA. (IQBAL, 1983).

A Figura 8 representa a curva de energia acumulada pelo Coletor Solar no decorrer do período de insolação ($H_{o\beta\gamma}$ x tempo) de duas cidades com coordenadas geográficas distintas e distantes entre si, para demonstrar que, quando a referência em questão estiver mais próxima da linha do Equador, ou seja, a Latitude mais próxima de zero grau indica variação bem reduzida da energia acumulada pelo coletor solar no decorrer do dia ou período de insolação e em relação ao ano.

A cidade de Nairobi está bem próxima à linha do Equador, indicada pela Latitude de 1° apenas e a cidade de Melbourne está distante desta linha; logo a variação da energia acumulada pelo coletor é maior durante o dia e no decorrer do ano também.

1.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO COLETOR SOLAR

Os dispositivos utilizados na captação da radiação solar, são denominados de coletores solares. Estes coletores são sistemas que empregam a conversão termodinâmica e, conforme a temperatura obtida, eles são classificados em coletores de baixa, média e alta concentração. O modelo deste estudo neste trabalho é o modelo de baixa concentração.

Os coletores de baixa concentração são conhecidos pela denominação de coletores de placa plana ou coletores planos. De um modo geral, eles são constituídos de uma caixa termicamente isolada na parte inferior, contendo sobre este isolamento uma chapa metálica pintada de preto fosco, podendo ou não ter sobre a citada chapa uma tubulação. A parte superior do coletor está fechada por uma ou duas vidraças formadas por vidros planos transparentes, dependendo do nível de temperatura desejado para o fluido de trabalho. O funcionamento baseia-se na absorção da radiação pela chapa preta, a qual é transformada em calor que por sua vez é transferido ao fluido de trabalho considerado.

O emprego dos coletores planos dar-se-á no aquecimento de água residencial, secagem de frutos, grãos, climatização etc.

A forma geométrica empregada na construção dos coletores planos é via de regra a forma retangular. Nada impede, contudo, que outras formas sejam utilizadas, como a circular ou quadrada.

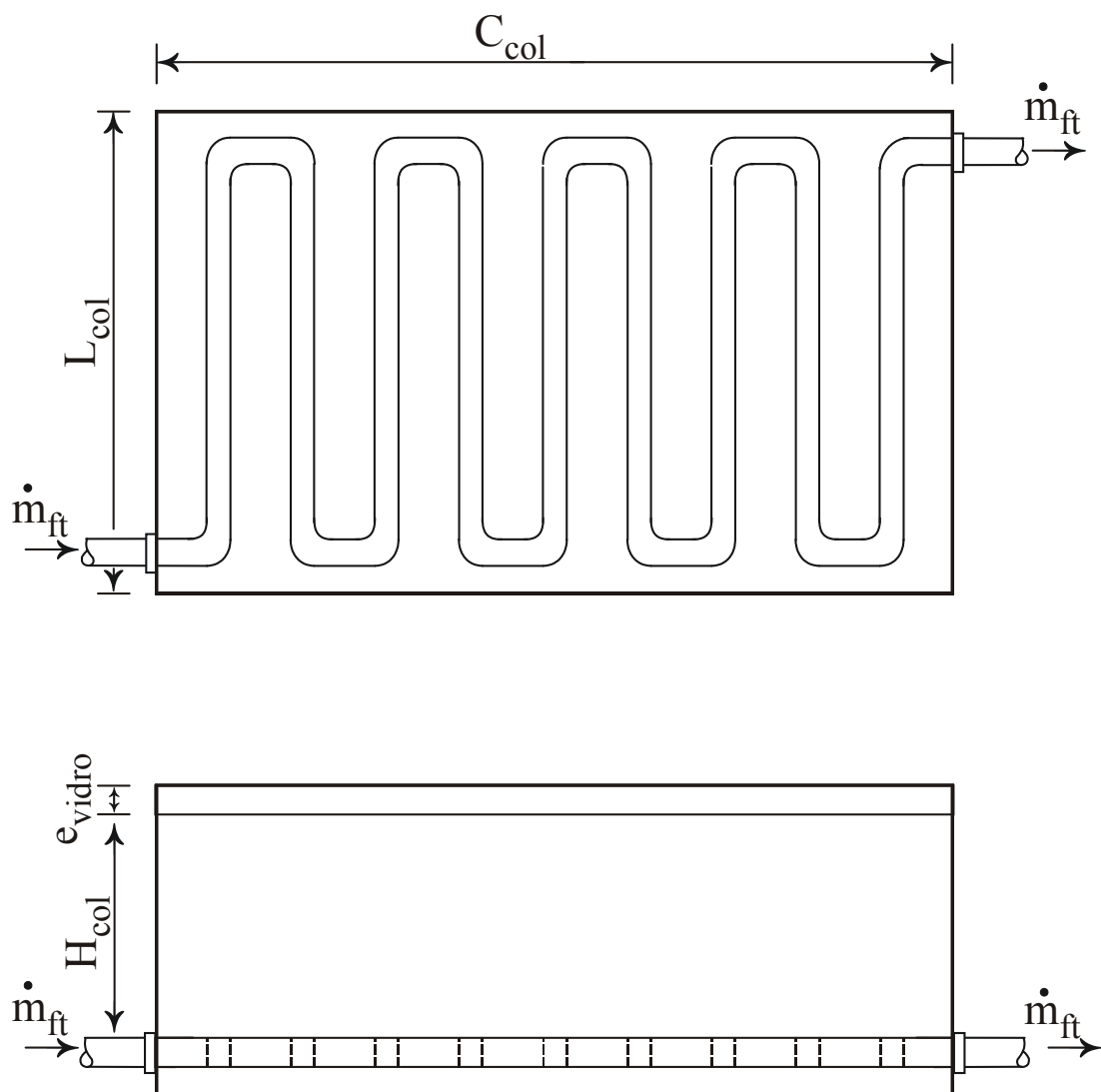


FIGURA 9 – PROJEÇÕES SUPERIOR E ELEVAÇÃO DO COLETOR SOLAR DO TIPO SERPENTINA.

A Figura 9 representa, nas projeções ortogonais, o aspecto construtivo do coletor solar objeto deste estudo.

1.4 MATERIAL DE MUDANÇA DE FASE (MMF)

Por definição, Materiais de Mudança de Fase (MMF) são substâncias como sais inorgânicos, misturas eutéticas e compostos inorgânicos que podem armazenar energia térmica. Aquecidas, tornam-se líquidas e com a propriedade de armazenar energia

através do calor latente térmico e quando resfriadas, se solidificam e portanto, liberam calor.

Existem três classes de Materiais de Mudança de Fase (MMF) disponíveis: orgânicos, hidratos de sais e sais fundidos. A parafina é o único orgânico que está sendo usado em larga escala. Alguns sais hidratados foram usados em aplicações de alta temperatura ISMAIL (1998).

Abaixo, na Tabela 1, são apresentados alguns exemplos de MMF utilizados atualmente.

TIPOS DE MMF		
ORGÂNICOS	HIDRATOS DE SAIS	SAIS FUNDIDOS
- Parafina - Glicões de Polietileno - Polietileno de ligação cruzada	- Cloreto de Cálcio hexa-hidratado - Brometo de cálcio hexa-hidratado - Niotrato de magnésio hexa-hidratado	- Mistura de nitrato de sal

TABELA 1 - EXEMPLOS DE MMF. (ISMAIL, 1998).

A indústria do refino de Petróleo é aquela onde o óleo bruto é transformado em diversos materiais combustíveis, tais como: gasolina, óleo diesel e o gás liquefeito de petróleo.

Com a obtenção destes produtos ainda se origina um subproduto, que é o Resíduo Asfáltico de Petróleo, que representa um passivo ambiental. Entretanto, possuir as propriedades físico-químicas adequadas para viabilizar este estudo.

O resíduo asfáltico do refino de petróleo é uma substância heterogênea e não estética, porém com variações de entalpia as temperaturas quase constantes.

O potencial de uso deste resíduo como MMF para acúmulo de energia se dá pelas seguintes razões:

- 1) Uma mudança de fase significativa ocorre em torno de 65°C;
- 2) Este material é um resíduo e portanto de baixo custo;
- 3) Há disponibilidade de grandes volumes;
- 4) Este resíduo ainda pode ser beneficiado com aditivos para um determinado perfil de mudança de fase de interesse.

Os materiais de mudança de fase acumulam energia térmica como calor latente a baixas temperaturas, e são dispostos/depositados em tanques com dimensões compactas o que é de interesse para sua implementação prática. Estes equipamentos são utilizados principalmente no condicionamento de ar e água em prédios, residências, escritórios, comércio e indústria em geral, onde o conforto é um aspecto importante para o desempenho humano.

O objetivo fundamental destes equipamentos é aliviar os efeitos dos picos de carga elétrica. A energia é armazenada no material de mudança de fase (MMF). A transferência de energia do material de mudança de fase é obtida com o circuito do fluido térmico de trabalho. Durante o período de carga do armazenador, é utilizado o circuito de refrigeração. Um adequado funcionamento do equipamento e a coordenação exata entre os componentes é obtido com sistema de controle adequado.

1.5 CLORETO DE CÁLCIO HEXA-HIDRATADO

Foi escolhido um MMF de referência para a comparação com o resíduo de refinaria e para ajustes da simulação.

O Material de Mudança de Fase (MMF) utilizado neste trabalho é o Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado pertencente ao grupo dos sais hidratados que são disponíveis na faixa de 7°C a 117°C de temperatura de fusão.

O Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado é obtido da separação da salmoura.

Ponto de Fusão	305 K
Ponto de Ebulição	405 K
Calor de Fusão	192 kJ/kg
Calor Específico (líq.)	2100 J/kg K
Calor Específico (sol.)	1420 J/kg K
Massa Específica (líq.)	1562 kg/m ³
Massa Específica (sol.)	1802 kg/m ³

TABELA 2: PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DO CLORETO DE CÁLCIO HEXA-HIDRATADO, ISMAIL (1988).

O presente trabalho prevê a utilização do Resíduo Pesado do Refino de Petróleo (RPRP) como o Material de Mudança de Fase (MMF).

Na Tabela 3, apresentam-se os dados termo-físicos de um hipotético resíduo pesado do refino de petróleo (RPRP), baseado em experimentos JACOBS,(2003) com cimento asfáltico, conhecido como CAP-20 REPAR,(2004).

O presente trabalho este em fase de prospecção das possibilidades de utilização de resíduos pesados de refino de petróleo, como MMF para o acúmulo de energia térmica. Assim, as propriedades podem representar em ordem de grandeza uma seleção de RPRP ou a combinação entre eles e outros aditivos (“dopagem”).

Temperatura de Fusão:	65°C = 338K
Calor Específico (Sól.):	1.250 $\frac{\text{J}}{\text{kg.K}}$
Calor Específico (Líq.):	1.250 $\frac{\text{J}}{\text{kg.K}}$
Calor Latente de Fusão:	50.000 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Massa Específica (Sól.):	1.050 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Massa Específica (Líq.):	1.050 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

TABELA 3: PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DO RESÍDUO PESADO DO REFINO DE PETRÓLEO (RPRP), JACOBS (2003).

Cabe salientar que há poucas informações a respeito deste material. Por se tratar de resíduo proveniente de refinarias as companhias de petróleo, não são fornecidas ou divulgadas as propriedades termofísicas deste material. O único dado obtido do resíduo asfáltico obtido na literatura técnica foi encontrado em PERRY'S (1984) onde foi encontrado apenas o calor específico sem citar se seu estado físico é sólido ou líquido:

$$C_p = 0,22 \frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}} = 919,6 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

1.6 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF

Os Materiais de Mudança de Fase (MMF) acumulam energia térmica como calor latente a temperatura ambiente moderada, facilitando a sua utilização no decorrer do ano em países sub-tropicais, como é o caso do Brasil. Os mesmos são encapsulados e armazenados em tanques com dimensões compactas, o que é de interesse para sua aplicação prática em grande para das instalações, tais como, residências, apartamentos, edificações comerciais e industriais. Estes equipamentos são utilizados principalmente no condicionamento de ar e água em prédios, residências, escritórios, comércio e indústria em geral, onde o conforto é um aspecto importante para o desempenho humano.

O aquecimento do Material de Mudança de Fase (MMF) é obtido com a circulação do fluido térmico de trabalho aquecido proveniente do coletor solar. Quando o Material de Mudança de Fase (MMF) estiver com a temperatura adequada, há condições de oferecer a troca de calor com um circuito de água resfriada, que posteriormente será aquecida. A Figura 10 ilustra o arranjo geométrico de um tanque de armazenamento de MMF.

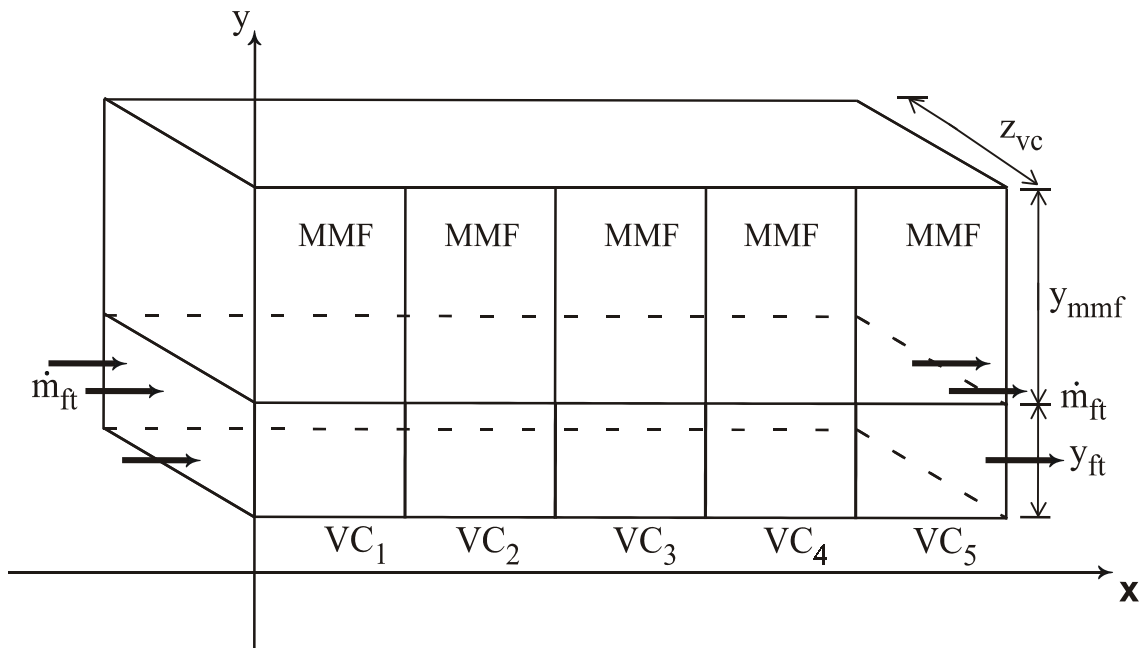


FIGURA 10 – PROJETO GEOMÉTRICO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF.

1.7 OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho é de estudar a viabilidade teórica e técnica da utilização de resíduos proveniente de processos de refinação de petróleo, os quais são denominados Materiais em Mudança de Estado (MMF). Estes, com temperaturas moderadas, mudam-se de estado físico, processo no qual conseguem armazenar energia térmica através de um fluido térmico de trabalho previamente aquecido através de um coletor de energia solar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O mundo inteiro vive hoje um novo desafio: continuar seu desenvolvimento e atender as necessidades do homem moderno sem, contudo, degradar de modo o meio-ambiente. Tal desafio pode ser resumido por duas palavras: desenvolvimento sustentável.

Para a conservação de energia, o aproveitamento da energia solar para aquecimento de água tem se mostrado extremamente eficaz. O aquecimento solar tem totais condições de se tornar a opção brasileira de aquecimento de água: custos competitivos, tecnologia própria e uma imensa riqueza energética através de uma fonte inesgotável – o Sol (MONTENEGRO, 2000).

BECKMAN *et al.* (1982) define **banco de gelo** como armazenador de energia térmica por calor latente “LHTES” e utilizado principalmente em processos de ar condicionado. Estes autores tratam conceitos de armazenamento térmico em geral e ilustram alguns aspectos dos sistemas de armazenamento de bancos de gelo.

GRUMAN *et al.* (1988) descreveram que a energia armazenada no tanque é produzida pelo sistema de refrigeração.

A recuperação e utilização desta energia contida no gelo é feita pelo sistema de transporte de energia onde um fluido de temperatura de solidificação (massa de água a ser aquecida) mais baixo do que a água que circula através de tubos no meio do banco de gelo (massa do fluido térmico de trabalho), absorve e transfere esse calor para a água com a temperatura mais baixa por um sistema de troca de calor. Todo este processo aparentemente simples deve ser controlado, cuidadosamente, por um sistema de medição de temperatura, velocidades, fluxos de vazão e outros parâmetros.

SILVER *et al.* (1989) desenvolveram modelos matemáticos para cada componente dos sistemas de banco de gelo, com o objetivo de simular o desempenho destes equipamentos. Estes modelos são incorporados num simulador maior que compreende análises energéticas completas em edifícios, permitindo simular diversos tipos de configurações e estratégias de controle que podem ser manipulados através da conexão desses componentes. Estes autores mencionam os impactos dos picos de demanda como o principal objetivo dos bancos de gelo. Outro aspecto importante é que

o simulador geral inclui um algoritmo para simular os sistemas de carga, que são imprescindíveis para modelar as cargas de resfriamento e os perfis da demanda de energia elétrica.

KAYGUSUZ (1993) realizou experimentos com a finalidade de comparar materiais que armazenam energia térmica através de calor sensível e calor latente. Com o objetivo de estudar o calor latente, o autor inseriu em seus experimentos o Cloreto de Cálcio hexahidratado, o qual representa um sal hidratado de baixo custo industrial e capaz de representar a classe dos Materiais de Mudança de Fase que acumulam grande quantidade de energia térmica.

Água e rochas têm sido considerados os materiais mais práticos para o armazenamento de energia térmica através do calor sensível devido à sua alta capacidade calorífica e custo reduzido.

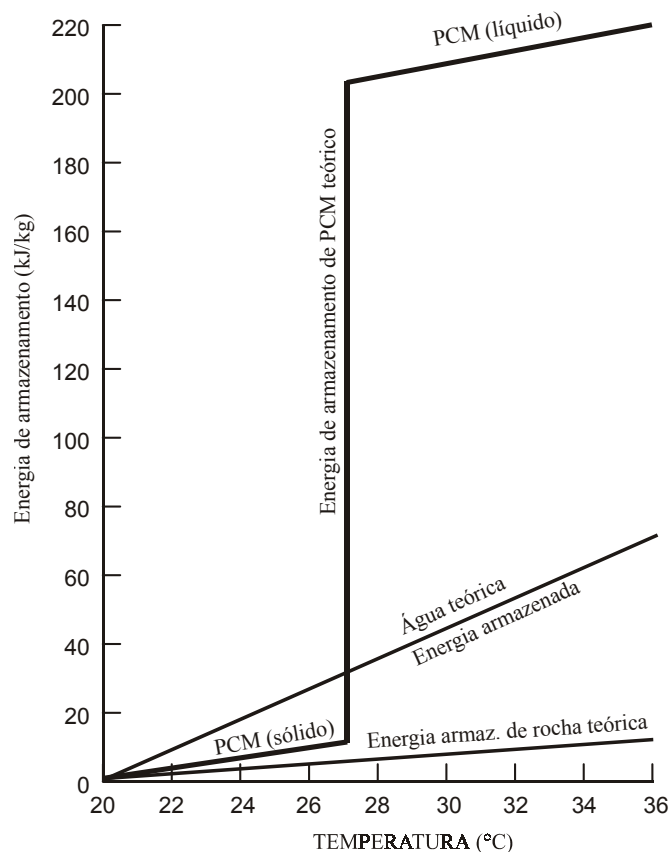


FIGURA 11 – GRÁFICO COMPARATIVO DO ACÚMULO DE ENERGIA TÉRMICA DOS MATERIAIS: CLORETO DE CÁLCIO HEXA HIDRATADO (MMF), ÁGUA E LEITO DE ROCHAS. (KAYGUSUZ, 1983).

Nota-se, através da Figura 11, que o Cloreto de Cálcio hexa hidratado, isto é, o Material de Mudança de Fase em estudo, por intermédio de seu calor latente possui grande capacidade de armazenar energia térmica pela sua mudança de fase de sólido para líquido.

Observa-se que a rocha e a água são materiais representativos de calor sensível, pois acumulam pouca quantidade de energia térmica quando comparados com o Cloreto de Cálcio hexa-hidratado.

SOMASUNDARAN *et al.* (1993) estimaram que no ano de 2000, de acordo com as projeções de consumo de energia elétrica, 40% da demanda total seriam destinadas a satisfazer os picos; daí a importância dos estudos que vêm se desenvolvendo nos principais centros de pesquisa como: fábricas, universidades, e instituições específicas com estes objetivos.

PEEBLES (1994) descreveu a utilização dos bancos de gelo numa indústria alimentícia, onde o resfriamento do leite e o aquecimento da água são críticos. Este autor comparou vários tipos de equipamentos obtendo importantes vantagens dos sistemas de armazenamento por banco de gelo, principalmente no alívio das cargas dos picos de demanda. A comparação que é feita está baseada principalmente em aspectos econômicos e técnicos, apresentando gráficos e tabelas nos seus resultados.

SIVERLING (1995) estudou as necessidades de controlar a temperatura nos centros de computação, onde estas condições devem ser mantidas 24 horas do dia e durante o ano todo. Em eventuais períodos de corte de energia ou manutenção, produz-se inevitavelmente acréscimo de temperatura, que podem danificar os equipamentos de computação. Utilizando os sistemas de armazenamento de bancos de gelo em paralelo com os “chillers” existentes consegue prover resfriamento temporário por um período de 30 minutos, tempo suficiente para reposição dos “chillers”.

ISMAIL (1998) define que Bancos de Gelo são equipamentos que armazenam energia como calor latente, a baixas temperaturas. Possuem dimensões compactas, o que é de interesse para sua implementação prática. Estes equipamentos são utilizados principalmente no condicionamento de ar em prédios, residências, escritórios, comércio

e indústria em geral, onde o conforto é um aspecto importante para o desempenho humano.

BOJIC et al. (2000) estudaram um sistema de aquecimento de água residencial por energia solar usando um modelo de marcha temporal. As simulações foram realizadas com coletor solar de 3 m² de área e com um consumo diário de 250 litros de água representando uma família de 4 pessoas. Foi considerada a temperatura de entrada de água a 12° C e saída entre 50°C e 80°C.

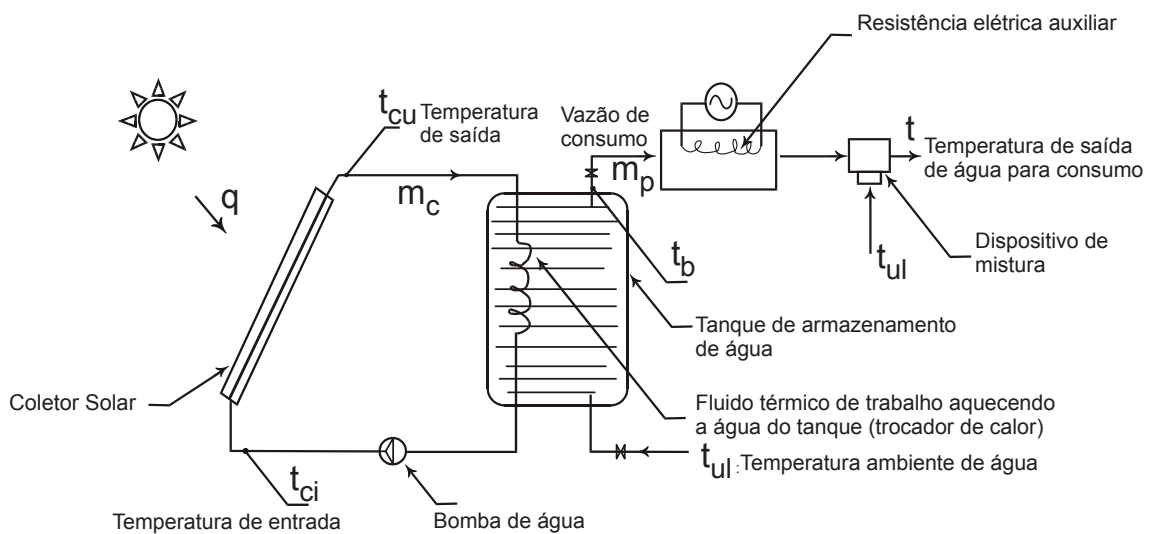


FIGURA 12 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO RESIDENCIAL (DHW). REF.: (BOJIC, 2000).

O resultado deste experimento de **BOJIC et al.** (2000) pode ser usado para se projetar um sistema de coletor por intermédio da energia solar. Os resultados obtidos com diferentes volumes de armazenamento indicam que sistemas com grande volume armazenado produzem maiores frações solares. Um sistema com um volume de armazenamento ótimo, com uma sólida análise econômica e levando-se em conta que em compensação ao investimento inicial será devidamente amortizado pela economia com combustível ou o uso da eletricidade.

3. MODELO MATEMÁTICO

3.1 METODOLOGIA

Conforme foi analisado na revisão bibliográfica deste trabalho, observa-se a existência de vários modelos complexos para modelagem de alguns processos isolados que ocorrem no interior do coletor solar e do tanque de armazenamento. Esses modelos bi e tri-dimensionais não são adequados para a análise do sistema como um todo, por requererem a resolução de equações diferenciais parciais para a simulação de fluxo de calor em um número elevado de diferentes configurações de fluxos e de parâmetros de operação.

Considerando as grandes dimensões do macro sistema a ser analisado, foi escolhida uma técnica de modelagem matemática relativamente simples, suficientemente representativa do coletor solar e do tanque de armazenamento e dos processos de transporte que nele se desenvolvem.

O modelo físico simplificado combina conceitos teóricos da Termodinâmica Clássica com conceitos e correlações empíricas de Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, resultando num conjunto de equações diferenciais ordinárias e algébricas.

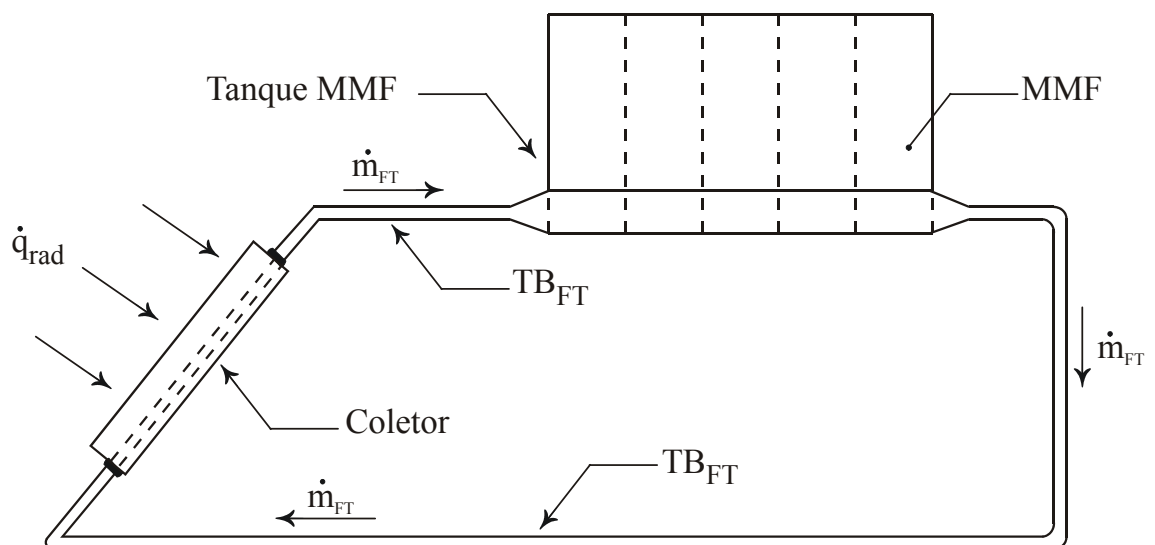


FIGURA 13 - SISTEMA DE AQUECIMENTO COMPLETO DO MMF ARMAZENADO.

A Figura 13, representa o sistema completo do *coletor solar - tanque de armazenamento*, funcionando em dois sub sistemas interligados entre si. Ambos são divididos em volumes de controle de interesse com a finalidade de demonstrar o fluxo de carga térmica, e aquecimento e evolução do campo de temperaturas. O estudo preliminar do modelo visa dar uma idéia inicial no tocante ao dimensionamento de áreas, volumes, insolação e vazão mássica.

3.2 COLETOR SOLAR

A Figura 14 ilustra o comportamento do fluxo de cargas térmicas durante o período de aquecimento de insolação, crescente no período da manhã.

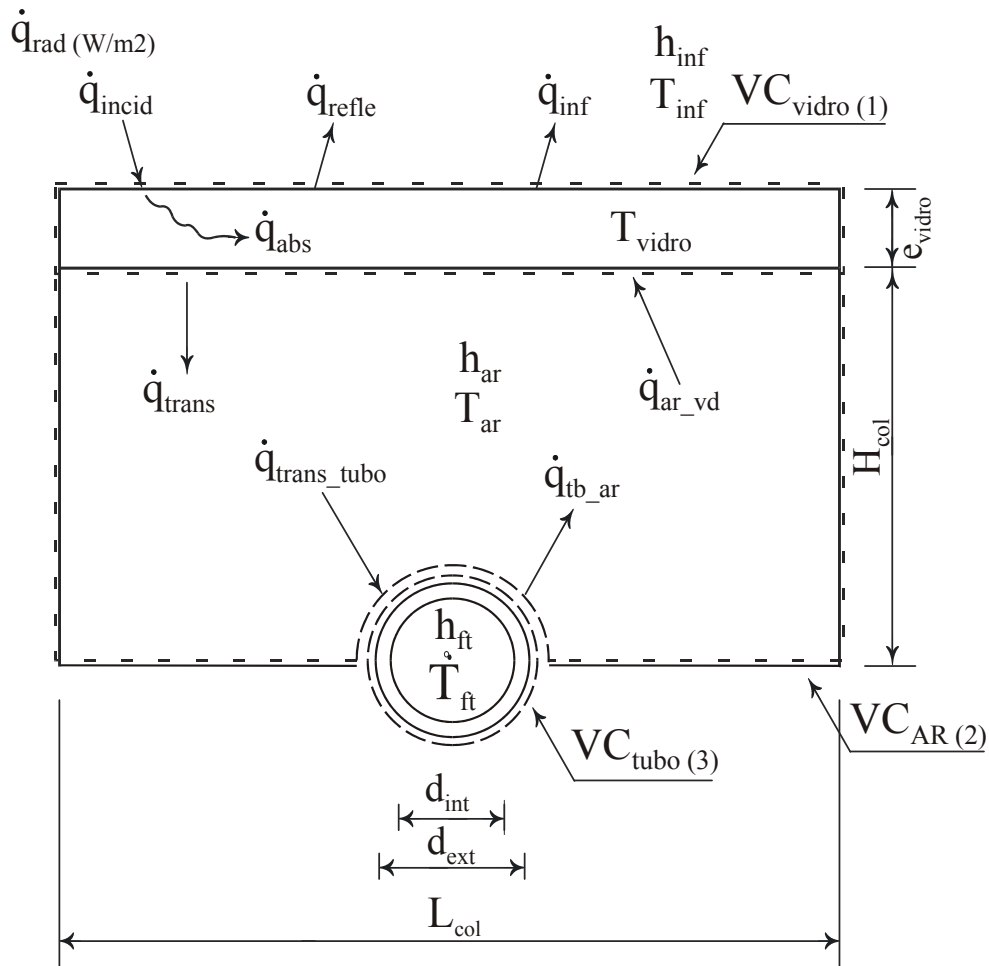


FIGURA 14 – FLUXOS DE CALOR NO INTERIOR DO COLETOR SOLAR DURANTE O PERÍODO DE AQUECIMENTO.

Para a determinação dos fluxos de calor no coletor solar foi admitida uma situação de aquecimento com a variável temporal de insolação ($I_{o\beta\gamma}$), assumindo valor característico a cada segundo no decorrer do dia ou período de insolação.

A insolação atinge o vidro, sendo que o mesmo reflete, absorve e transmite essa insolação recebida pelo coletor. Grande parcela da insolação recebida é absorvida pelo tubo, do fluido térmico de trabalho que entra à temperatura ambiente (298,15K) e sai já aquecido. O aquecimento do ar interno dar-se-á pelo tubo. As dimensões básicas do coletor foram obtidas de catálogos de fabricantes e ficando apenas com as variáveis comprimento do coletor (C_{COL}) e largura do coletor (L_{COL}), como possíveis variações de parâmetros, mas utilizando dimensões usuais comercialmente.

Basicamente, o coletor solar é dividido em 4 (quatro) volumes de controle, assim designados conforme a Figura 14:

- VC_1 : Vidro do coletor solar;
- VC_2 : Ar interno do coletor solar;
- VC_3 : Tubo do fluido térmico do coletor solar;
- VC_4 : Fluido térmico do coletor solar.

Aplicando a primeira Lei da Termodinâmica para esses volumes de controle temos a variação temporal da temperatura considerada em relação ao tempo.

Para o VC_1 (Vidro), o VC_2 (Ar Interno) e o VC_3 (Tubo do Coletor) temos respectivamente as Eqs. (3.1), (3.2) e (3.3):

$$\frac{dT_V}{dt} = \frac{\dot{Q}_{IN} - \dot{Q}_{OUT}}{\rho_V C_{V_V} V_V} \quad (3.1)$$

$$\frac{dT_{AR}}{dt} = \frac{\dot{Q}_{IN} - \dot{Q}_{OUT}}{\rho_{AR} C_{V_{AR}} V_{AR}} \quad (3.2)$$

$$\frac{dT_{TB}}{dt} = \frac{\dot{Q}_{IN} - \dot{Q}_{OUT}}{\rho_{TB} C_{V_{TB}} V_{TB}} \quad (3.3)$$

Para o VC₄ (fluido térmico de trabalho) têm-se a equação (3.4):

$$\frac{dT_{FT}}{dt} = \frac{\dot{Q}_{IN} - \dot{Q}_{OUT} + \dot{m}_{FT} C_{p_{FT}} (T_{IN} - T_{OUT})}{\rho_{FT} C_{V_{FT}} V_{FT}} \quad (3.4)$$

Com a finalidade de se obter um perfil evolutivo de temperaturas no tubo do fluido térmico de trabalho, procede-se à divisão do mesmo em 5 (cinco) sub-volumes de controle desde a entrada do fluido térmico de trabalho, que entra com a temperatura de água resfriada, até a saída do coletor, com a água já aquecida.

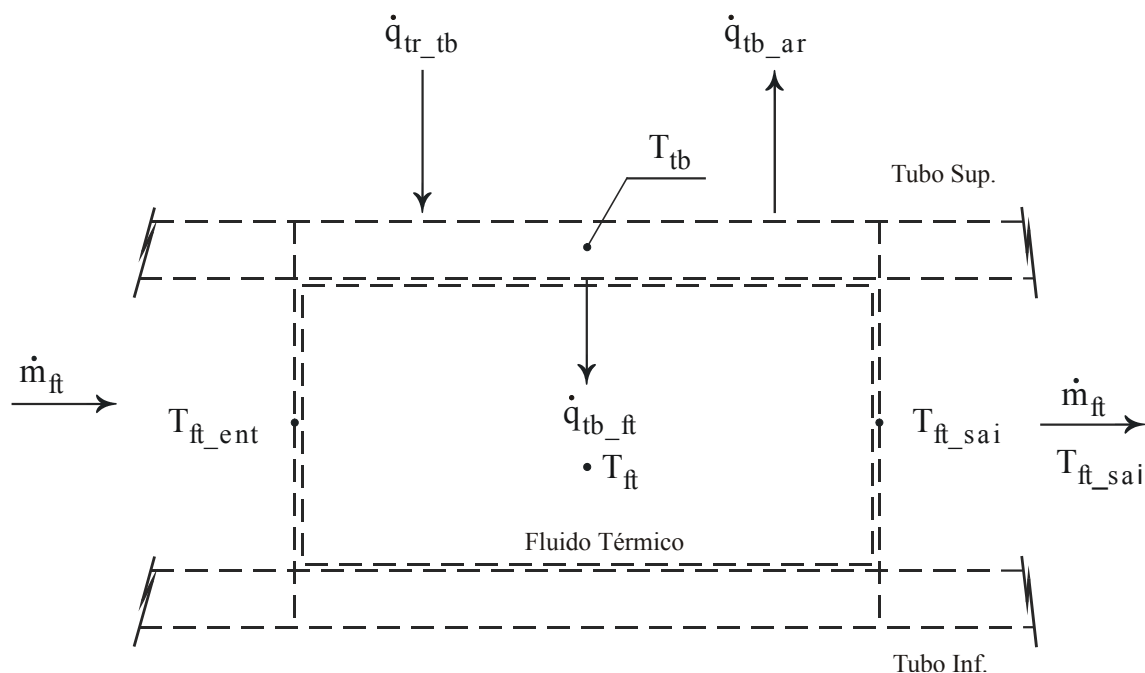


FIGURA 15 – INTERAÇÃO ENTRE OS FLUXOS DE CALOR ENTRE O TUBO DO COLETOR E O FLUIDO TÉRMICO DE TRABALHO.

A Figura 15 ilustra um volume de controle do tubo e do fluido térmico interagindo com os fluxos de calor e de massa. A insolação que atinge a área da superfície lateral do tubo acumula energia com o tempo e transfere parte para o fluido em movimento.

O tubo também contribui para o crescimento da temperatura do ar interno do coletor.

O tubo e o fluido térmico estão integrados entre si e coexistindo em dois perfis de temperaturas definidas. Para a construção desse perfil, foi dividido o tubo em 5 (cinco) volumes de controle juntamente com o fluido térmico para uma melhor visualização e estudo.

Com o objetivo de representar o perfil de temperatura crescente nos 5(cinco) sub-volumes de controle do tubo do coletor, toma-se como referência a Eq. (3.5) obtida em BEJAN, (1984).

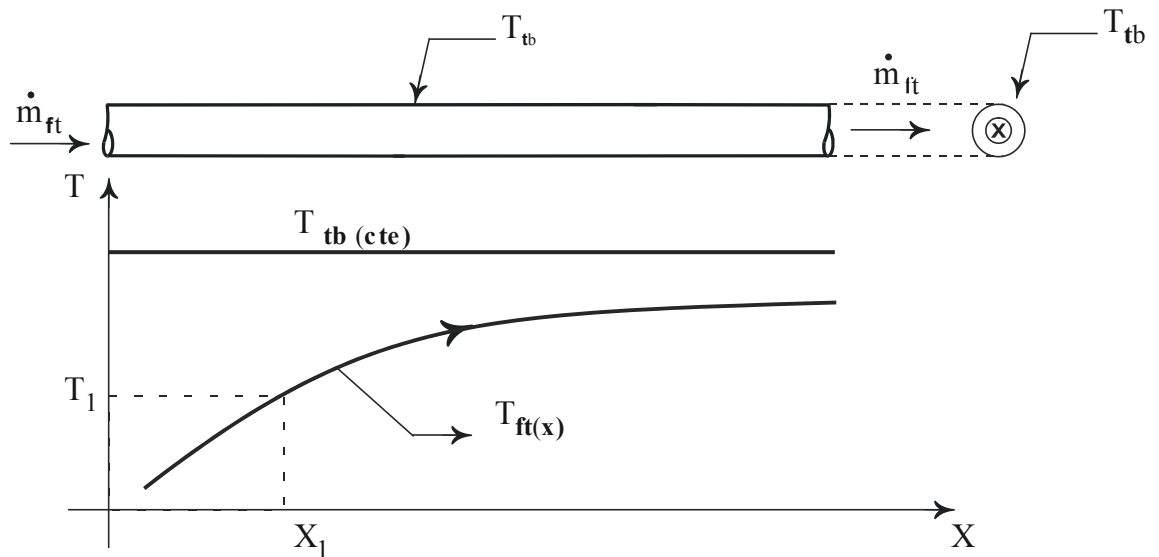


FIGURA 16 - PERFIL DE TEMPEARTURA ENTRE O TUBO DO COLETOR E O FLUIDO TÉRMICO DE TRABALHO.

REF.: (BEJAN, 1984).

A Eq. (3.5) e a Figura 16 representam o perfil de temperatura no fluido térmico de trabalho com a temperatura do tubo constante em toda a extensão do mesmo no interior do coletor solar.

$$T_{TB} - T_{FT(X)} = (T_{FT} - T_1) \cdot \exp \left[\frac{-\eta \text{Nu} (x - x_1)}{R_o^2 U_\infty} \right] \quad (3.5)$$

Com o fluido térmico dividido em 5 (cinco) volumes de controle, há a existência de um perfil crescente de temperatura ao longo do comprimento do escoamento do fluido, saindo o mesmo, do coletor, com aquecimento definido.

Define-se como parâmetro de projeto e determinação dos fluxos de calor o escoamento laminar completamente desenvolvido com vazão mássica do fluido térmico (\dot{m}_{FT}) constante e previamente escolhido.

O regime de escoamento do fluido térmico é completamente desenvolvido do tipo laminar com número de Reynolds inferior a 2300, ou seja, $Re < 2300$.

No presente trabalho, considera-se $Re = 1471$, logo a vazão de fluido térmico é em torno de $\dot{m}_{FT} = 8,307210^{-3} \text{ kg/s}$ e também em função do diâmetro interno do tubo. Foi considerado a temperatura do tubo constante em todo o seu comprimento.

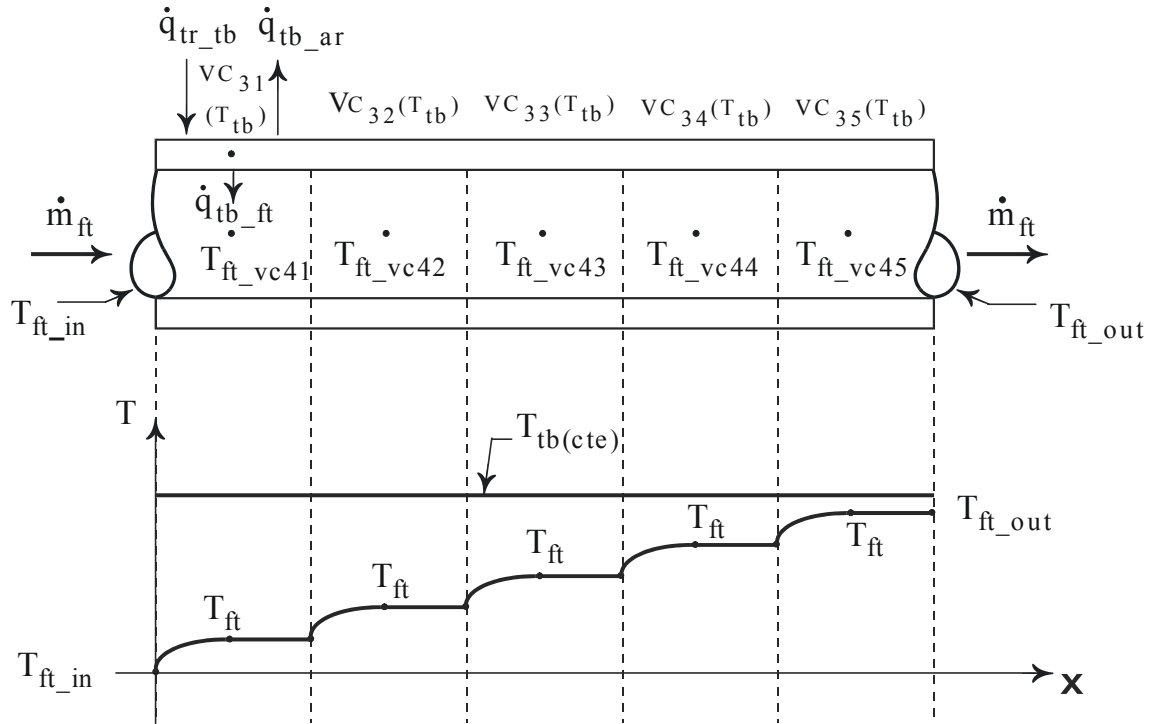


FIGURA 17 – PERFIL DE TEMPERATURA ESPERADA DO FLUIDO TÉRMICO NO INTERIOR DO TUBO DO COLETOR.

Com o objetivo de visualizar a seqüência dos perfis de temperatura nos 5(cinco) volumes de controle do conjunto fluido térmico e tubo, apresenta-se a Figura 17.

A Eq. (3.5) apresenta o campo de temperaturas entre os volumes de controle ou em suas extremidades, as quais não representam a sua temperatura média aproximada.

Objetivando apresentar a melhor temperatura do fluido térmico, recorre-se ao conceito de temperatura média integral (\bar{T}_M) ao longo do perfil de temperaturas produzido pela Eq. (3.5), a qual obtém-se isolando a temperatura do fluido térmico (T_{FT}) na referida equação que apresenta-se a seguir:

$$\bar{T}_M = T_{FT} = \frac{1}{\Delta X} \int_0^{\Delta X} T_{FT}(x) dx \quad (3.6)$$

onde:

$$\Delta x = x - x_1 \quad (3.7)$$

representa o comprimento do volume de controle do fluido térmico do escoamento.

3.3 TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF

A modelagem matemática do problema de mudança de fase descreve os fenômenos de difusão e de continuidade, e a sua solução é inerentemente difícil, pois a interface entre as fases sólida e líquida se move à medida que o calor latente é absorvido ou liberado na interface; assim, a localização da interface sólido-líquido não é conhecida a priori e deve resultar como parte da solução ISMAIL (1998).

Na modelagem matemática do tanque de armazenamento de MMF, utiliza-se a primeira Lei da Termodinâmica aplicada aos volumes de controle e equações algébricas de transferência de calor.

Para o MMF utiliza-se:

$$\frac{dT_{\text{MMF}}}{dt} = \frac{\dot{Q}_{\text{IN}} - \dot{Q}_{\text{OUT}}}{\rho_{\text{MMF}} C_{V\text{MMF}} V_{\text{MMF}}} \quad (3.8)$$

O calor perdido através das paredes planas do armazenador é estimado por:

$$\dot{Q} = U A (T_{\text{QUENTE}} - T_{\text{FRIA}}) \quad (3.9)$$

onde U é o coeficiente global de transferência de calor entre o fluido térmico e o MMF e entre o MMF e a água de aquecimento o qual é estimado por:

$$U = \frac{1}{\left[\frac{1}{h_{\text{FT}}} + \frac{e_{\text{TB}}}{k_{\text{TB}}} \right]} \quad (3.10)$$

Para a modelagem matemática do armazenamento de calor latente, será utilizado o Modelo de MORRISON, (1977) que mais se adapta ao caso em estudo. Para isso, adota-se algumas hipóteses simplificadoras:

- durante o aquecimento e o resfriamento do MMF a condução de calor longitudinal e transversal será desprezada;
- as perdas de calor perpendiculares ao sentido de aquecimento serão desprezados;
- o número de Biot é suficientemente pequeno, implicando que os gradientes na temperatura normal ao escoamento pode ser desprezado;
- troca de calor por radiação térmica será desprezado.

$$u = C_{VSOL} (T_{MMF} - T_{REF}) \quad \text{para} \quad T_{MMF} < T^* \quad (3.11)$$

$$u = C_{VSOL} (T^* - T_{REF}) + X\lambda \quad \text{para} \quad T_{MMF} = T^* \quad (3.12)$$

$$u = C_{VSOL} (T^* - T_{REF}) + \lambda + C_{VLIQ} (T_{MMF} - T^*) \quad \text{para} \quad T_{MMF} > T^* \quad (3.13)$$

Em seu processo de aquecimento, inicialmente, o MMF está no estado sólido, logo a sua fração líquida é zero ($X_{MMF} = 0$), e no seu processo de aquecimento o mesmo vai passando para o estado líquido, e quando o mesmo se transformar totalmente terá a sua fração líquida igual a unidade ($X_{MMF} = 1$). Para monitorar essa grandeza, utiliza-se o conceito de taxa de variação da fração líquido em relação ao tempo ao qual pode-se representar como a 1ª Lei da termodinâmica para a mudança de fase:

$$\frac{dX_{MMF}}{dt} = \frac{\dot{Q}_{IN} - \dot{Q}_{OUT}}{\lambda m_{MMF}} \quad (3.14)$$

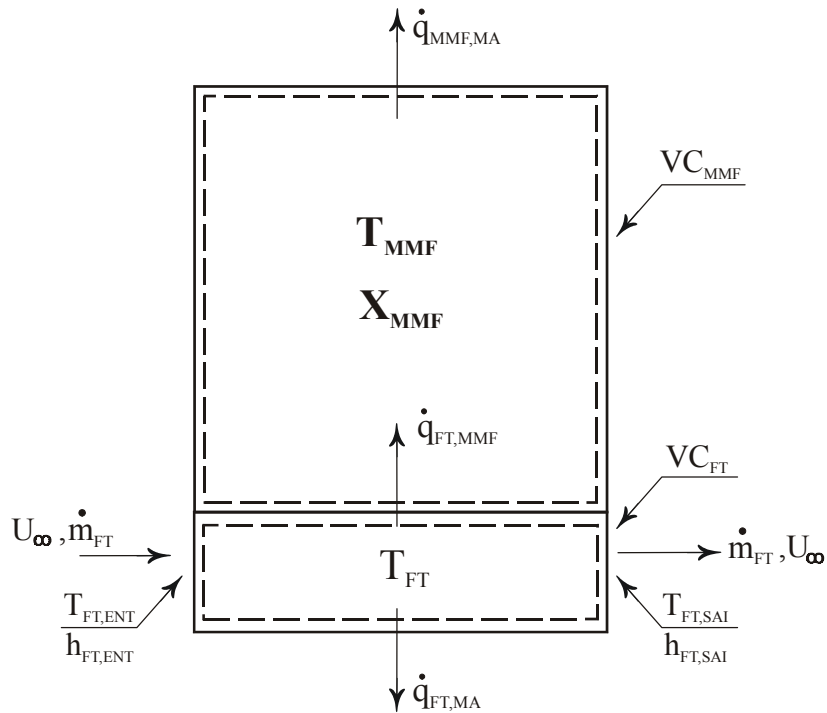


FIGURA 18: VOLUME DE CONTROLE DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DO MMF CONTENDO OS FLUXOS DE CARGA NO PERÍODO DE AQUECIMENTO.

A Figura 18 ilustra um volume de controle conjugado entre o fluido térmico e o MMF no interior do tanque de armazenamento de MMF com suas temperaturas, fração líquida e entrada e saída de massa características.

Os fluxos de calor foram obtidos, considerando, ao mesmo tempo, situação de aquecimento do fluido térmico e MMF.

4. MÉTODO NUMÉRICO

Para solucionar o sistema de equações diferenciais ordinárias, compostas pelas Eqs. (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) e (4.5), foi utilizado o Método Numérico de RUNGE-KUTTA Vetorial de Quarta Ordem Clássico, (e.g., KINCAID, (1990)) cuja fórmula de recorrência é:

$$x(t + h) = x(t) + \frac{1}{6}(F_1 + 2F_2 + 2F_3 + F_4) \quad (4.1)$$

onde:

$$F_1 = h f(t, x) \quad (4.2)$$

$$F_2 = h f\left(t + \frac{1}{2}h, x + \frac{1}{2}F_1\right) \quad (4.3)$$

$$F_3 = h f\left(t + \frac{1}{2}h, x + \frac{1}{2}F_2\right) \quad (4.4)$$

$$F_4 = h f(t + h, x + F_3) \quad (4.5)$$

onde x é a variável dependente (campo de Temperaturas e Fração Líquida), t é a variável independente, h é o intervalo de integração para a variável independente e F_1 , F_2 , F_3 e F_4 são as funções do Método Numérico de RUNGE-KUTTA.

O modelo matemático a ser resolvido possui n volumes de controle divididos em dois grandes sub sistemas (coletor solar e tanque de armazenamento), onde haverá uma resposta de cada volume de controle para cada unidade de tempo a ser incrementada.

Apesar de haver um grande número de soluções numéricas apresentadas na literatura, somente algumas dessas soluções podem ser generalizadas para o tratamento

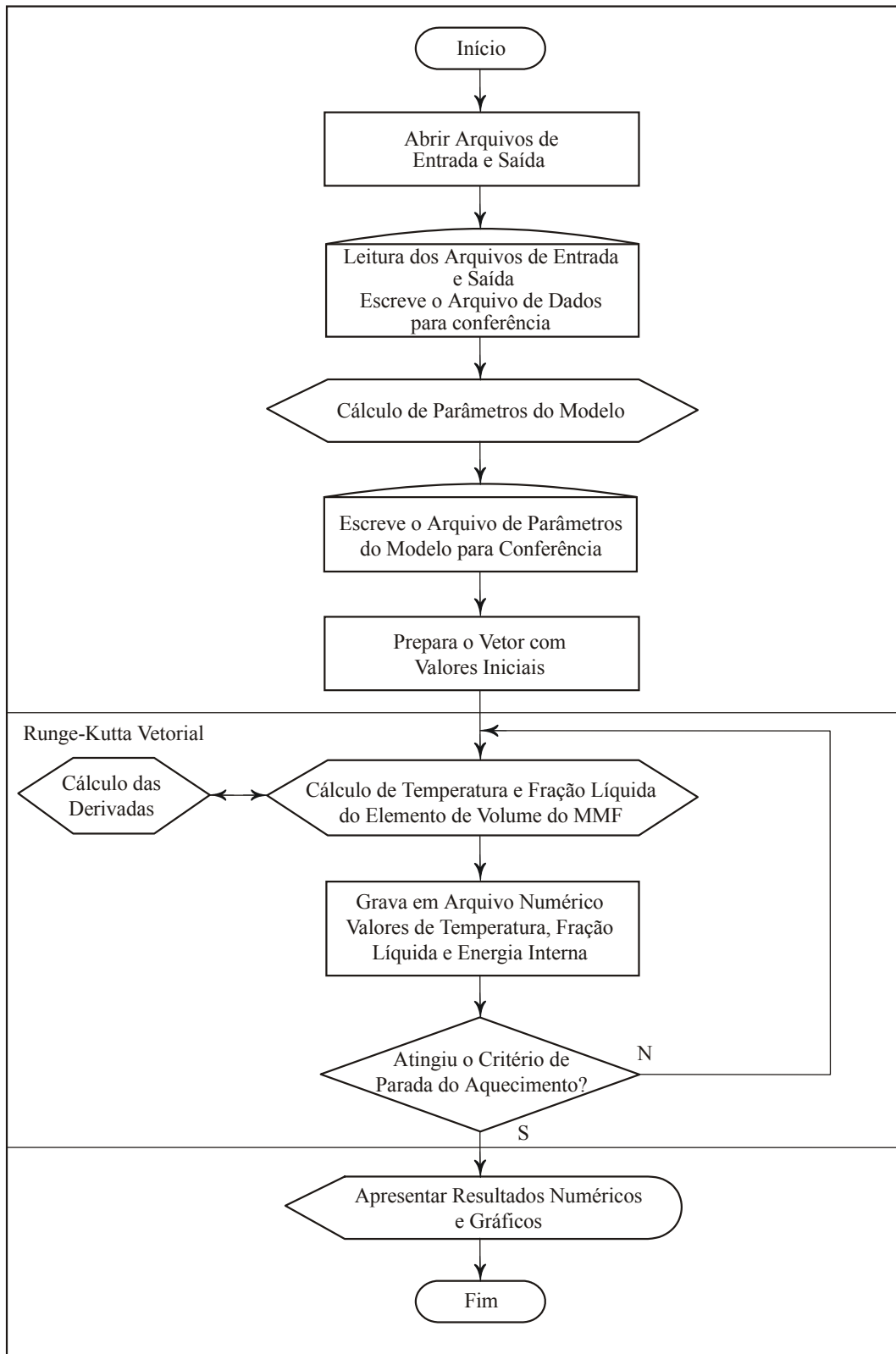
de problemas de mudança de fase em várias dimensões ou situações em que as mudanças de fase ocorrem numa faixa de temperatura em vez de ocorrer num ponto discreto.

Os métodos numéricos usados para resolver os problemas de mudança de fase podem ser divididos em dois grupos. O primeiro é chamado de *soluções numéricas fortes*, em que se aplicam as técnicas de diferenças finitas e elementos finitos na formulação forte do processo, localizando frentes de fusão e solidificação, e encontrando distribuições de temperatura em cada passo de tempo, ou empregando um sistema de coordenadas transformadas para imobilizar as interfaces móveis. Esses métodos são aplicáveis para aqueles processos, envolvendo uma ou duas fases em sistemas unidimensionais que, com o uso de esquemas complicados, são estendidos também aos casos bi e tridimensionais.

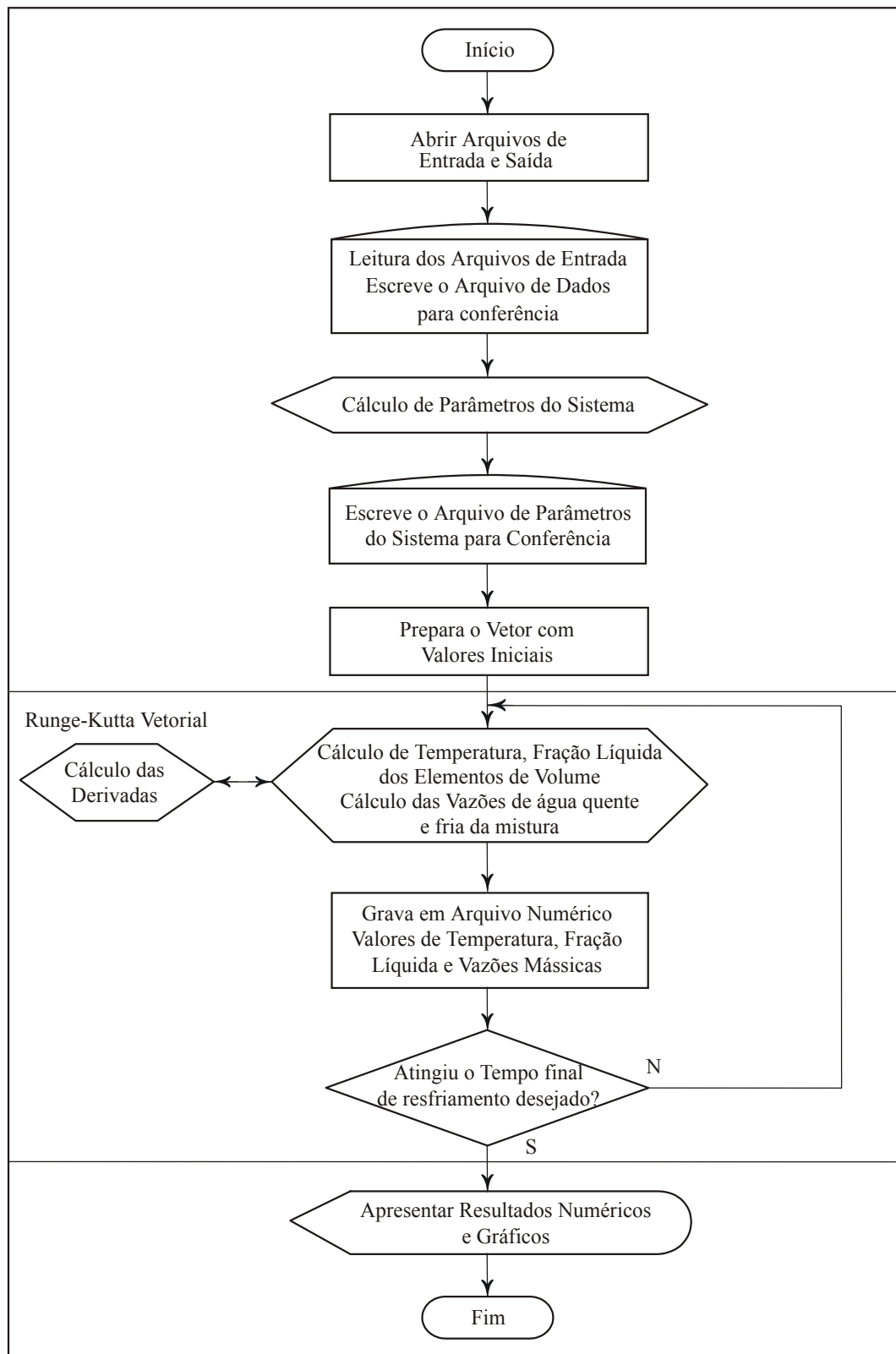
O segundo grupo é chamado de *soluções numéricas fracas*. Esses métodos permitem evitar a atenção explícita à natureza da frente de mudança de fase, aparentam maior flexibilidade e são facilmente estendidas aos problemas multidimensionais. Nesse grupo, os métodos mais importantes e amplamente usados são os métodos entálpicos. A vantagem da formulação entálpica é que o problema formulado numa região fixa não necessita de modificação do esquema numérico a fim de satisfazer as condições na interface móvel da mudança de fase (ISMAIL, 1998).

O trabalho contempla a *solução numérica fraca* onde as equações foram desenvolvidas para simplificar a resolução dos problemas de mudança de fase e se caracterizam por resolver a equação da energia, na qual está embutida a contribuição do calor latente, numa única região formada pelas duas fases. Com esses métodos, elimina-se o problema de seguir a frente de fusão em movimento sobre uma grade discreta.

4.1) FLUXOGRAMAS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO



FLUXOGRAMA 1: FLUXOGRAMA DO AQUECIMENTO DO MMF.



FLUXOGRAMA 2: FLUXOGRAMA DO RESFRIAMENTO DO MMF.

4.2) VALIDAÇÃO DO CÓDIGO E MODELO POR BALANÇOS DE ENERGIA

O objetivo da verificação do balanço de energia no volume de controle termodinâmico é a verificação do código computacional se equações governantes do sistema físico estão conservando a energia ao longo do tempo no volume de controle.

O equacionamento, de uma maneira geral, no balanço energético de um sistema termodinâmico, composto por vários sub-sistemas denominado volumes de controle parciais, dar-se-á de maneira reduzida pela seguinte equação de recorrência:

$$\sum_{i=1}^n \Delta U_{vc_i} = \frac{dE_{vc}}{dt} \Delta t \quad (4.6)$$

O lado esquerdo da Eq. (4.6) representa a variação de energia interna do sistema e o lado direito, a taxa de variação da energia interna do sistema ao longo do tempo.

Onde:

$$\Delta U = m C_v \Delta T = m C_v (T_{FINAL} - T_{INICIAL}) \quad (4.7)$$

e

$$\frac{dE_{vc}}{dt} \Delta t = \int_0^t \left[\sum_{i=1}^n \dot{Q} - \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{sai,i} + \sum_{i=1}^n \dot{m} C_p T_{ent,i} - \sum_{i=1}^n \dot{m} C_p T_{sai,i} \right] dt \quad (4.8)$$

4.2.1) BALANÇO DE ENERGIA DO COLETOR SOLAR

Foi escolhido um intervalo de tempo de 3.000 segundos de $t = 3.001$ s a $t = 6.001$ s para a verificação algébrica do balanço energético do coletor solar.

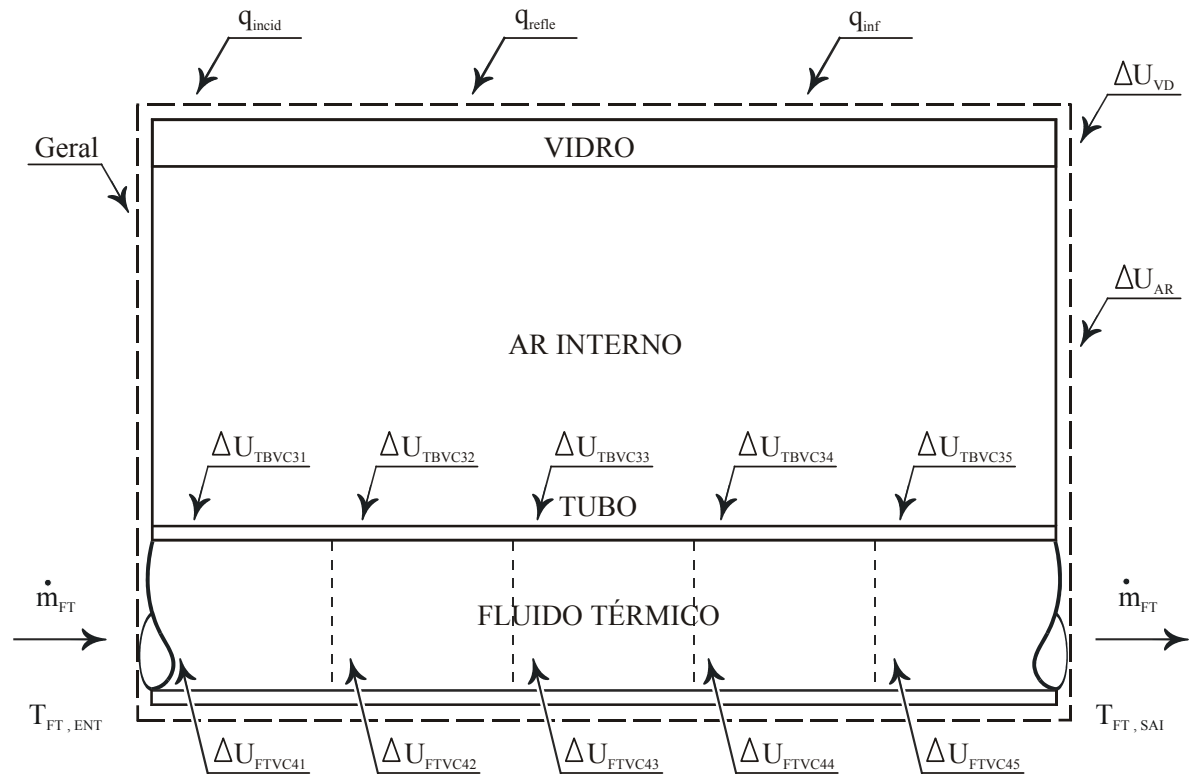


FIGURA 19: FIGURA ESQUEMÁTICA ILUSTRANDO O VOLUME DE CONTROLE GERAL DO COLETOR SOLAR E AS VARIAÇÕES DA ENERGIA INTERNA NOS VOLUMES DE CONTROLE PARCIAIS.

A Figura 19 ilustra o VC geral e parcial do Coletor Solar indicando a entrada e saída dos fluxos de carga, vazão mássica do fluido térmico de trabalho e a variação da energia interna dos volumes de controle parciais no interior do coletor. Foi desconsiderada a perda de calor do fluido térmico para o meio externo. O Coletor solar utilizado para este balanço energético, foi do tipo serpentina.

SOMATÓRIO DA VARIAÇÃO DA ENERGIA INTERNA $\sum_{i=1}^n \Delta U_{VCi}$	
$\Delta U_{VD} = 6.526 \text{ J}$	$\Delta U_{AR} = 1.446 \text{ J}$
$\Delta U_{TB_VC31} = 853 \text{ J}$	$\Delta U_{TB_VC32} = 1.204 \text{ J}$
$\Delta U_{TB_VC33} = 1.543 \text{ J}$	$\Delta U_{TB_VC34} = 1.865 \text{ J}$
$\Delta U_{TB_VC35} = 2.187 \text{ J}$	$\Delta U_{FT_VC41} = 2.980 \text{ J}$
$\Delta U_{FT_VC42} = 8.303 \text{ J}$	$\Delta U_{FT_VC43} = 13.441 \text{ J}$
$\Delta U_{FT_VC44} = 18.399 \text{ J}$	$\Delta U_{FT_VC45} = 23.185 \text{ J}$
SOMATÓRIO DA TAXA DE VARIAÇÃO DA ENERGIA INTERNA AO	
LONGO DO TEMPO $\frac{dE_{VC}}{dt} \Delta t$	
$\sum_{t=3001}^{6001} \left[\dot{Q}_{ENT} \right] \Delta t = 166.248 \text{ W } 20s = 3.324.960 \text{ J}$	
$\sum_{t=3001}^{6001} \left[\dot{Q}_{SAI} \right] \Delta t = 390.333 \text{ W } 20s = 780.660 \text{ J}$	
$\sum_{t=3001}^{6001} \left[\dot{Q}_{LIQ} \right] \Delta t = 127.215 \text{ W } 20s = 2.544.281 \text{ J}$	
$\sum_{t=3001}^{6001} \left[m_{FT} C_{p_{FT}} (T_{FT-ENT} - T_{FT-SAI}) \right] \Delta t = -2.525.500 \text{ J}$	
$\frac{dE_{VC}}{dt} \Delta t_{TOTAL} = 18.781 \text{ J}$	
BALANÇO FINAL	
$\sum_{i=1}^n \Delta U_{VCi} \approx \frac{dE_{VC}}{dt} \Delta t$	
$81.932 \text{ J} \approx 18.781 \text{ J}$	
Erro Absoluto: 63.151 J em 3.000 s	Obs.: O erro absoluto representa variação de
Erro Relativo: 2,48% com relação \dot{Q}_{LIQ}	0,605K no FT durante o período de 3.000s,
Erro Absoluto em W: 21,05 W em 3.000s	o que pode ser considerado desprezível.

TABELA 4: BALANÇO ENERGÉTICO DO COLETOR SOLAR – VIDE ANEXO 1.

Através da Tabela 4 conclui-se que em um intervalo de tempo de 3.000 segundos de simulação obtivemos diferença no balanço energético do coletor solar de 63.151 J ou 2,48% sobre a carga líquida que entra no sistema termodinâmico. A perda em potência neste intervalo de tempo ficou em 21,05W, sendo um valor bem reduzido face às dimensões do sistema.

Pode-se justificar a presente diferença devido o campo de temperaturas do fluido térmico ser obtido através de uma temperatura média integral dos dois extremos do volume de controle considerado.

4.2.2) BALANÇO DE ENERGIA DO AQUECIMENTO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF

Foi escolhido um intervalo de tempo de 3.000 segundos de $t = 3.001$ s a $t = 6.001$ s para a verificação algébrica do balanço energético do tanque de armazenamento de MMF.

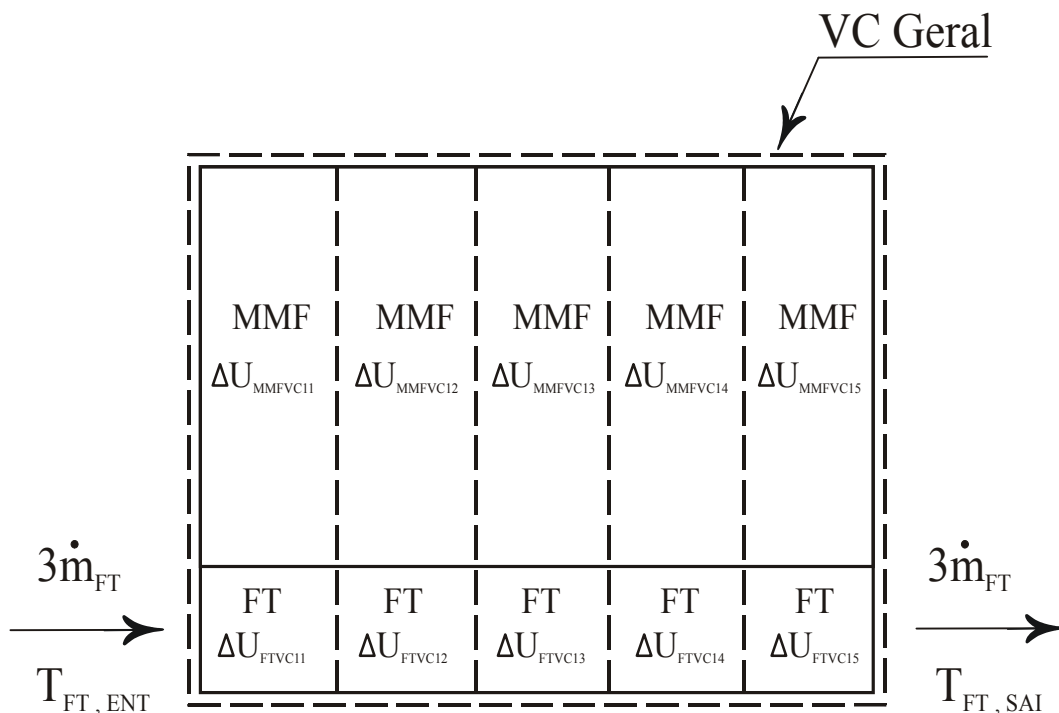


FIGURA 20: FIGURA ESQUEMÁTICA ILUSTRANDO O VC GERAL E PARCIAIS DO AQUECIMENTO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF.

A Figura 20 ilustra o VC geral e parciais do aquecimento do tanque de armazenamento de MMF indicando a entrada e saída da vazão mássica do fluido térmico de trabalho e a variação da energia interna dos volumes de controle parciais no interior do tanque. A entrada de fluxo de calor através da radiação térmica, possíveis perdas de calor para o meio externo e o processo de condução de calor entre os volumes de controle parciais do MMF foi desprezado. Para a verificação do balanço energético do tanque de MMF, foram utilizados 3 (três) coletores solares do tipo serpentina., através dos estudos preliminares do simulador.

SOMATÓRIO DA VARIAÇÃO DA ENERGIA INTERNA $\sum_{i=1}^n \Delta U_{VCi}$	
$\Delta U_{MMF_VC11} = -1.219.489 \text{ J}$	$\Delta U_{MMF_VC12} = -601.185 \text{ J}$
$\Delta U_{MMF_VC13} = -257.013 \text{ J}$	$\Delta U_{MMF_VC14} = -95.801 \text{ J}$
$\Delta U_{MMF_VC15} = -32.342 \text{ J}$	$\Delta U_{FT_VC11} = -2.230.536 \text{ J}$
$\Delta U_{FT_VC12} = -1.610.205 \text{ J}$	$\Delta U_{FT_VC13} = -825.271 \text{ J}$
$\Delta U_{FT_VC14} = -423.042 \text{ J}$	$\Delta U_{FT_VC15} = -156.430 \text{ J}$
$\Delta U_{TOTAL} = -7.451.319 \text{ J}$	
SOMATÓRIO DA TAXA DE VARIAÇÃO DA ENERGIA INTERNA AO LONGO DO TEMPO $\frac{dE_{VC}}{dt} \Delta t$	
$\sum_{t=3001}^{6001} \left[m_{FT} C_{p_{FT}} (T_{FT-ENT} - T_{FT-SAI}) \right] \Delta t = -7.463.249 \text{ J}$	
BALANÇO FINAL	
$\sum_{i=1}^n \Delta U_{VCi} \approx \frac{dE_{VC}}{dt} \Delta t$	
$-7.451.319 \text{ J} \approx -7.463.249 \text{ J}$	
Erro Absoluto: 11.930 J em 3.000s	
Erro Relativo: 0,16% com relação $\frac{dE_{VC}}{dt} \Delta t$	
Erro Absoluto em W: 3,98 W em 3.000s	

TABELA 5: BALANÇO ENERGÉTICO DO AQUECIMENTO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF – VIDE ANEXO 2.

Pela Tabela 5, conclui-se que, em um intervalo de tempo de 3.000 segundos de simulação, obteve-se diferença no balanço energético do tanque de armazenamento de MMF de 11.930 J ou 0,16% sobre o lado direito da 1ª Lei da Termodinâmica.

A perda em potência neste intervalo de tempo ficou em 3,98W, sendo um valor bem reduzido face às dimensões do sistema.

4.2.3) BALANÇO DO TANQUE DE MMF RESFRIANDO

Foi escolhido um intervalo de tempo de 3.000 segundos de 5.001 a 8.001 s para a verificação algébrica do balanço energético do tanque de armazenamento de MMF resfriando com a entrada da vazão de água a ser aquecida (\dot{m}_{AQ}).

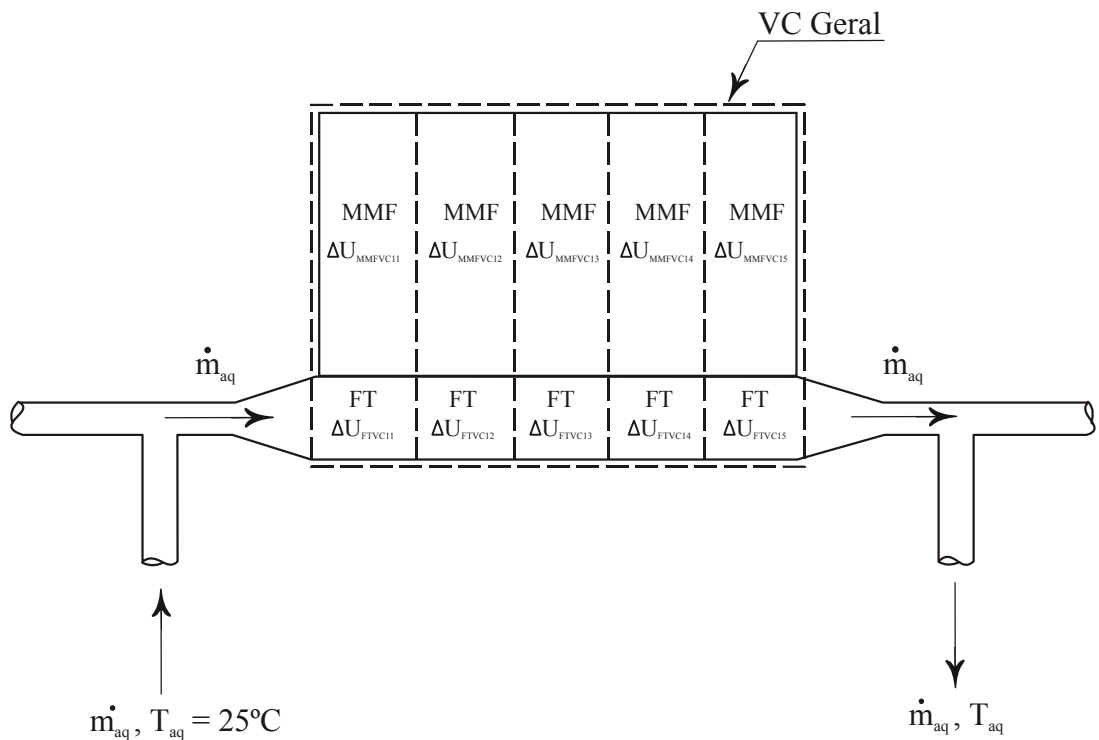


FIGURA 21: FIGURA ESQUEMÁTICA ILUSTRANDO O VC GERAL E PARCIAIS DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF EM PROCESSO DE RESFRIAMENTO DEVIDO À ENTRADA DA (\dot{m}_{AQ}).

A Figura 21 mostra o VC geral e parcial do resfriamento do Tanque de armazenamento de MMF. Para a verificação do balanço, foram considerados os seguintes critérios:

- a) Os valores das temperaturas iniciais do MMF são oriundos do aquecimento. Este campo de temperaturas é decrescente de VC11 a VC15;
- b) Foi desconsiderado o campo de temperaturas do fluido térmico já aquecido devido ao aquecimento do MMF. O objetivo desse procedimento é a verificação de uma condição desfavorável ao modelo;
- c) Foi desconsiderada a perda de calor para o meio externo;
- d) Foi desconsiderada a condução de calor entre os volumes de controle parciais do MMF.

SOMATÓRIO DA VARIAÇÃO DA ENERGIA INTERNA $\sum_{i=1}^n \Delta U_{VCi}$	
$\Delta U_{MMF_VC11} = -3.015.629 \text{ J}$	$\Delta U_{MMF_VC12} = -2.252.974 \text{ J}$
$\Delta U_{MMF_VC13} = -1.629.343 \text{ J}$	$\Delta U_{MMF_VC14} = -1.059.934 \text{ J}$
$\Delta U_{MMF_VC15} = -582.417 \text{ J}$	$\Delta U_{FT_VC11} = -16.269 \text{ J}$
$\Delta U_{FT_VC12} = -12.145 \text{ J}$	$\Delta U_{FT_VC13} = -8.767 \text{ J}$
$\Delta U_{FT_VC14} = -56.875 \text{ J}$	$\Delta U_{FT_VC15} = -3.402 \text{ J}$
$\Delta U_{TOTAL} = -8.586.572 \text{ J}$	
SOMATÓRIO DA TAXA DE VARIAÇÃO DA ENERGIA INTERNA AO LONGO DO TEMPO $\frac{dE_{VC}}{dt} \Delta t$	
$\sum_{t=5001}^{8001} \left[m_{BA} C_{p_{FT}} (T_{FT-ENT} - T_{FT-SAI}) \right] \Delta t = -8.652.720 \text{ J}$	
BALANÇO FINAL	
$\sum_{i=1}^n \Delta U_{VCi} \approx \frac{dE_{VC}}{dt} \Delta t$	
$-8.586.572 \text{ J} \approx -8.652.720 \text{ J}$	
Erro Absoluto: 66.148 J em 3.000 s	
Erro Relativo: 0,76% com relação $\frac{dE_{VC}}{dt} \Delta t$	
Erro Absoluto em W: 22,04 W em 3.000 s	

TABELA 6: BALANÇO ENERGÉTICO DO RESFRIAMENTO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF – VIDE ANEXO 3.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CURVA SOLAR

Com o objetivo de proceder validação dos resultados obtidos no programa computacional do presente trabalho, seguem os gráficos da curva de insolação na cidade de Curitiba/PR (25° 30' Latitude SUL e 49° 30' Longitude OESTE) a 950 metros acima do nível do mar, com referência ao dia 3 de Janeiro.

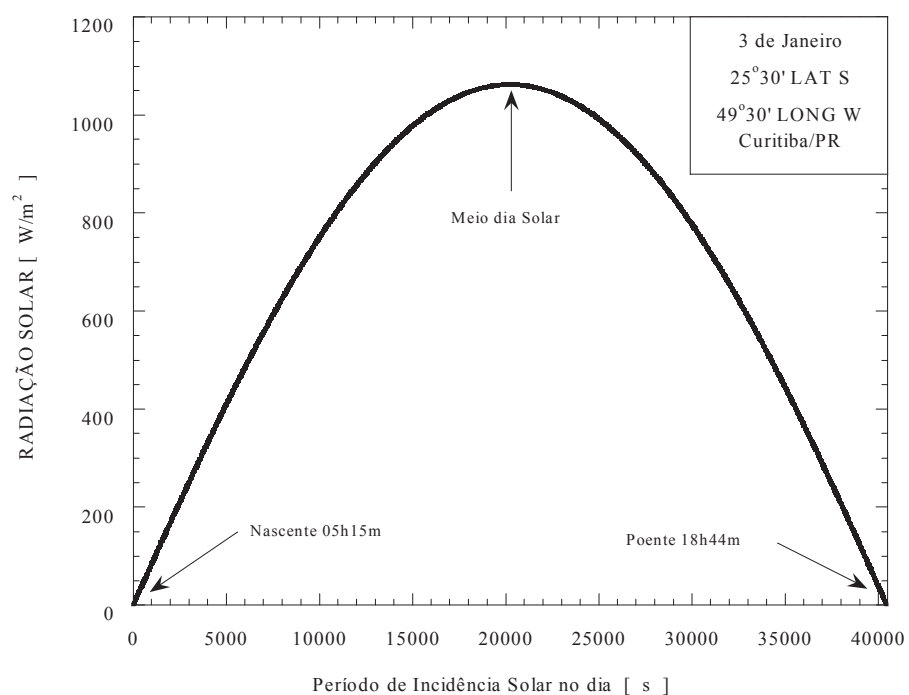


FIGURA 22 – EXEMPLO DE CURVA OBTIDA DE INSOLAÇÃO PARA A CIDADE DE CURITIBA/PR EM 03 DE JANEIRO.

Na da Figura 22, utiliza-se a Eq. (5.1), (e.g., IQBAL,(1983)), com o Coletor Solar adaptado com ângulo de inclinação de $\beta = 40^\circ$, e alinhado à linha do equador onde o ângulo de azimute é de $\gamma = 0^\circ$.

$$I_{O\beta} = I_{sc} E_o [\text{sen}(\delta) \text{sen}(\phi - \beta) + 0,9772 \cos(\delta) \cos(\phi - \beta) \cos(\varpi_i)] \quad (5.1)$$

Nota-se que o programa computacional calcula o horário do nascente e do poente. A curva, como prevista, é simétrica, pois $\gamma = 0^\circ$. Esta equação não prevê nenhum fator de nebulosidade local e chega ao seu valor máximo justamente na metade do período de insolação ou seja o meio dia solar. No entanto, se o Coletor Solar estivesse voltado para leste $\gamma > 0$ tem-se como valor inicial da radiação solar um patamar superior a zero, essa situação ocasiona, antes do poente, um valor de insolação nulo.

Se o Coletor Solar estivesse voltado para oeste, com $\gamma < 0$, tem-se um valor inicial da radiação solar igual a zero, pois quando o Sol estivesse no nascente os raios solares atingiriam a parte de trás do Coletor Solar, ou seja, a insolação não incidiria no vidro do Coletor Solar e este teria insolação nula.

5.2 COLETOR SOLAR

Com o objetivo de uma pré-simulação no Coletor Solar, admite-se para o mesmo a carga de radiação térmica constante igual a 1.000 W/m^2 , com a temperatura da água entrando na tubulação, sendo de $298,15\text{K}$, e como resposta da simulação, a temperatura de saída da tubulação no quinto volume de controle.

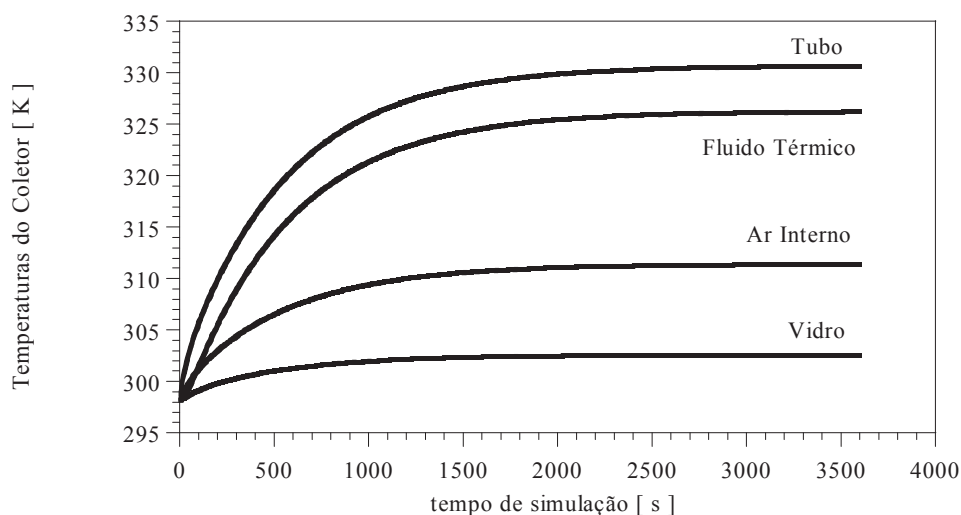


FIGURA 23 – MOSTRA A EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA EM RELAÇÃO AO TEMPO DOS VOLUMES DE CONTROLE: VIDRO, AR INTERNO E TUBO NO INTERIOR DO COLETOR SOLAR.

Observa-se na Figura 23 que, como era de se esperar, a temperatura do vidro converge para valor pouco acima do seu valor inicial que era de 298,15K, este fato é explicado devido ao vidro possuir baixo fator de absorvidade da radiação solar incidente e alto fator de transmissibilidade. A maior elevação de temperatura ocorreu com o tubo metálico em que o mesmo possui alto fator de absorvidade da radiação térmica. Nota-se também que o ar interno foi um pouco abaixo da temperatura do tubo devido ao ar interno estar sendo aquecido pelo tubo.

Para o cálculo da temperatura do ar interno do Coletor Solar, foi considerada o estudo da Convecção Natural ou Convecção Livre em placas inclinadas, onde foram utilizadas equações apropriadas para a transferência de calor neste local.

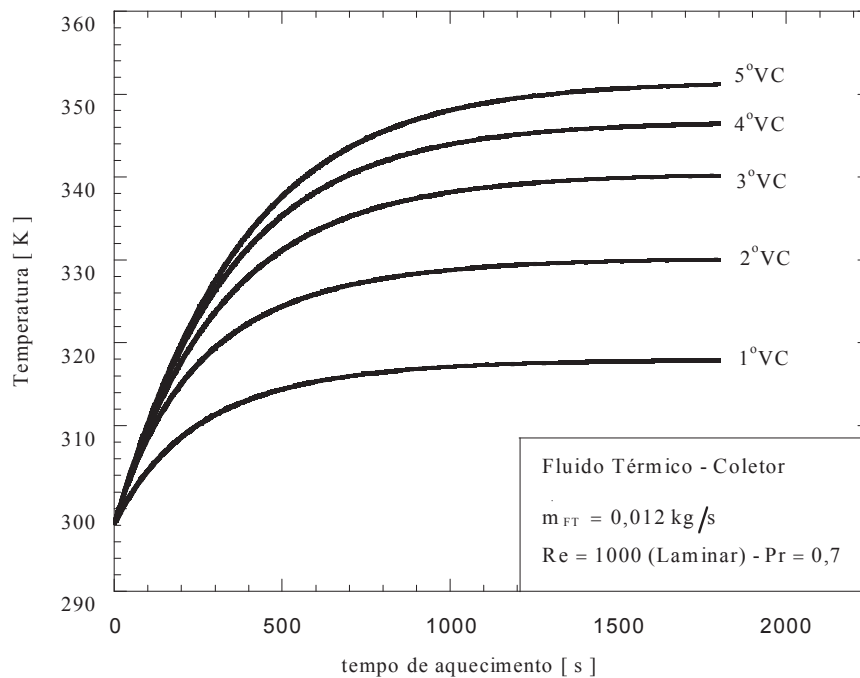


FIGURA 24 – PERFIL EVOLUTIVO DA TEMPERATURA DO FLUIDO TÉRMICO NOS 5 (CINCO) VOLUMES DE CONTROLE DO TUBO.

Na Figura 24 conclui-se que o fluido térmico de trabalho entra no Coletor Solar a 298,15K, e com a insolação incidente há o aquecimento do tubo, e por consequência acontece o perfil evolutivo crescente do fluido térmico nos volumes de controle.

A construção desse perfil de temperaturas foi baseado na Eq. (3.5), em que considera-se a temperatura do tubo constante onde a mesma aquece o fluido térmico.

5.3 TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF

Com a finalidade de comprovar o estudo teórico do presente trabalho, apresentam-se várias Figuras obtidas através do programa de simulação numérica no modelo do tanque de armazenamento de MMF.

Para este caso de simulação computacional, foi considerada a temperatura de 368K, que entra no primeiro volume de controle sendo constante. Temperatura esta, oriunda da saída do coletor solar.

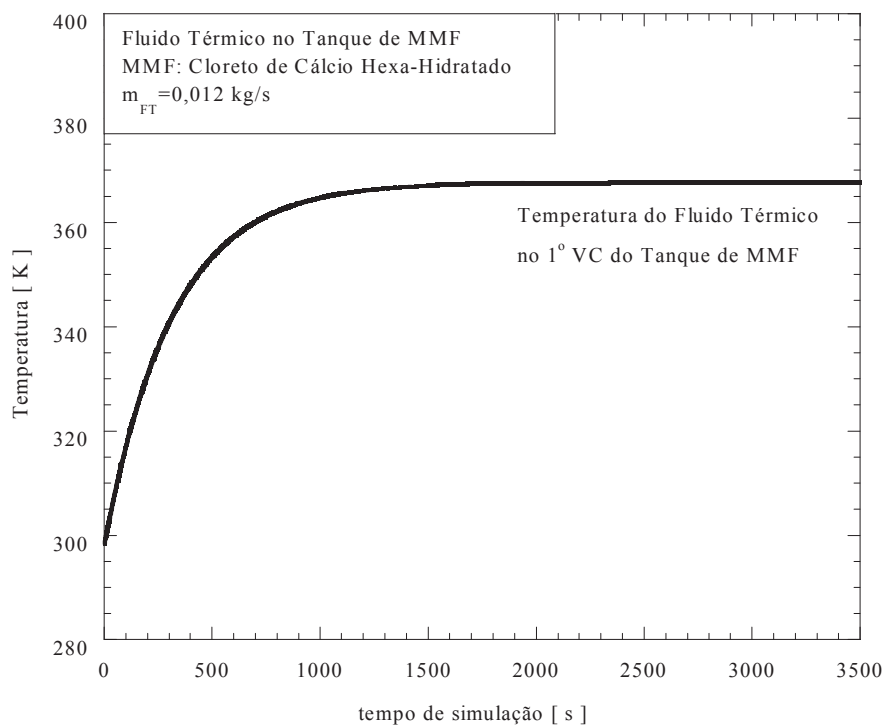


FIGURA 25 - PERFIL EVOLUTIVO DA TEMPERATURA DO FLUIDO TÉRMICO NO PRIMEIRO VOLUME DE CONTROLE DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF.

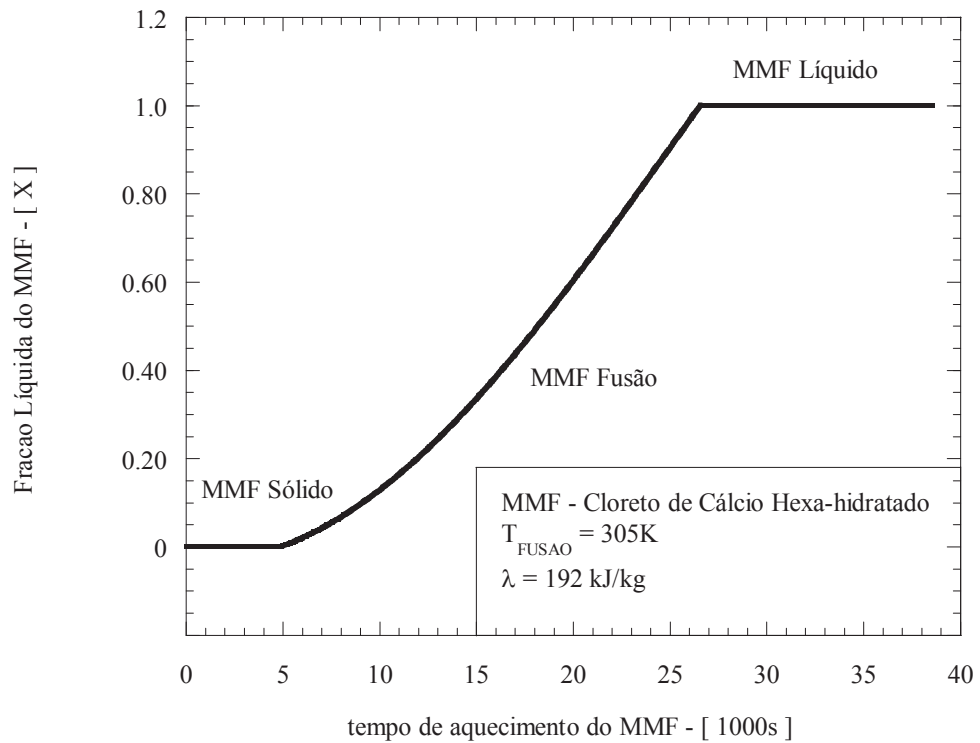


FIGURA 26 – SOLUÇÃO NUMÉRICA DA FRAÇÃO LÍQUIDA (X) DO MMF.

A Figura 26 mostra a evolução da fração líquida do MMF saindo de seu estado inicial como um elemento sólido ($X = 0$), e chegando à fase líquida através do seu valor unitário ($X=1$). Conclui-se, por intermédio dessa simulação, que o material em questão percorreu tempo, de aproximadamente, de 20.000 segundos para concluir o processo de mudança de fase de sólido para líquido. Materiais em Mudança de Fase possuem calor latente muito elevado, e devido a isso o processo de fusão é muito lento, pois o valor da variação da fração líquida no decorrer do tempo é muito reduzida.

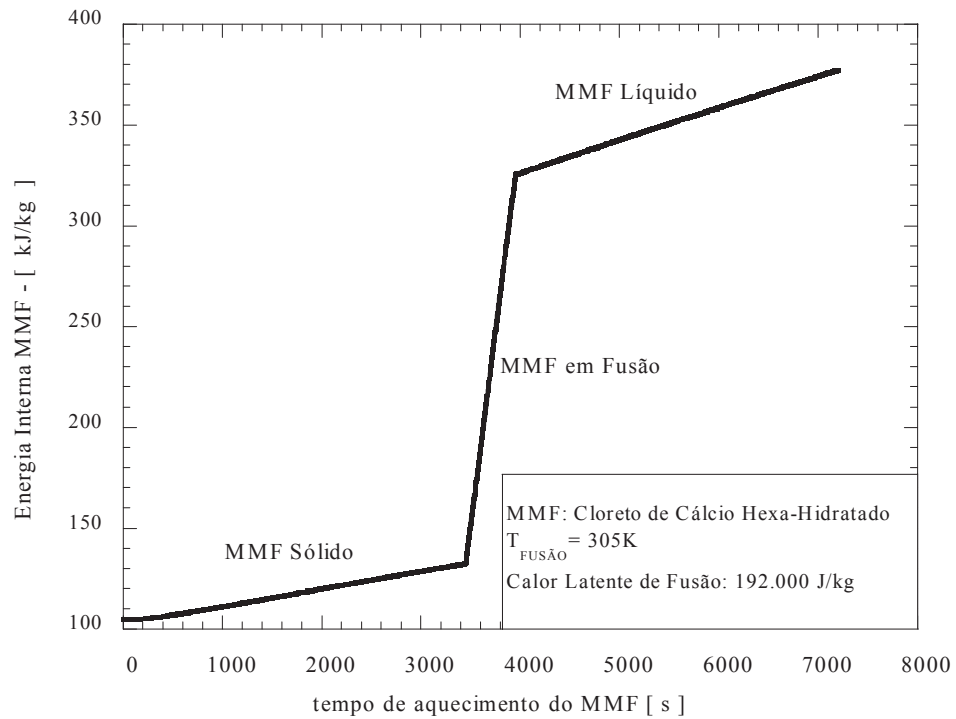


FIGURA 27 – SOLUÇÃO NUMÉRICA DA ENERGIA INTERNA ARMAZENADA DO MMF.

A Figura 27 mostra o crescimento da energia interna armazenada pelo MMF durante o tempo de aquecimento, utilizando o Modelo Matemático de MORRISON, (1977).

Conclui-se que com o tempo de fusão (calor latente) sendo muito elevado, o MMF consegue armazenar quantidade significativa de energia térmica comparada com os estados sólido e líquido (calor sensível).

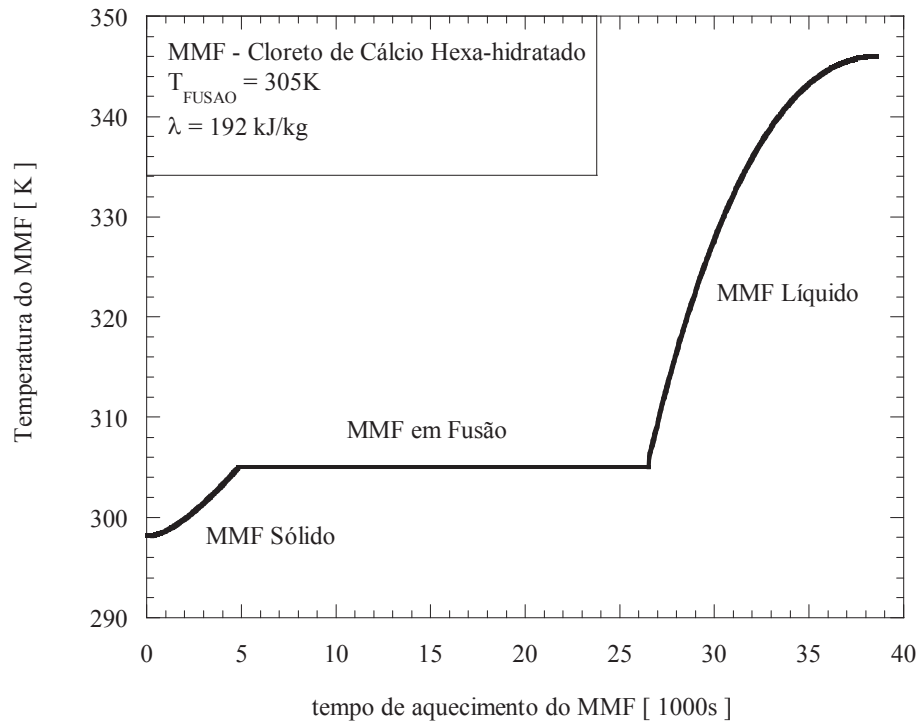


FIGURA 28 - GRÁFICO DA TEMPERATURA DO MMF EM RELAÇÃO AO TEMPO.

Observa-se, na Figura 28, no processo de fusão do MMF, a sua temperatura permanece constante, conforme base teórica. Neste intervalo de tempo, há a ocorrência do acréscimo de energia interna através do calor latente de fusão.

Com o objetivo de proceder a validação dos resultados do programa de simulação, seguem 3(três) curvas de Temperatura das 5 (cinco) existentes em relação ao tempo (s) obtidas no tanque de armazenamento de MMF.

Nota-se que no primeiro volume de controle ocorre a primeira mudança de fase conforme esperado.

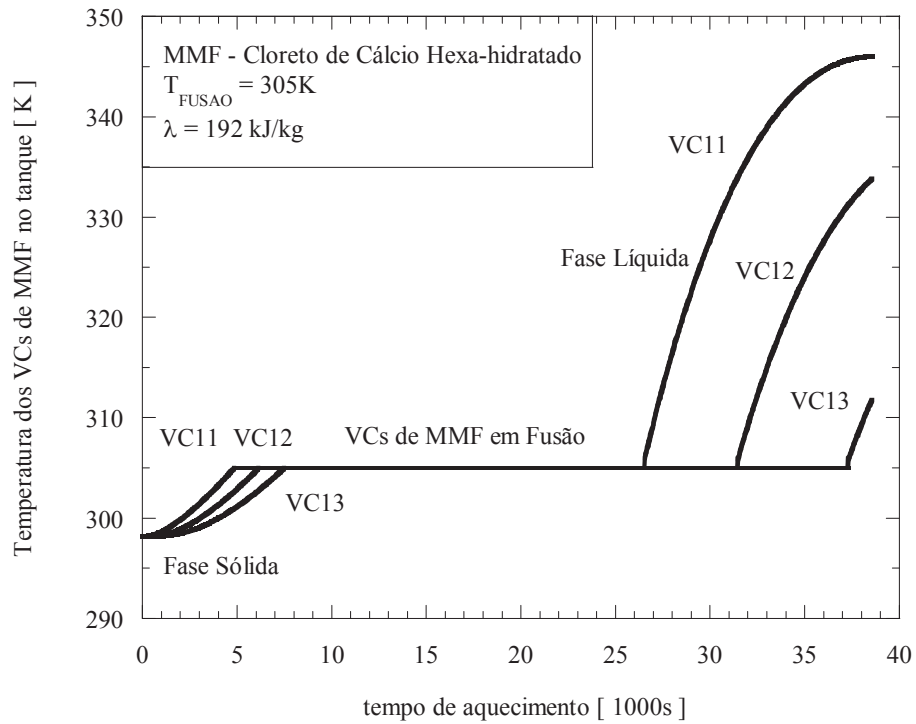


FIGURA 29 – GRÁFICO TEMPERATURA EM RELAÇÃO AO TEMPO DOS VOLUMES DE CONTROLE DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF.

A Figura 29 mostra 3 (três) volumes de controle parciais do MMF (O modelo geométrico do tanque prevê a sua divisão em 5 (cinco) partes). Tomando como referência da esquerda para direita, de VC1 a VC5, o fluido térmico aquecido, oriundo do coletor, faz primeiramente a fusão do VC1 e assim por diante. Os volumes de controle subseqüentes possuem um tempo de retardo em relação ao anterior. Essa Figura comprova o código computacional do modelo.

5.4 SIMULAÇÃO 1: DETERMINAÇÃO DE β_{OTIMO} E γ_{OTIMO} PARA O POSICIONAMENTO E ORIENTAÇÃO DO COLETOR SOLAR:

Com o objetivo em determinar qual o melhor ângulo de inclinação do coletor (β_{OTIMO}), e o melhor ângulo de azimute solar (γ_{OTIMO}) para Curitiba (25° 30' Latitude Sul e 49° 30' de Longitude Oeste) no dia 21 de Junho, toma-se como base deste estudo o uso do programa RADIASOL, do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

O Programa RADIASOL é um programa de cálculo e estimativas de radiação solar e foi elaborado pelo Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos (GESTE) da UFRGS.

Este programa, necessita da inclusão das coordenadas geográficas do local a ser estudado em qualquer época do ano. A inclusão do ângulo de inclinação do coletor (β) e o desvio do azimute solar (γ), fornecem a energia acumulada no coletor solar para radiação terrestre e extraterrestre. O programa através de critérios próprios calcula o nível de transmitância para a estimativa da radiação terrestre.



FIGURA 30 – TELA DE APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA RADIASOL DA UFRGS.

Incluindo os dados Geográficos de Curitiba, obtém-se a energia armazenada no coletor durante os meses do ano obtido através de formulação matemática própria do programa RADIUSOL.

The screenshot shows the RADIUSOL program interface. At the top right, there is a logo for 'RADIÇÃO SOLAR' with an image of a solar collector. The main area is titled 'Selecione um país e uma estação'. Below this, there are two dropdown menus: 'País' set to 'Brazil' and 'Estação' set to 'Curitiba'. To the right of these are three buttons: 'OK', 'Editar', and 'Sair'. Below the dropdowns, there are input fields for 'Latitude' (25,33), 'N/S:' (S), 'Longitude' (49,23), and 'E/W:' (W). At the bottom, there is a table of monthly radiation values in kWh/m².

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Radiação em kWh/m²	4,67	4,11	3,47	3,06	2,53	2,47	3,11	3,31	3,67	4,22	4,94	5,06

FIGURA 31 – TELA DO PROGRAMA RADIUSOL ONDE MOSTRA OS VALORES MÉDIOS DA ENERGIA ACUMULADA NO COLETOR DURANTE OS MESES DO ANO.

Para a determinação de $\beta_{\text{ÓTIMO}}$ e $\gamma_{\text{ÓTIMO}}$ procede-se a variação de β de 20° a 40° e γ de -30° à $+30^\circ$, e com as informações extraídas do programa RADIUSOL.

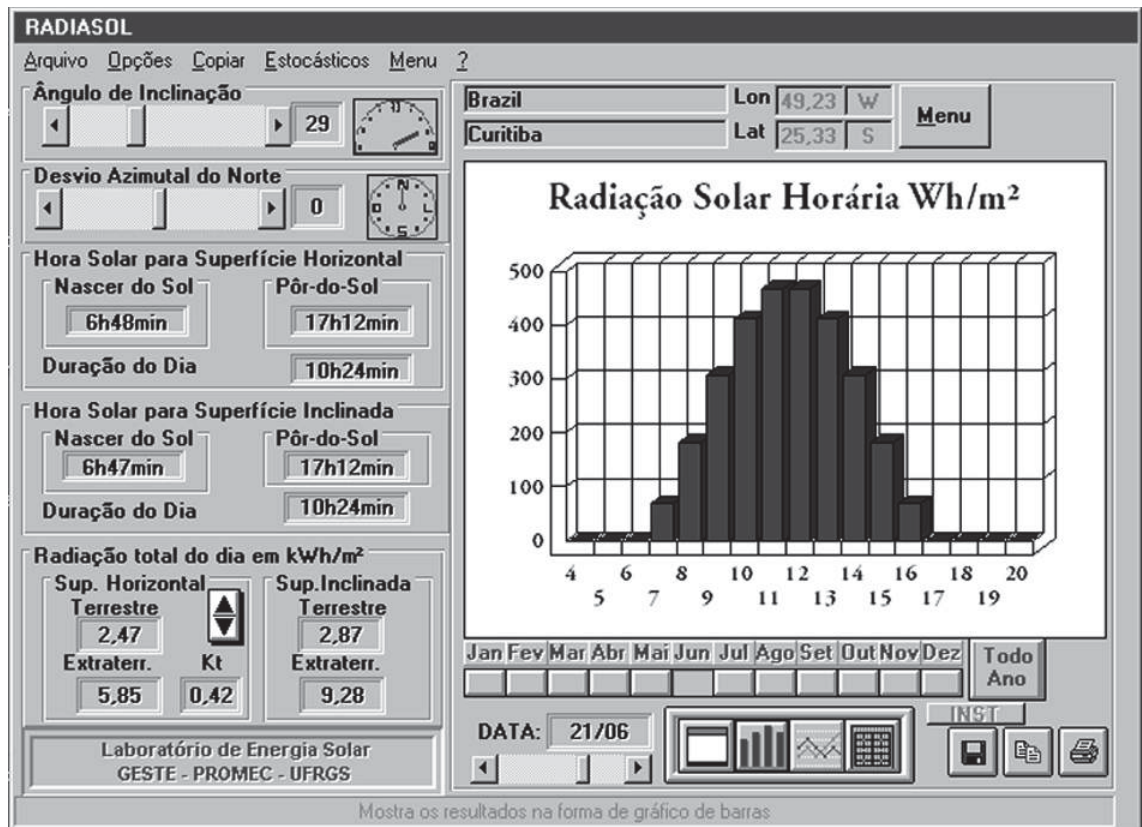


FIGURA 32 – TELA AUXILIAR DO PROGRAMA RADIASOL COM A SAÍDA DOS RESULTADOS DE INSOLAÇÃO.

A presente tela do RADIASOL, mostra que para Curitiba no dia 21 de Junho, para uma superfície inclinada o dia nasce às 06h 47m e se põe às 17h 12m, com período de insolação de 10h 24m ou 37.440 segundos.

O programa RADIASOL, fornece a radiação terrestre e extraterrestre para a superfície inclinada do coletor.

Utilizando o programa RADIASOL, obtém-se a tabela para a determinação de β_{OTIMO} e γ_{OTIMO} para Curitiba no dia 21 de Junho.

RADIAÇÃO TOTAL INCIDENTE TERRESTRE EM kWh/m²			
β	$\gamma = -30^\circ$	$\gamma = 0^\circ$	$\gamma = 30^\circ$
20°	2,79	2,83	2,79
25°	2,80	2,86	2,80
26°	2,80	2,86	2,80
27°	2,80	2,86	2,80
28°	2,80	2,86	2,80
29°	2,80	2,87	2,80
30°	2,80	2,87	2,80
31°	2,80	2,87	2,80
32°	2,80	2,86	2,80
33°	2,79	2,86	2,79
40°	2,75	2,84	2,75

TABELA 7 – ENERGIA ACUMULADA PELO COLETOR EM kWh/m² VARIANDO A INCLINAÇÃO (β) E ÂNGULO DE AZIMUTE SOLAR (γ) DURANTE O DIA 21 DE JUNHO EM CURITIBA.

Obtém-se para Curitiba em 21 de Junho $\beta_{\text{OTIMO}} = 29^\circ$ e $\gamma_{\text{OTIMO}} = 0^\circ$. Para este dia o programa RADIASOL fornece a radiação extraterrestre de 9,28 kWh/m² (33,40 MJ/m²) e radiação terrestre de 2,87 kWh/m² (10,33 MJ/m²).

Com a determinação de $\beta_{\text{OTIMO}} = 29^\circ$ e $\gamma_{\text{OTIMO}} = 0^\circ$, procede-se o levantamento da curva horária de insolação através da Eq. 5.1 de IQBAL (1983) obtida no programa de simulação numérica do presente trabalho.

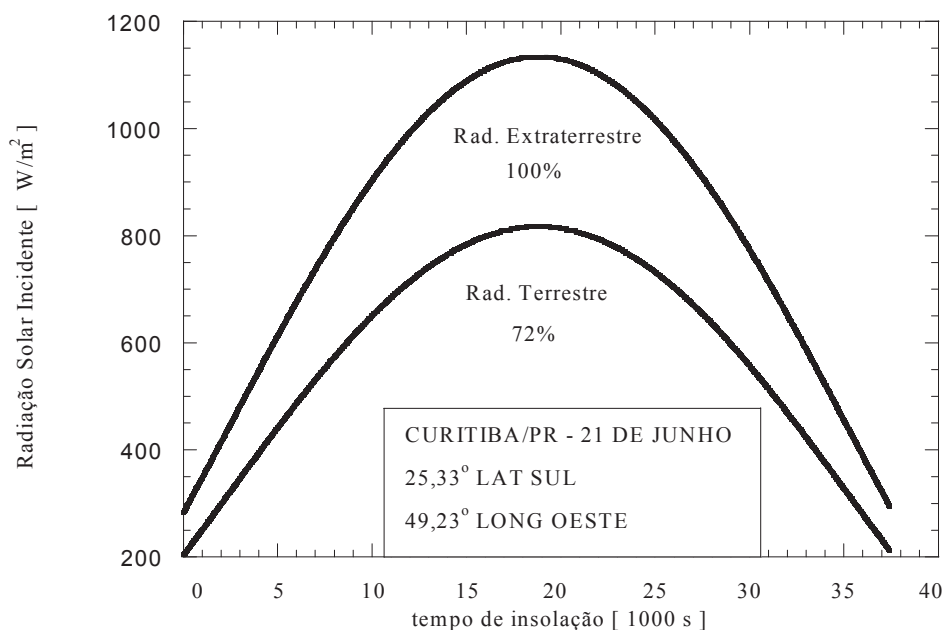


FIGURA 33 – CURVA DE INSOLAÇÃO DIÁRIA PARA CURITIBA EM 21 DE JUNHO COM BASE EM $\beta_{OTIMO} = 29^\circ$ e $\gamma_{OTIMO} = 0^\circ$,

A Figura 33 representa a curva de insolação para Curitiba em 21 de Junho, com base nos valores de $\beta_{OTIMO} = 29^\circ$ e $\gamma_{OTIMO} = 0^\circ$, e obtido no programa de simulação numérica. A curva superior representa a radiação extraterrestre e a inferior a radiação terrestre, com base no fator de transmitância de 0,72 (72%) obtido em DUARTE (2004).

Toda a geração de resultados e simulações do presente trabalho é em função da radiação extraterrestre. Pelo programa RADIUSOL, a energia acumulada no período é de $33,40 MJ/m^2$, isto é, o coletor solar recebeu energia neste período de insolação. Calculando a energia acumulada pelo coletor solar através do programa de simulação numérica do presente trabalho, obtém-se o valor de $30,67 MJ/m^2$ o qual está apenas 8,1% do valor do programa do RADIUSOL.

Observa-se que pelo programa de simulação numérica, é utilizado a Eq.5.1 de IQBAL (1983) e que no programa RADIUSOL não é indicado qual formulação é obtido o valor da energia acumulada pelo coletor solar.

5.5) SIMULAÇÃO 2: DIMENSÕES GEOMÉTRICAS DO COLETOR SOLAR TIPO PARALELO E DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF.

Com base nas propriedades físico-químicas do fluido térmico de trabalho (água), e dos Materiais de Mudança de Fase (MMF's), no caso o Cloreto de Cálcio Hexahidratado (CCHH) e do Resíduo Pesado do Refino do Petróleo (RPRP).

Obtém-se o dimensionamento dos parâmetros geométricos do coletor solar tipo paralelo e do tanque de armazenamento do MMF .

Condições de Temperatura máxima e escoamento:

- A temperatura de saída do fluido térmico no tubo do coletor solar não deverá exceder 95°C (368K);
- O regime de escoamento do fluido térmico de trabalho no coletor solar e no tanque de armazenamento de MMF deverá ser o Regime Laminar completamente desenvolvido, com o número de Reynolds inferior a 2.200.

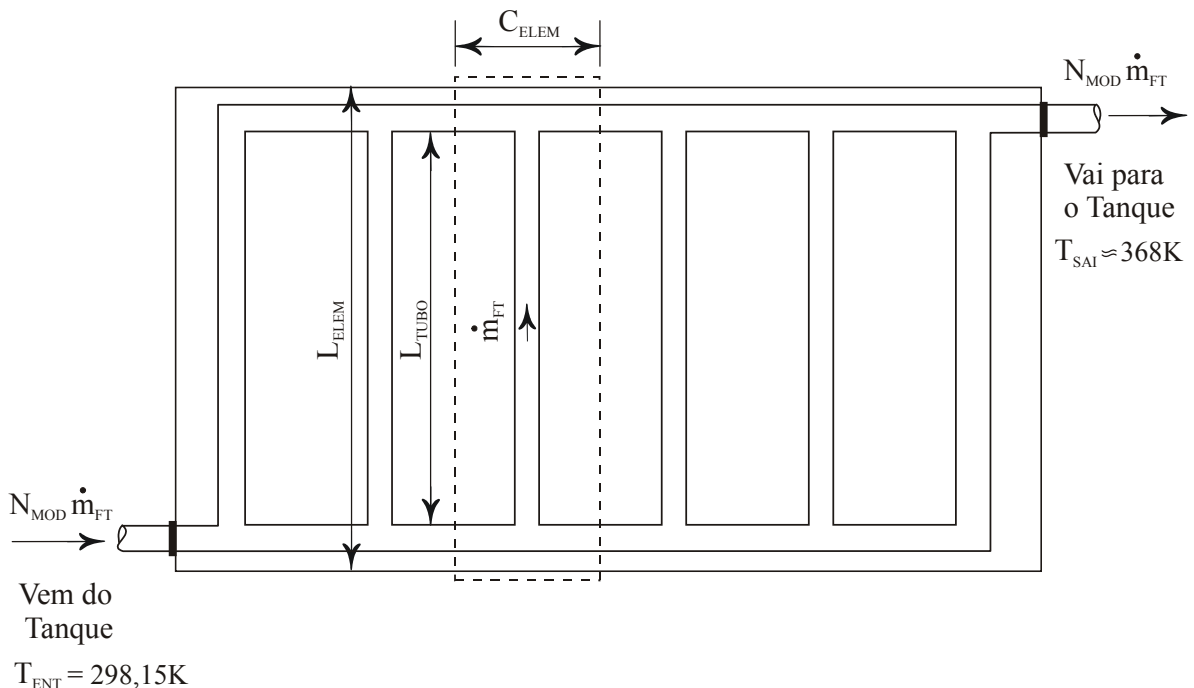


FIGURA 34 – CONFIGURAÇÃO DO COLETOR SOLAR COM TUBOS PARALELOS.

O coletor solar com tubos paralelos, possui uma versatilidade expressiva em relação ao modelo tipo serpentina considerado nas simulações preliminares do presente trabalho, pois pode-se incluir conforme a necessidade do escoamento para o aquecimento do tanque de armazenamento de MMF quantos tubos forem necessários, resultando em um controle maior desta vazão para aquecimento.

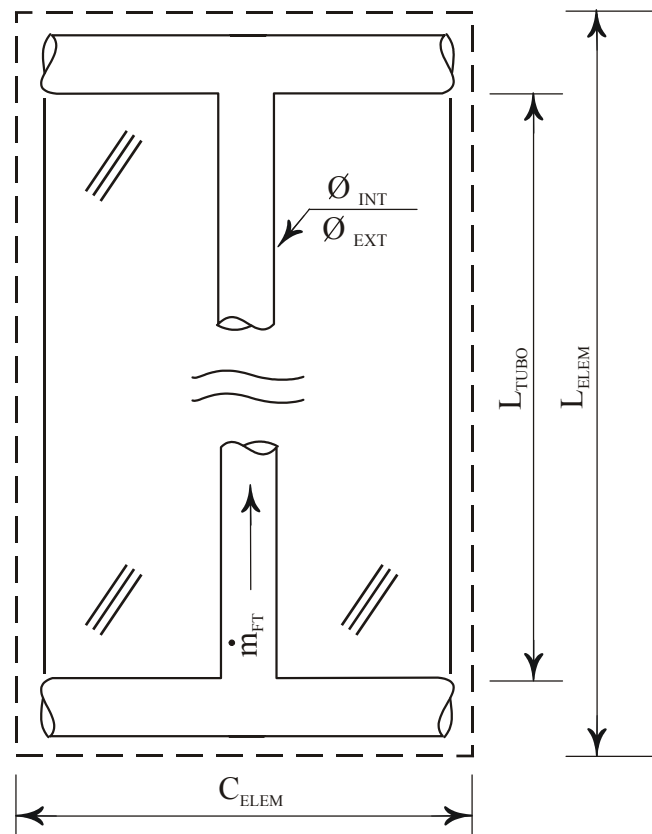


FIGURA 35 – ESQUEMA DO MÓDULO ELEMENTAR DO COLETOR SOLAR COM TUBOS PARALELOS.

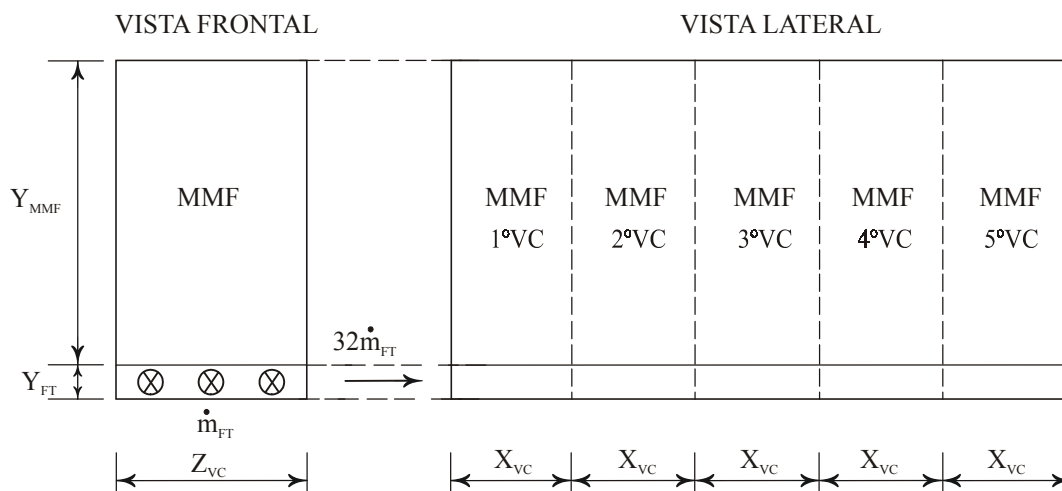
O Coletor solar é constituído de módulos elementares como ilustrado na Figura 35. No modelo computacional, todos os módulos passam pelo mesmo processo de absorção de energia e transferência de calor para o fluido térmico e perdas para o ambiente. Considera-se que a placa coletora de cada módulo está em igualdade com o tubo por onde circula o fluido térmico de trabalho, assim é simulados apenas o módulo elementar e a vazão que entra no tanque de armazenamento, é multiplicado pelo número de módulos elementares (N_{MOD}). A perda de carga ao longo das tubulações não foi considerada neste trabalho, embora seja um parâmetro importante em coletores solares

operando como termo-sifão e mesmo com escoamento forçado, porém laminar, como neste trabalho.

Comprimento Elementar (L_{ELEM}) do módulo incluindo as tubulações de entrada e saída da vazão que entra no tanque:	1,85 m
Comprimento do tubo do módulo elementar (L_{TUBO}):	1,80 m
Largura do módulo elementar (C_{ELEM}):	0,18 m
Diâmetro interno do tubo (ϕ_{INT}):	6 mm
Diâmetro externo do tubo (ϕ_{EXT}):	8 mm
Vazão elementar do tubo (m_{FT}):	$1,081 \cdot 10^{-3}$ kg/s
Número de módulos elementares (N_{MOD}):	32
Número de Reynolds no tubo do coletor (Re):	1519 (laminar)
Comprimento total do coletor solar ($N_{MOD} \cdot C_{ELEM}$):	5,76 m
Área de captação solar do coletor $L_{ELEM} \cdot (N_{MOD} \cdot C_{ELEM})$:	$10,65 \text{ m}^2$
Vazão do fluido térmico que sai do coletor solar e entra no tanque de armazenamento ($N_{MOD} \cdot m_{FT}$):	$34,59 \cdot 10^{-3}$ kg/s

TABELA 8: DIMENSIONAMENTO DOS PARÂMETROS CONSTRUTIVOS DO COLETOR SOLAR TIPO PARALELO.

Para o dimensionamento do tanque de armazenamento de MMF foi considerado que o mesmo deverá armazenar energia térmica suficiente para suprir sem a necessidade da utilização da resistência elétrica auxiliar (Q_{COMP}), banhos com vazão estipulada em 55 ml/s durante um tempo médio de 10 minutos e temperatura de banho de 38°C conforme dados e informações usuais obtidos em fabricantes de chuveiro elétrico.



Dimensões Básicas:

$$\begin{cases} X_{VC} = 1,5 \text{ m} \quad (5 X_{VC} = 7,5 \text{ m}) \\ Z_{VC} = 0,5 \text{ m} \\ Y_{FT} = 0,035 \text{ m} \\ Y_{MMF} = 0,05 \text{ m} \end{cases}$$

FIGURA 36: ESQUEMA GEOMÉTRICO PRELIMINAR DO FORMATO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF.

Para atender as necessidades preliminares da vazão de banho, há a necessidade de um escoamento 32 vezes maior do escoamento de cada módulo elementar do coletor solar de tubos paralelos. Com esta previsão de vazão e as dimensões do tubo de escoamento do fluido térmico no tanque de armazenamento, o MMF consegue armazenar energia térmica suficiente para o atendimento de banhos, sem o uso da energia elétrica complementar. O escoamento, nestas condições, foi ajustado para o regime laminar completamente desenvolvido com o número de Reynolds (Re) fixado em 272 (laminar).

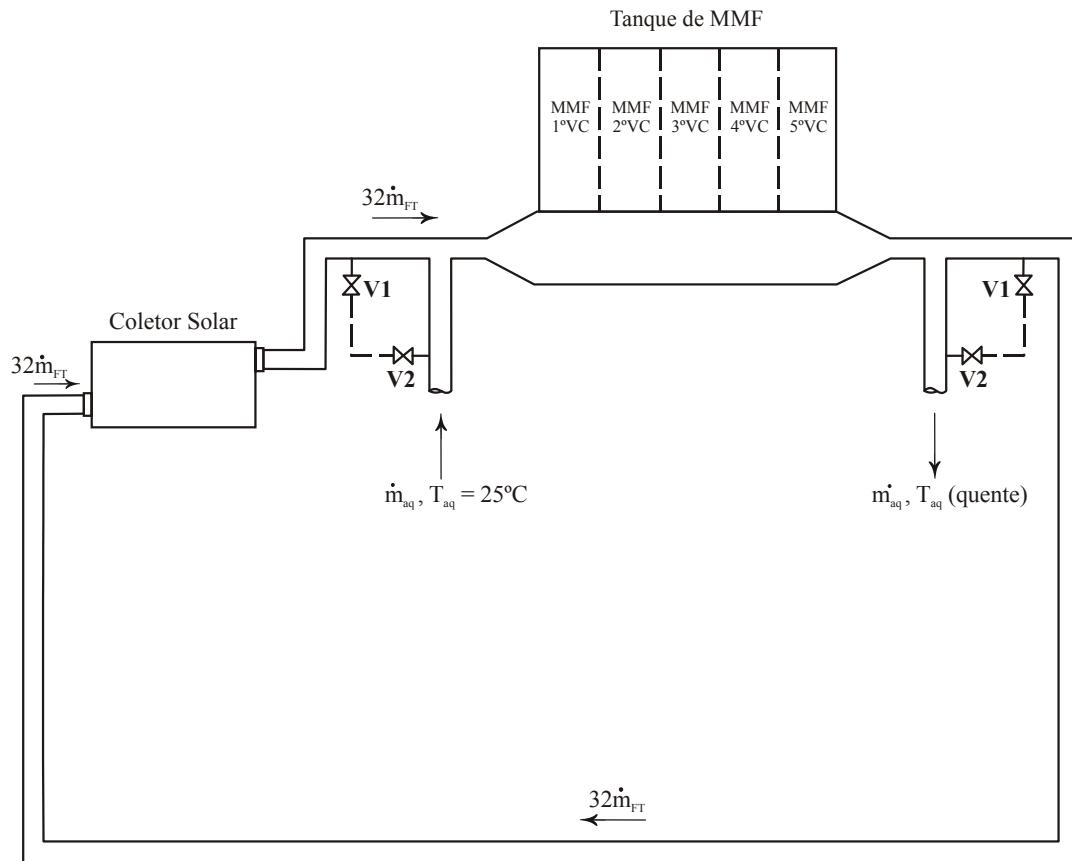


FIGURA 37: CONFIGURAÇÃO FINAL DO SISTEMA COLETOR SOLAR E TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF.

A Figura 37 , representa a configuração final do sistema de aquecimento, que se dará através do coletor solar com tubos paralelos e o tanque de armazenamento de MMF.

Há ciência de que a Figura 37 representa apenas uma das possibilidades em termos de aplicação e uso. Possíveis variações e melhoria desta configuração deverão ser estudadas, levando em questão a eficiência do coletor solar e a relação de massa de MMF a ser instalada para a economia em consumo de energia elétrica.

O critério de parada do programa de simulação numérica, dar-se-á quando a temperatura do MMF (1° VC) for maior que a temperatura do fluido térmico de aquecimento. Neste momento são anotadas as condições de temperatura de todos os volumes de controle do MMF e suas respectivas posições de frações líquidas.

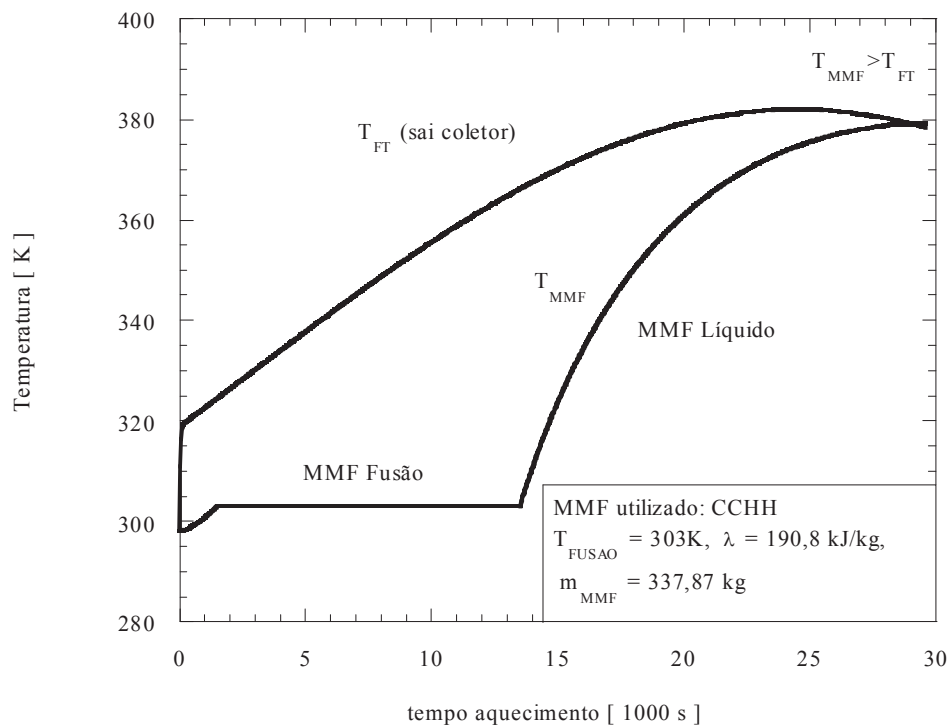


FIGURA 38: CRITÉRIO DE PARADA DO PROGRAMA DE AQUECIMENTO DO MMF.

Pela Figura 38, nota-se que, quando a temperatura do MMF for maior do que a temperatura do fluido térmico, o critério de parada atua no programa computacional parando o mesmo.

O critério de parada leva em consideração a temperatura no primeiro volume de controle do MMF com o aquecimento através do coletor solar de tubos paralelos.

5.6) SIMULAÇÃO 3: ESTUDO DO AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DOS MMF's CCHH E RPRP TESTADO EM JACOBS ET AL (2003).

Procede-se estudo da aplicação do Resíduo Pesado Refino de Petróleo (RPRP) no processo de aquecimento e resfriamento com a finalidade de estudo do armazenamento de energia térmica e comparar com o Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado (CCHH).

Critérios, Condições e Parâmetros:	Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado	Resíduo Pesado Refino de Petróleo
Tempo em que ocorre a condição: $T_{MMF} > T_{FT}$	29981 s	30521 s
Valores do campo de Temperatura e Fração Líquida do 1° ao 5° VC:	366,05 K (X=1), 363,76 K (X=1), 359,42 K (X=1), 351,92 K (X=1), 339,52 K (X=1)	364,55K (X=1), 361,23K (X=1), 354,32K (X=1), 343,51K (X=1), 324,46K (X=0)
Energia térmica armazenada geral no aquecimento do 1° ao 5° VC:	10.701.828 J 10.376.865 J 9.760.995 J 8.696.705 J 6.937.078 J <hr/> 46.833.471 J	5.420.815 J 5.395.714 J 5.347.481 J 5.267.748 J 5.142.244 J <hr/> 26.574.002 J
Temperatura Max. do FT: Temperatura do FT na saída do tubo do coletor:	368,87 K 365,39 K	368,87 K 368,01 K
Tempo de resfriamento onde ocorre a economia de energia elétrica ($t_{Q_COMP=0}$) com $T_{AF} = 25^{\circ}C$, $T_{BA} = 38^{\circ}C$ e $m_{BA} = 55\text{ml/s}$	1921 s	2641 s
Quantidade de massa de MMF utilizada no tanque:	337,87 kg	196,87 kg

TABELA 9: QUADRO COMPARATIVO ENTRE O RESÍDUO PESADO DO REFINO DE PETRÓLEO (RPRP) E O CLORETO DE CÁLCIO HEXA-HIDRATADO PARA AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO.

Através da Tabela 9, nota-se a diferença entre os dois compostos, onde o Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado (CCHH), através de suas propriedades, consegue armazenar mais energia térmica. O Resíduo Pesado Refino de Petróleo (RPRP) obteve melhor desempenho em termos de $t_{Q_COMP=0}$ devido o mesmo possuir alto ponto de fusão e devido a isso entra primeiro em processo de fusão liberando mais energia térmica armazenada através do calor latente. Nota-se que os dois MMF's possuem resultados suficientes e satisfatórios.

Registra-se como ponto favorável ao RPRP os seguintes quesitos:

- a pouca massa a ser utilizada podendo fazer redução no tamanho do tanque;
- o baixo custo financeiro do RPRP;
- eliminação do RPRP em aterros sanitário.

5.7) SIMULAÇÃO 4 – ESTUDO DO RESFRIAMENTO DO MMF PARA UTILIZAÇÃO DO AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA HIGIENIZAÇÃO.

Com a inclusão dos novos valores do campo de temperaturas do MMF e suas respectivas frações líquidas, é utilizado o programa de simulação computacional visando verificar o resfriamento do MMF, com a entrada de água fria para higienização.

O presente trabalho visa estudar as possibilidades da utilização da água aquecida para banho pessoal, eliminando totalmente ou parcialmente o aquecimento do chuveiro elétrico convencional.

Está sendo adotado o valor da vazão de banho (\dot{m}_{BA}) em 50 ml/s durante 10 minutos sem a utilização da resistência elétrica complementar.

Logo, para se manter a temperatura do banho constante em 36°C, há a necessidade da inclusão de massa de água fria (\dot{m}_{AF}), que em composição com a massa de água quente (\dot{m}_{AQ}) contemplará a temperatura do banho constante em 36°C. A temperatura de entrada de água fria está estipulada nesta simulação em 25°C.

Sabe-se que:

$$\dot{m}_{BA} = \dot{m}_{BA} + \dot{m}_{AF} \quad (5.5)$$

e para a composição de entalpias,

$$\dot{H}_{AQ} + \dot{H}_{AF} = \dot{H}_{BA} \quad (5.6)$$

sem perdas para o ambiente, a Eq. (5.6) pode ser expandida para:

$$\dot{m}_{AQ} C_p (T_{AQ} - T_{REF}) + \dot{m}_{AF} C_p (T_{AF} - T_{REF}) = \dot{m}_{BA} C_p (T_{BA} - T_{REF}) \quad (5.7)$$

fazendo: $\dot{m}_{AF} = \dot{m}_{BA} - \dot{m}_{AQ}$ e substituindo em (5.7), tem-se a vazão da água quente (\dot{m}_{AQ}) em função da vazão da água de banho (\dot{m}_{BA}).

$$\dot{m}_{aq} = \dot{m}_{ba} \frac{T_{ba} - T_{af}}{T_{aq} - T_{af}} \quad (5.8)$$

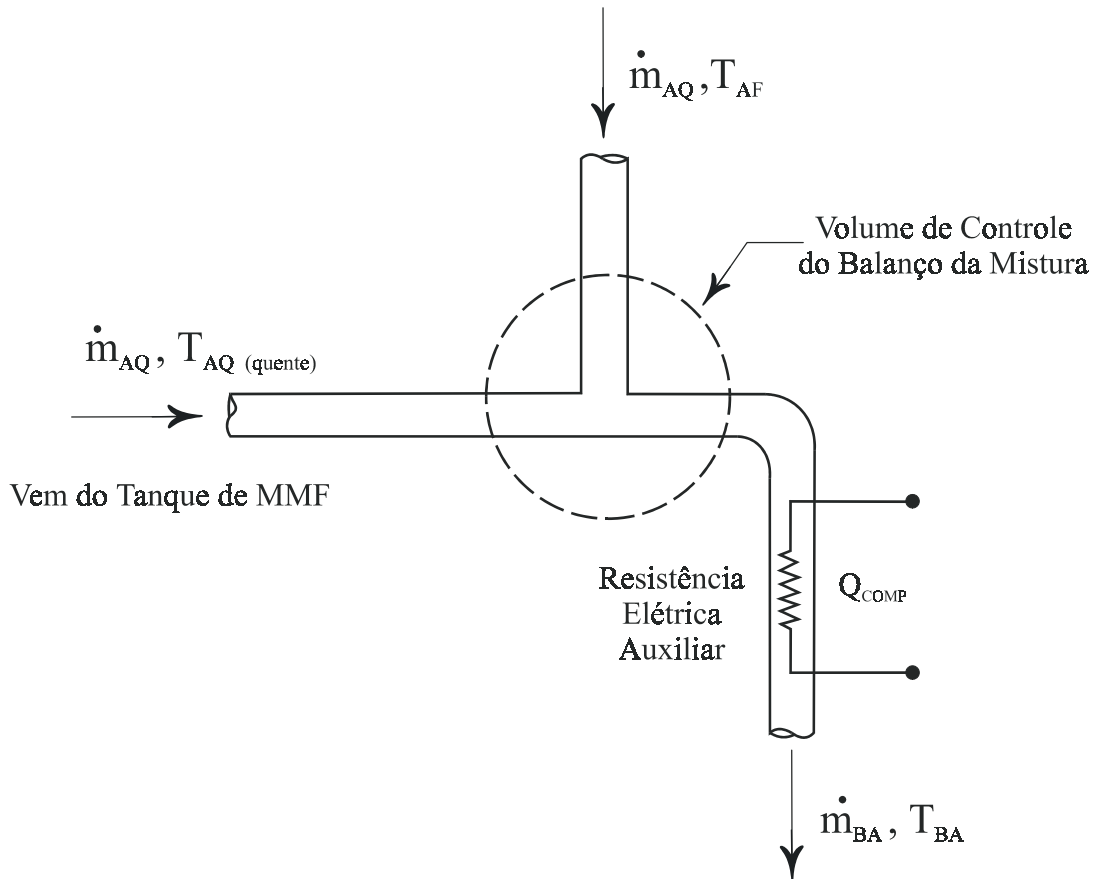


FIGURA 39: ESQUEMA QUE MOSTRA A COMPOSIÇÃO DA MASSA DE BANHO EM FUNÇÃO DA MASSA DE ÁGUA QUENTE E FRIA.

A Figura 39 mostra o processo de mistura da massa de água quente (\dot{m}_{AQ}) e da massa de água fria (\dot{m}_{AF}), perfazendo a massa total de banho (\dot{m}_{BA}).

A massa de água quente (\dot{m}_{AQ}) é proveniente do tanque de MMF e chega na mistura aquecida à medida que passa o tempo, há o decréscimo de T_{AQ} , ocasionando o aumento de \dot{m}_{AQ} e a redução de \dot{m}_{AF} , no objetivo de manter T_{BA} constante.

Logo, no momento quando T_{AQ} se tornar menor ou igual a T_{BA} , há a inclusão da energia elétrica complementar (Q_{COMP}), que visa deixar T_{BA} constante conforme parâmetro inicial de projeto.

Para a entrada de Q_{COMP} recomenda-se a utilização de um sensor eletrônico de temperatura.

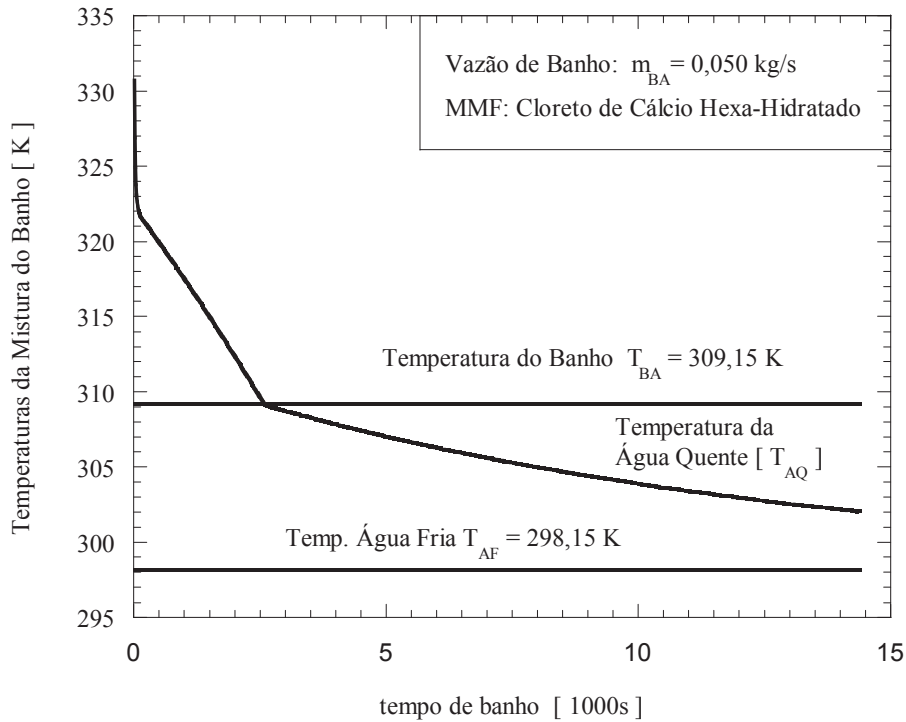


FIGURA 40: VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DA MASSA DE ÁGUA QUENTE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE BANHO DO MMF CLORETO DE CÁLCIO.

A Figura 40 foi obtida através dos resultados preliminares do simulador, onde o MMF CCHH é aquecido por intermédio do coletor solar do tipo serpentina e resfriado de maneira convencional com a temperatura de banho (T_{BA}) em 309,15K e a vazão de banho (m_{BA}) em 50 ml por segundo e mostra a variação decrescente da temperatura de água quente (T_{AQ}) em relação ao tempo, logo a temperatura de banho (T_{BA}) e a temperatura da água fria (T_{AF}) são constantes.

Observa-se que quando a temperatura de água quente (T_{AQ}) é maior do que temperatura de banho (T_{BA}) é o momento em que não se usa a energia elétrica complementar (Q_{COMP}).

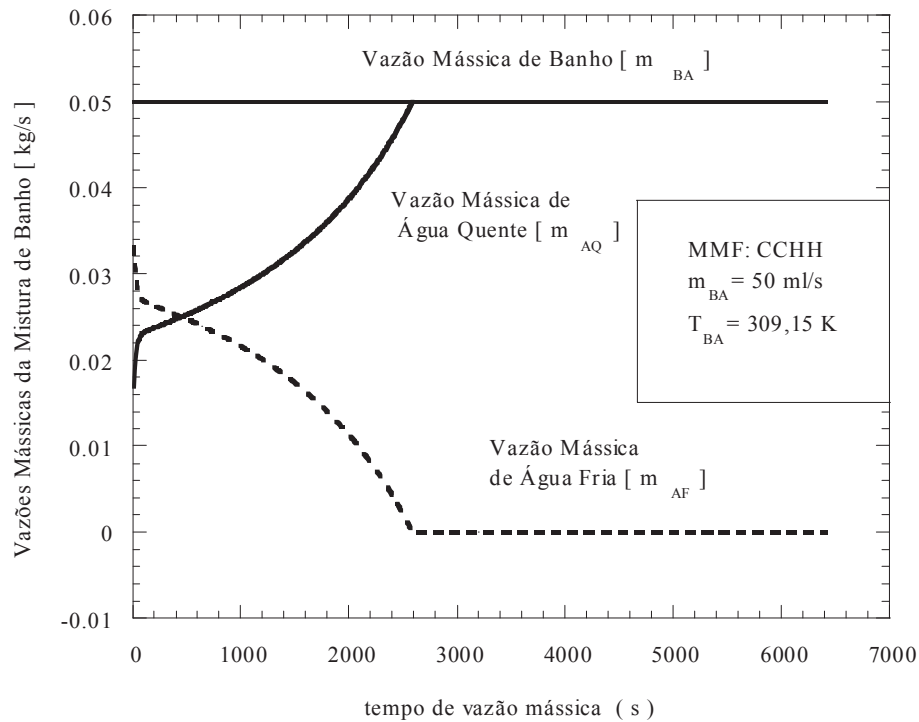


FIGURA 41: COMPOSIÇÃO DAS VAZÕES DA MISTURA DE ÁGUA QUENTE E FRIA DO MMF CLORETO DE CÁLCIO.

A Figura 41 foi obtida através dos resultados preliminares do simulador, onde o MMF CCHH é aquecido por intermédio do coletor solar do tipo serpentina e resfriado de maneira convencional, mostrando o comportamento da vazão da água quente (\dot{m}_{AQ}) ao longo do tempo.

No início do banho, a vazão de água quente (\dot{m}_{AQ}) é pequena devido a sua temperatura de água quente (T_{AQ}) ser elevada, mas no decorrer do banho, há a necessidade de aumentar a vazão da água quente (\dot{m}_{AQ}), para compensar a queda de sua temperatura (T_{AQ}).

No momento em que o MMF, não tiver a quantidade necessária de energia térmica armazenada para fornecer a massa de banho (\dot{m}_{BA}), a vazão de água quente (\dot{m}_{AQ}) se transforma em um banho elétrico convencional, consolidando a igualdade (\dot{m}_{BA}) = (\dot{m}_{AQ}).

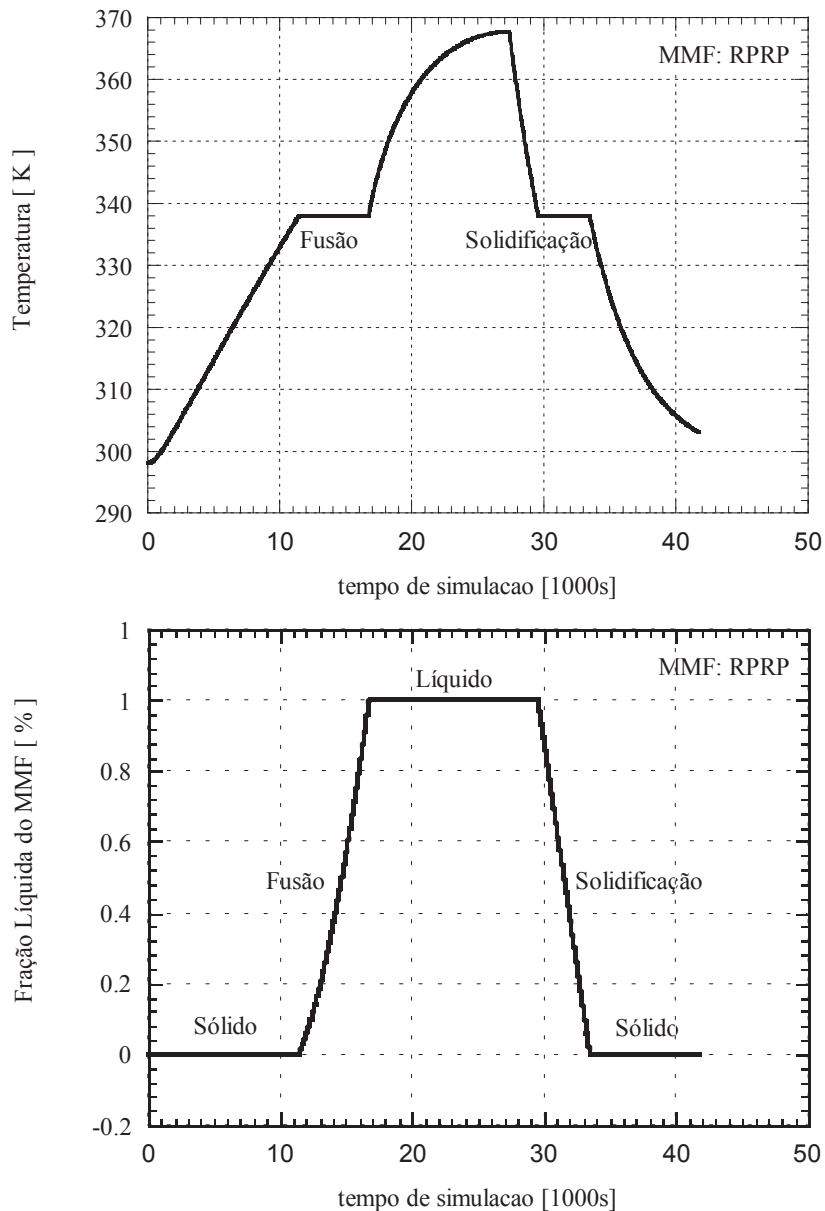


FIGURA 42: EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DO MMF E SUA FRAÇÃO LÍQUIDA COM O TEMPO UTILIZANDO O MMF RPRP.

A Figura 42 foi obtida através dos resultados preliminares do simulador, onde o MMF RPRP é aquecido por intermédio do coletor solar do tipo serpentina e resfriado de maneira convencional.

Esta simulação verifica todo o processo de fusão e solidificação do MMF, mostrado nos gráficos, a temperatura em relação ao tempo e a Fração Líquida em relação ao tempo, para o dia 21 de Junho em Curitiba.

Após aproximadamente 12000 segundos de aquecimento, o MMF começa a se fundir e leva o tempo aproximado de 8000 segundos para tornar-se líquido. Quando chega em 27381 segundos, ou aproximadamente 14h21m deste mesmo dia, o programa é interrompido, indicando que a temperatura do MMF ($T_{\text{MMF-VC11}}$), é maior do que a temperatura do Fluido Térmico ($T_{\text{FT-VC11}}$).

Neste momento todo o campo de temperaturas e fração líquida é registrado e guardado, logo servirá como entrada de dados no programa do resfriamento do MMF.

Com o início do programa de simulação do resfriamento do MMF, o mesmo começa às 14h21m como instante inicial e somente após 2941 segundos, ou aproximadamente 49 minutos, o tanque de armazenamento de MMF supre com eficiência em pelo menos 3 banhos de 10 minutos cada em regime contínuo. Neste caso foi desprezada a perda de calor para o meio externo. A vazão mássica de banho é de ($\dot{m}_{\text{BA}} = 50 \text{ ml/s}$) com temperatura constante em 36°C.

Com a finalidade de demonstrar o processo de solidificação do MMF, o mesmo foi de 10.000 segundos, passando do estado líquido para o estado sólido.

Conclui-se que este projeto funciona fisicamente e satisfatoriamente, e que deverá ser mais estudado com a finalidade de deixá-lo mais eficiente.

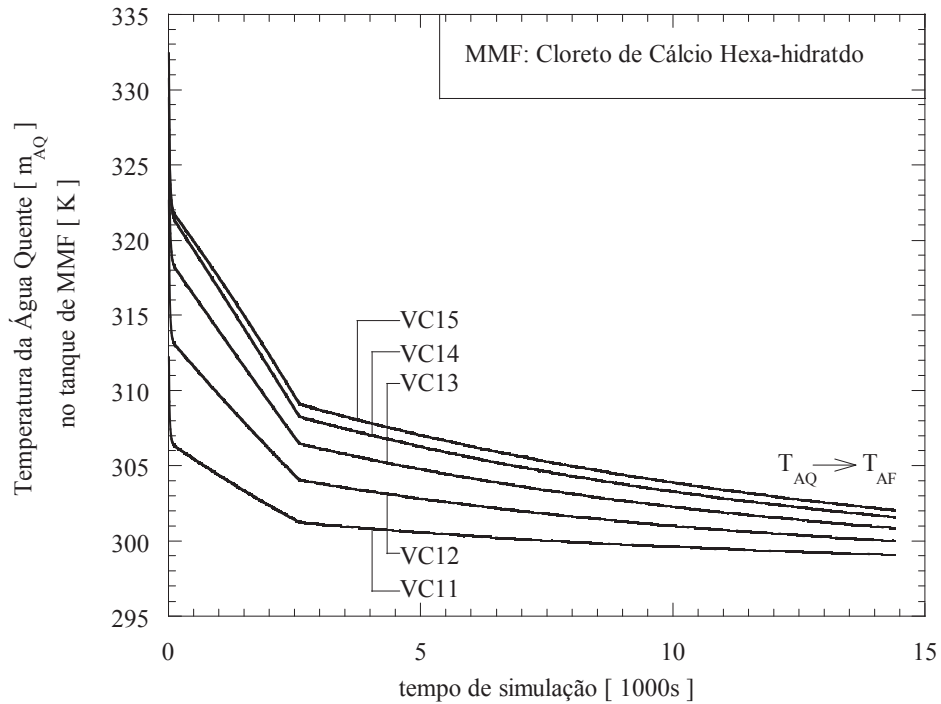


FIGURA 43: TEMPERATURA DA MASSA DE ÁGUA QUENTE QUE ENTRA NO MMF AQUECIDO (CLORETO DE CÁLCIO HEXA-HIDRATADO).

A Figura 43 foi obtida através dos resultados preliminares do simulador, onde o MMF RPRP é aquecido por intermédio do coletor solar do tipo serpentina e resfriado de maneira convencional e mostra a vazão de água quente (\dot{m}_{AQ}) que inicialmente entra a 298,15K no tanque de MMF aquecido. No decorrer do tempo de utilização, a sua temperatura vai decrescendo pois o MMF vai perdendo a sua energia térmica armazenada.

Nota-se que nos volumes de controle da massa de água aquecida, ocorre um perfil de temperaturas crescentes de VC11 a VC15, mas no decorrer do tempo há um decréscimo gradativo, e todas as curvas tendem para a temperatura da água fria (T_{AF}). Após, determinado período de banho, a temperatura da água aquecida tende para a temperatura ambiente de 298,15K.

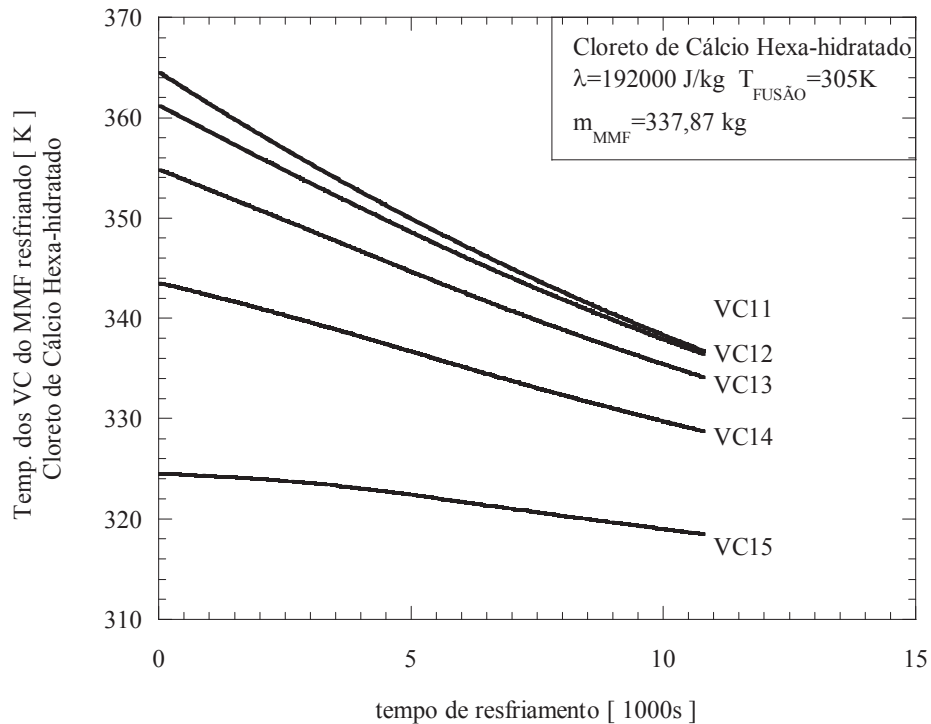


FIGURA 44: MOSTRA A QUEDA DE TEMPERATURA NOS VOLUMES DE CONTROLE DEVIDO AO RESFRIAMENTO DO MMF CLORETO DE CÁLCIO HEXA-HIDRATADO.

A Figura 44 foi obtida através dos resultados preliminares do simulador, onde o MMF CCHH é aquecido por intermédio do coletor solar do tipo serpentina e resfriado de maneira convencional e mostra o decréscimo de temperaturas do MMF em decorrência ao aquecimento da água quente.

A Figura 44, confirma que os dados iniciais do resfriamento, são os dados finais do aquecimento do MMF, onde o VC11 possuía a maior temperatura final do aquecimento.

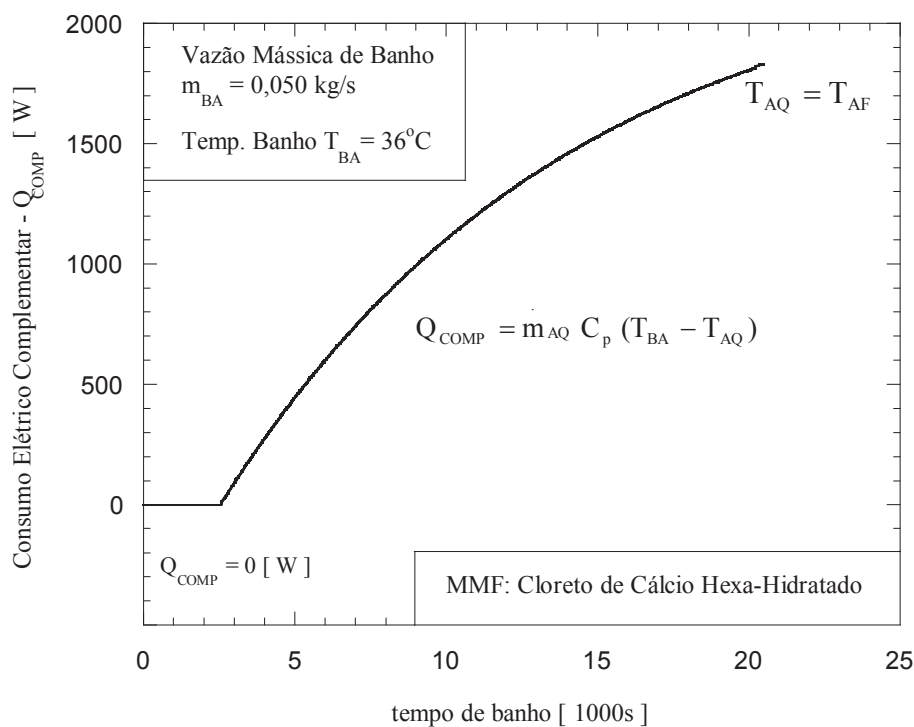


FIGURA 45: EVOLUÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA COMPLEMENTAR APLICANDO O MMF CLORETO DE CÁLCIO HEXA-HIDRATADO.

A Figura 44 foi obtida através dos resultados preliminares do simulador, onde o MMF CCHH é aquecido por intermédio do coletor solar do tipo serpentina e resfriado de maneira convencional, mostrando a entrada da energia elétrica complementar. Isso ocorre quando o MMF já não possui mais condições de manter a temperatura final de banho no nível especificado.

A energia complementar (Q_{COMP}) é dada pela Eq. (5.9):

$$Q_{COMP} = m_{AQ} C_p (T_{BA} - T_{AQ}) \quad (5.9)$$

À medida que a temperatura da água quente (T_{AQ}) vai diminuindo, o valor de Q_{COMP} tem que aumentar para compensar e manter a temperatura final do banho, T_{BA} , constante.

No momento em que temperatura da água quente (T_{AQ}) for igual a temperatura da água fria (T_{AF}), o sistema entende como um banho de chuveiro elétrico

convencional, e o MMF não consegue fornecer mais energia térmica a massa de água quente (\dot{m}_{AQ}).

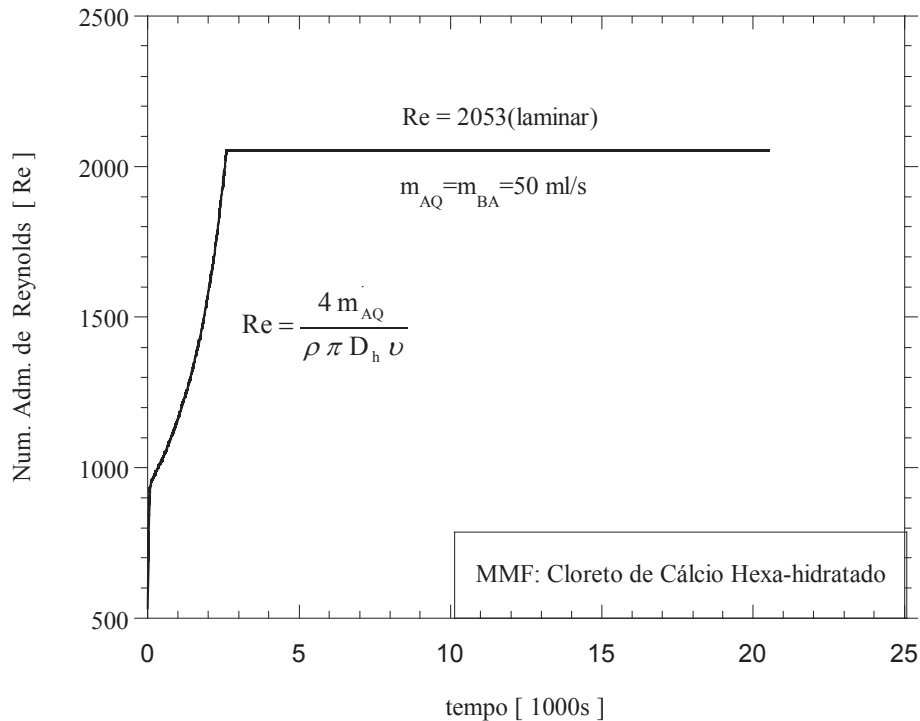


FIGURA 46: NÚMERO ADIMENSIONAL DE REYNOLDS NO ESCOAMENTO DA ÁGUA QUENTE NO TUBO DO TANQUE DO MMF CLORETO DE CÁLCIO HEXA-HIDRATADO.

A Figura 46 mostra a evolução do número de Reynolds ao longo do tempo em que a vazão de água quente (\dot{m}_{AQ}) vai aumentando devido a queda de temperatura do MMF.

O número de Reynolds é dado pela Eq. (5.10) de recorrência:

$$Re = \frac{4 \dot{m}_{AQ}}{\rho \pi D_h \nu} \quad (5.10)$$

Onde:

$$D_h = \frac{4(Z_{VC} Y_{FT})}{2(Z_{VC} + Y_{FT})} \quad (5.11)$$

No início do resfriamento do MMF, a massa de água quente (\dot{m}_{AQ}) é pequena devido a sua pouca necessidade de suprir a temperatura de banho (T_{BA}) constante, mas no decorrer do resfriamento do MMF, a sua vazão aumenta devido a queda da energia térmica armazenada no MMF. No momento em que o MMF não possui mais energia térmica armazenada para suprir o banho em temperatura constante, a sua vazão se iguala de uma vazão de banho elétrico convencional e fixada em número de Reynolds (laminar) e constante.

5.8) SIMULAÇÃO 5: QUADROS COMPARATIVOS ENTRE O CCHH E RPRP.

Dentro dos objetivos básicos do presente trabalho, verifica-se o desempenho do tanque de armazenamento de MMF quanto a quantidade de banhos que o usuário poderá usufruir sem a utilização da resistência elétrica complementar ($Q_{COMP} = 0$).

Estima-se que os parâmetros de conforto térmico de um banho doméstico seja de 10 minutos e com temperatura de banho (T_{BA}), no patamar mínimo de 38°C com uma vazão de banho (m_{BA}) de 55 ml/s segundo dados obtidos de empresas relacionadas a fabricação de chuveiro elétrico, e um experimento realizado neste trabalho.

Para esta simulação, não se considera a temperatura do fluido aquecido, ou seja, todo o campo de temperaturas do fluido térmico está no patamar de $298,15\text{K}$, objetivando a visualização do desempenho do aquecimento em uma condição desfavorável.

MMF UTILIZADO: Cloreto de Cálcio Hexa-Hidratado (CCHH)			
T_{AF}	T_{BA}	tempo ($t_{Q_COMP=0}$)	Nº de banhos
25° C=298,15K	40° C=313,15K	481 s = 8m	0
	38]° C=311,15K	4021 s = 1h 6m	3
	36° C=309,15K	8901 s = 2h 28m	10
15° C=288,15K	40° C=313,15K	361 s = 6 m	0
	38° C=311,15K	3661 s = 1h 1m	3
	36° C=309,15K	7661 s = 2h 7m	9

TABELA 10: QUADRO COMPARATIVO DO TEMPO DE BANHO SEM A UTILIZAÇÃO DO AQUECIMENTO ELÉTRICO COMPLEMENTAR DO CCHH, VARIANDO A TEMPERATURA DE BANHO (T_{BA}), COM $m_{BA} = 55\text{ ml/s}$.

A Tabela 10 mostra, o tempo de banho sem a utilização da resistência elétrica complementar ($t_{Q_COMP=0}$). Para a montagem desta Tabela, o programa de resfriamento foi alimentado com os dados do campo de temperaturas do MMF aquecido e com

energia térmica armazenada. Todo o campo de temperatura do fluido térmico já aquecido, foi desprezado, bem como a perda de calor para o meio externo.

Nota-se, que há condições suficientes para vários banhos ininterruptos de 10 minutos cada, com temperatura de banho fixado em 38°C, a qual considera-se uma temperatura morna, desejando-se uma temperatura de banho de 40°C, há uma sensível diminuição do número de banhos.

MMF UTILIZADO: Resíduo Pesado do Refino de Petróleo (RPRP)			
T_{AF}	T_{BA}	tempo (t_{Q_COMP=0})	Nº de banhos
25° C=298,15K	40° C=313,15K	1121 s = 18 m	≈ 2
	38° C=311,15K	2641 s = 44 m	4
	36° C=309,15K	4701 s = 1h 18m	7
15° C=288,15K	40° C=313,15K	961 s = 16 m	1
	38° C=311,15K	2261 s = 37m	3
	36° C=309,15K	3841 s = 1h 04m	6

TABELA 11: QUADRO COMPARATIVO DO TEMPO DE BANHO SEM A UTILIZAÇÃO DO AQUECIMENTO ELÉTRICO COMPLEMENTAR DO RPRP, VARIANDO A TEMPERATURA DE BANHO (T_{BA}), COM m_{BA} = 55 ml/s.

Tomando como base de comparação entre o CCHH e o RPRP para a situação de número de banho de 10 minutos cada, nota-se que o RPRP obteve melhor desempenho. Pode-se atribuir a este fato o alto ponto de fusão do RPRP e por conseqüência a área abaixo da curva de Q_{COMP} será menor e a área acima será maior propiciando maior economia de energia elétrica auxiliar.

5.9) SIMULAÇÃO 6: IMPLEMENTAÇÃO DA CURVA DE DEMANDA DE BANHO (\dot{m}_{BA}).

Com o objetivo de adequar o uso do tanque de MMF a situação mais real, aplica-se no resfriamento do MMF várias vazões de banho (\dot{m}_{BA}) em intervalos diferentes e verificar o comportamento de resposta do sistema.

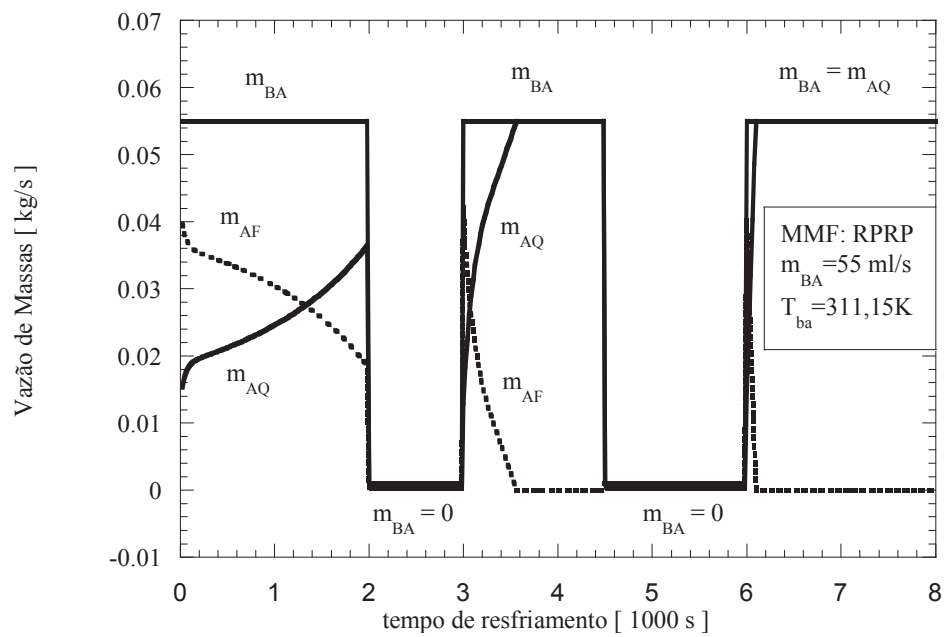


FIGURA 47: COMPORTAMENTO DA MASSA DE ÁGUA QUENTE (\dot{m}_{AQ}) E (\dot{m}_{BA}) EM FUNÇÃO DA DEMANDA.

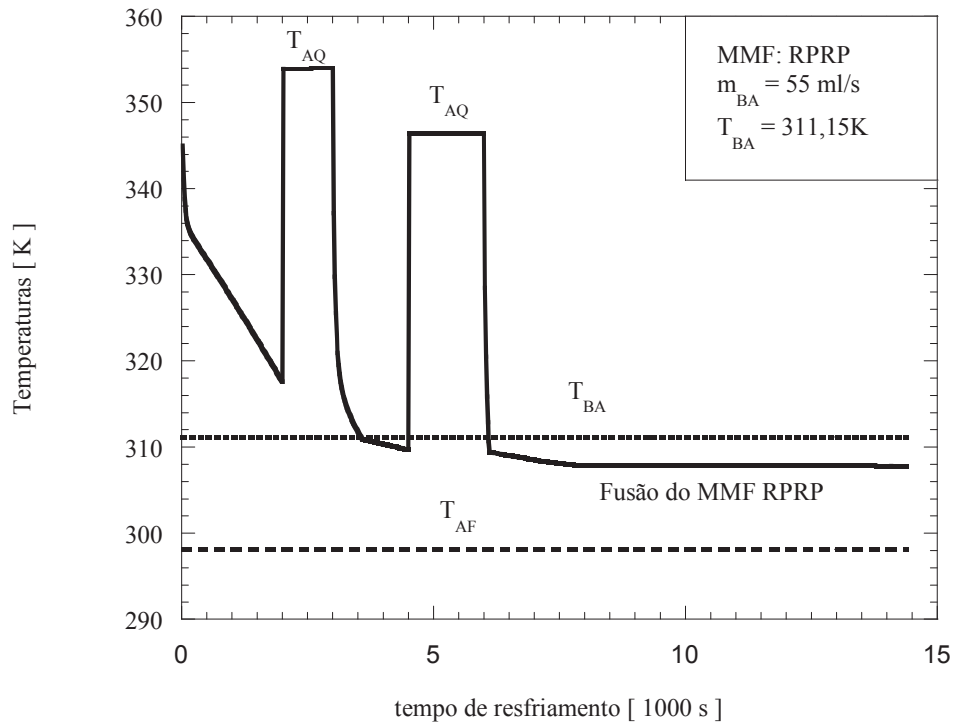


FIGURA 48: COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DE ÁGUA QUENTE (T_{AQ}) E TEMPERATURA DE BANHO (T_{BA}) EM FUNÇÃO DA DEMANDA.

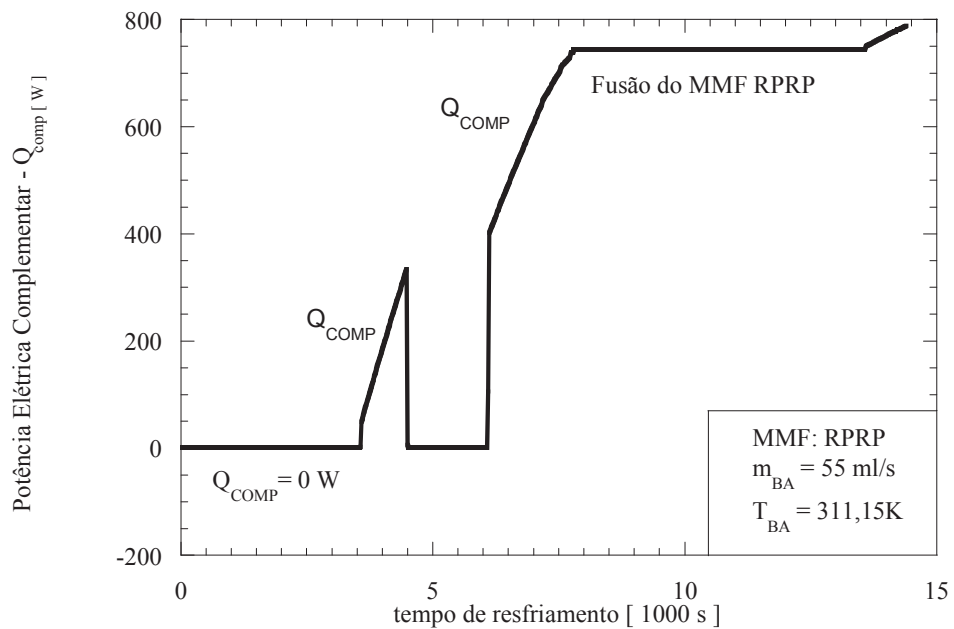


FIGURA 49: COMPORTAMENTO DA ENERGIA COMPLEMENTAR (Q_{COMP}) COM A APLICAÇÃO DA DEMANDA DE MASSA DE BANHO (\dot{m}_{BA}).

As Figuras 47, 48 e 49 apresentam o comportamento do simulador quando aplicada a curva de demanda de banho em períodos intercalados.

A Figura 47 mostra que no início do resfriamento a vazão de água quente (\dot{m}_{AQ}) da mistura é pequena, devido a pouca necessidade da mesma, pois o MMF RPRP possui grande quantidade de energia térmica. Com o resfriamento, há a necessidade de aumentar a sua vazão, pois a temperatura de todos os volumes de controle do MMF (T_{MMF}) vão diminuindo no decorrer do tempo deste resfriamento. Com o passar do tempo, o MMF não possui mais condições de fornecer energia térmica suficiente para manter a temperatura de banho (T_{BA}) constante, sendo este igual a 38°C, portanto a curva de \dot{m}_{AQ} irá se aproximar de \dot{m}_{BA} transformando-se totalmente em banho elétrico convencional. A temperatura da água fria (T_{AF}) é constante e igual a 298,15K, mas a sua vazão é variável e decrescente. A composição de \dot{m}_{AQ} e \dot{m}_{AF} compõem \dot{m}_{BA} no patamar de 55 ml/s .

A Figura 48 mostra o comportamento da temperatura de água quente (T_{AQ}) no decorrer do resfriamento onde T_{AQ} vai decrescendo, devido à passagem da vazão de banho (\dot{m}_{BA}) e o MMF RPRP vai cedendo energia térmica armazenada. No momento em que a vazão de banho é nula ($\dot{m}_{BA} = 0$) ou é desligada, a temperatura da água quente (T_{AQ}) permanece constante pois não há a passagem da vazão de banho (\dot{m}_{BA}).

No momento em que ocorre a fusão do MMF RPRP a temperatura da água quente (T_{AQ}) permanece constante, isto devido a temperatura do MMF RPRP (T_{MMF}) permanecer a mesma devido ao calor latente do MMF. Quando ocorre o final da fusão do MMF, a temperatura da água quente continua a diminuir e se aproxima ao longo do tempo da temperatura da água fria (T_{AF}), pois todo o sistema entrará em equilíbrio térmico.

A Figura 49 mostra o comportamento da energia complementar face a demanda da vazão de banho (m_{BA}).

No início da simulação, a energia complementar (Q_{COMP}) é zero, pois está sendo utilizada a energia térmica do MMF em quantidade suficiente para não necessitar da energia elétrica complementar. No momento em que é desligada a vazão (m_{BA}), o valor de Q_{COMP} incorporado pelo simulador é zero pois não há vazão.

A medida que a energia térmica do MMF RPRP vai diminuindo seu potencial de aquecimento, haverá a necessidade de acrescentar Q_{COMP} ao qual o simulador responde com a curva característica dada pela Figura 45. No momento em que o MMF RPRP entra em fusão, o valor de Q_{COMP} permanece constante, e assim haverá a economia de energia auxiliar, pois a área abaixo de Q_{COMP} é sensivelmente reduzida devido a fusão do MMF RPRP. No momento em que a fusão do MMF é concluída, o mesmo entra em estado sólido, existe o aumento de Q_{COMP} pois a energia armazenada do MMF RPRP neste momento está em patamares insuficientes de acúmulo de energia não podendo mas fornecer energia na troca de calor.

5.10) SIMULAÇÃO 7: ESTUDO DO RENDIMENTO DO CCHH E RPRP EM

FUNÇÃO DA RELAÇÃO $\frac{\text{kWh}_{\text{ECONOMIZADO}}}{m_{\text{MMF}}}$.

Sabe-se que para um banho utilizando aquecimento elétrico convencional com vazão de banho ($\dot{m}_{\text{BA}} = 55 \text{ ml/s}$), temperatura de banho ($T_{\text{BA}} = 311,15\text{K}$) e temperatura de água fria ($T_{\text{AF}} = 298,15\text{K}$) procede-se o calculo desta potência elétrica convencional (Q_{ELE}) que é dada por:

$$Q_{\text{ELE}} = \dot{m}_{\text{BA}} c_p (T_{\text{BA}} - T_{\text{AF}}) \quad (5.12)$$

$$Q_{\text{ELE}} = 0,055 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}} (311,15\text{K} - 298,15\text{K}) \quad (5.13)$$

$$Q_{\text{ELE}} = 2993 \text{ W} \quad (5.14)$$

Isto deduz-se que para uma vazão \dot{m}_{BA} considerada acima, à necessidade de uma potência elétrica convencional Q_{ELE} de 2993W, para elevar a temperatura da vazão de água de 298,15K (25°C) à 311,15K (38°C), a qual considera-se o banho padrão.

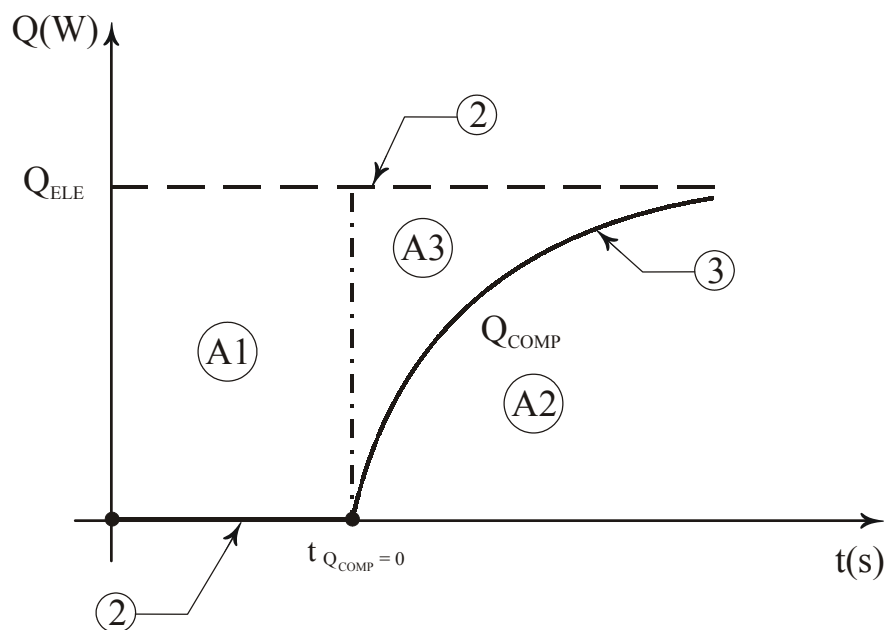


FIGURA 50: GRÁFICO TEÓRICO MOSTRANDO Q_{ELE} E Q_{COMP} DO MMF CCHH.

A Figura 50 mostra, de forma teórica, a curva do resfriamento do CCHH, onde devido ao seu baixo ponto de fusão, há a necessidade de um tempo maior de vazão da massa de banho para entrar neste processo de fusão. Segue a identificação das curvas e áreas correspondentes:

- 1: Curva do aquecimento elétrico convencional dado por Q_{ELE} ;
- 2: Trecho compreendido onde não se tenha necessidade do aquecimento elétrico complementar;
- 3: Curva do aquecimento elétrico complementar;

A1: Área que representa a energia elétrica economizada durante o tempo $t = 0$ s até $t_{Q_{COMP}=0}$;

A2: Área que representa a energia elétrica complementar (Q_{COMP}) com o auxílio da eletricidade, pois o MMF não possui mais energia térmica armazenada para manter a temperatura de banho T_{BA} no patamar considerado;

A3: Área que representa a energia elétrica economizada parcialmente devido a variação crescente de Q_{COMP} .

Observa-se que quando a curva 3 (Q_{COMP}) fica paralelo com a curva 1 (Q_{ELE}), o MMF não possui mais energia térmica acumulada e o banho utilizando MMF, se transforma em um banho convencional totalmente elétrico, ou, $Q_{ELE} = Q_{COMP}$.

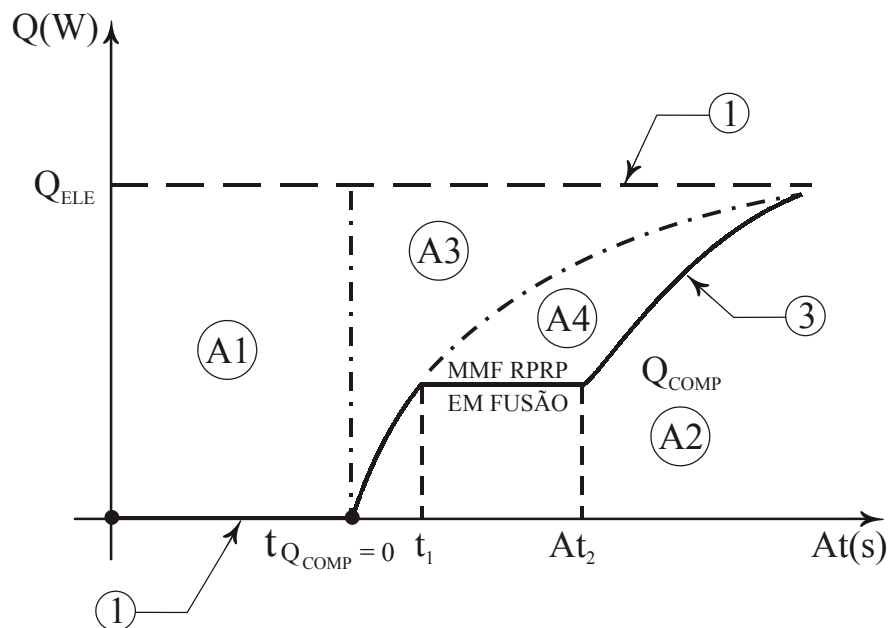


FIGURA 51: GRÁFICO TEÓRICO MOSTRANDO Q_{ELE} E Q_{COMP} DO MMF RPRP.

A Figura 51, mostra que para o RPRP, o resfriamento devido ao seu alto ponto de fusão (338K) há o evento da mudança de fase. Nota-se que para este caso a área A2 será menor e necessitando de uma menor potência auxiliar para aquecimento (Q_{COMP}), logo com a área A3 sendo aumentada representa um fator positivo para o MMF RPRP, que consegue liberar maior quantidade de energia térmica.

A área A4 pertencente a área A3 representa a quantidade de energia efetivamente economizada com o processo de fusão do MMF, contribuindo com uma maior quantidade de energia térmica sendo transferida para o MMF RPRP.

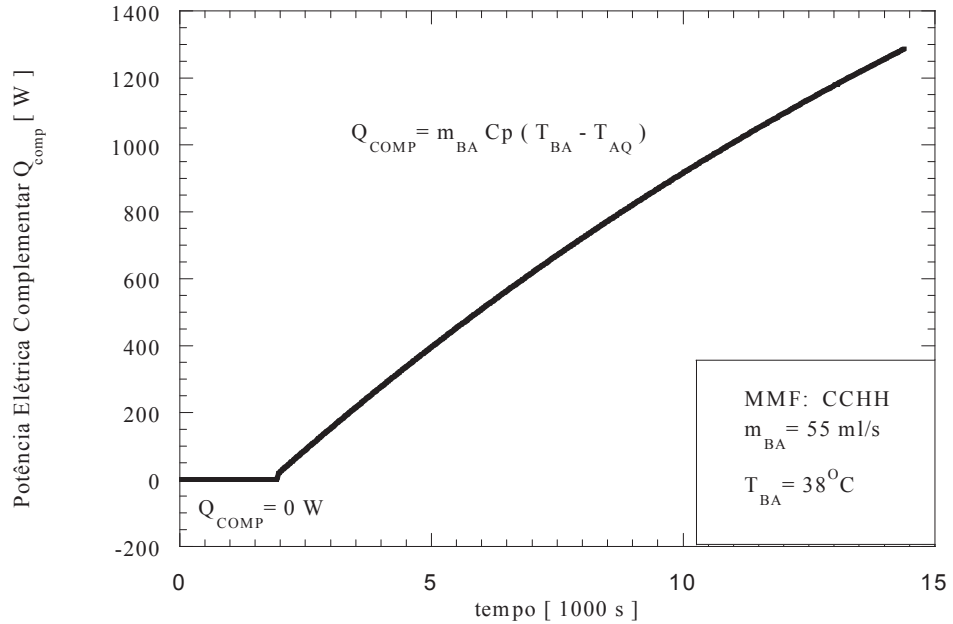


FIGURA 52: GRÁFICO DO RESFRIAMENTO DO MMF CCHH OBTIDO NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA.

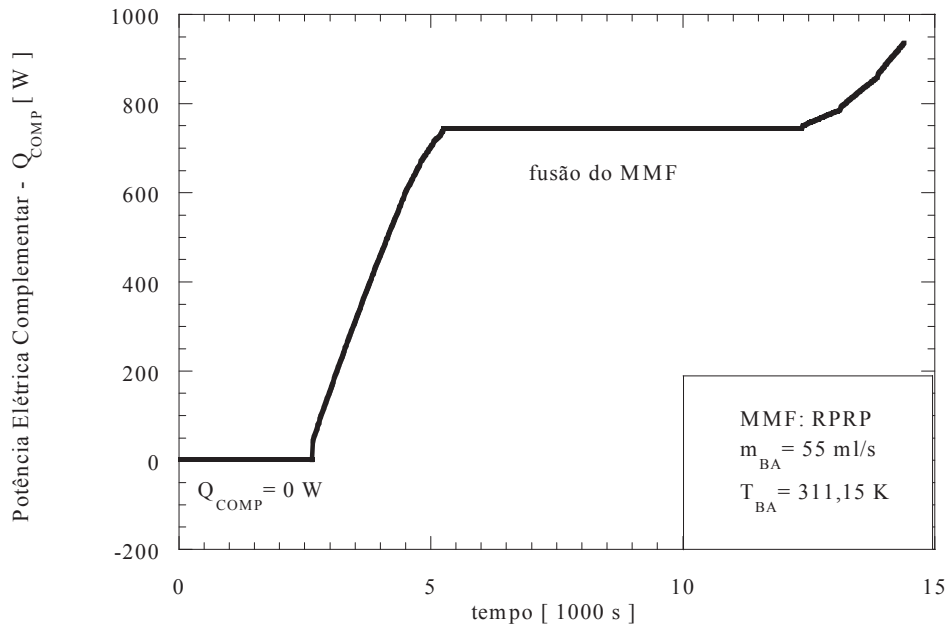


FIGURA 53: GRÁFICO DO RESFRIAMENTO DO MMF RPRP OBTIDO NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA.

	CCHH	RPRP
$T_{\text{FUSÃO}}$	305K	338K
m_{MMF}	337,87kg	196,87kg
Tempo de resfriamento onde ocorre a economia total de energia elétrica ($t_{\text{QCOMP}=0}$).	1921s	2641s
kWh economizados em $t_{\text{QCOMP}=0}$, área A1 ou ($Q_{\text{ELE}} \cdot t_{\text{QCOMP}=0}$)	2993W 1921s = 1597Wh	2993W 2641s = 2195Wh
Relação $\frac{\text{kWh}_{\text{ECONOMIZADO}}}{m_{\text{MMF}}}$	$4,72 \frac{\text{Wh}}{\text{kg}}$	$11,15 \frac{\text{Wh}}{\text{kg}}$

TABELA 12: QUADRO COMPARATIVO ENTRE CCHH E RPRP

CONFORME RELAÇÃO $\frac{\text{kWh}_{\text{ECONOMIZADO}}}{m_{\text{MMF}}}$ **DE t = 0 s ATÉ** $t_{\text{QCOMP}=0}$.

Analisando os resultados obtidos nota-se que o RPRP obteve melhor rendimento em relação ao CCHH devido ao seu alto ponto de fusão.

	CCHH	RPRP
Intervalo de tempo: $t_{Q_{COMP}=0}$ à $t = 3601$ s		
kWh utilizados entre $t_{Q_{COMP}=0}$ e $t = 3601$ s ($Q_{COMP} \Delta t$): Área A2	207331 Ws = 57,59 Wh	182031 Ws = 50,56 Wh
kWh necessários ($Q_{ELE} \Delta t$)	2993 W (3601-1921) s = 2993 W 1680 s = 1396 Wh	2993 W (3601-2641) s = 2993 W 960 s = 798 Wh
kWh economizados entre $t_{Q_{COMP}=0}$ até $t = 3601$ s: Área A3	1338 Wh	747 Wh
Intervalo de tempo: $t = 3601$ s à $t = 7201$ s		
kWh utilizados entre $t = 3601$ s à $t = 7201$ s: Área A2	1793177 Ws - 207331 Ws = 1585846 Ws = 440 Wh	2564401 Ws - 182031 Ws = 2382370 Ws = 661 Wh
kWh necessários ($Q_{ELE} \Delta t$)	2993 W (7201-3601) s = 2993 W 3600 s = 2993 Wh	2993 W (7201-3601) s = 2993 W 3600 s = 2993 Wh
kWh economizados entre $t = 3601$ até $t = 7201$ s: Área A3	2553 Wh	2332 Wh
Intervalo de tempo: $t = 7201$ s à $t = 10801$ s		
kWh utilizados entre $t = 7201$ a $t = 10801$ s ($Q_{COMP} \Delta t$): Área A2	4745195 Ws - 1793177 Ws = 2952018 Ws = 820 Wh	5244481 Ws - 2564401 Ws = 2680080 Ws = 744 Wh
kWh necessários ($Q_{ELE} \Delta t$)	2993 W (10801 - 7201) s = 2993 W 3600 s = 2993 Wh	2993 W (10801 - 7201) s = 2993 W 3600 s = 2993 Wh
kWh economizados entre $t = 7201$ s até $t = 10801$ s: Área A3	2173 Wh	2249 Wh
Intervalo de tempo: $t = 10801$ s à $t = 14401$ s		
kWh utilizados entre $t = 10801$ s a $t = 14401$ s ($Q_{COMP} \cdot \Delta t$): Área A2	8861654 Ws - 4745195 Ws = 4116459 Ws = 1143 Wh	8084541 Ws - 5244481 Ws = 2840060 Ws = 788 Wh
kWh necessários ($Q_{ELE} \Delta t$)	2993 W (14401-10801) s = 2993 W 3600 s = 2993 Wh	2993 W (14401-10801) s = 2993 W 3600 s = 2993 Wh
kWh economizados entre $t = 10801$ s até $t = 14401$ s: Área A3	1850 Wh	2205 Wh
kWh economizados entre $t = 0$ s à $t = 14401$ s	9511 Wh	9728 Wh
Relação $\frac{kWh_{ECONOMIZADO}}{m_{MMF}}$	28,14 $\frac{Wh}{kg}$	49,41 $\frac{Wh}{kg}$

TABELA 13: QUADRO COMPARATIVO ENTRE CCHH E RPRP CONFORME

RELAÇÃO $\frac{kWh_{ECONOMIZADO}}{m_{MMF}}$ **DE $t = 0$ s à $t = 14401$ s.**

Analisando os resultados obtidos pela Tabela 13, pode se considerar que os dois MMF's contemplam como bons armazenadores de energia térmica por acumulação, e excelente materiais para troca de calor.

Pode-se justificar satisfatoriamente que o RPRP obteve melhor rendimento que o CCHH, por estar mais adaptado ao volume da geometria do tanque de armazenamento. As propriedades físico-químicas do RPRP tais como temperatura de fusão e massa específica foram fundamentais para este bom rendimento. Salienta-se ao fato de que deverá ser otimizado o formato geométrico do tanque de MMF para o CCHH obter um melhor rendimento.

5.11) SIMULAÇÃO 8: ESTUDO DO AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DO MMF APLICANDO O FATOR DE TRANSMITÂNCIA DE DUARTE (2004).

O presente trabalho em sua simulação principal, utilizou um fator de transmitância igual a 1,0 (100%), considerando que toda a radiação extraterrestre atinge o coletor solar mantendo o modelo numérico computacional conservador.

Com o objetivo de obter os resultados mais reais possíveis, procede-se a presente simulação em aplicar na curva de radiação solar de IQBAL (1983) o fator de transmitância de 0,72 (72%) conforme referência de DUARTE (2004).

Com a aplicação do fator de 0,72 a energia acumulada pelo coletor solar durante o dia 21 de Junho, ficou no valor de 22,08 MJ/m², conforme calculado no programa de simulação numérica do presente trabalho.

Critérios, Condições e Parâmetros:	Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado		Resíduo Pesado Refino de Petróleo	
Tempo em que ocorre a condição: $T_{MMF} > T_{FT}$	31401 s		29541 s	
Valores do campo de Temperatura e Fração Líquida do 1º ao 5º VC:	345,72 K (X=1), 342,65 K (X=1), 335,99 K (X=1), 322,69 K (X=1), 303,00 K (X=0,94)		347,35K (X=1), 345,43K (X=1), 339,85K (X=1), 338,00K (X=0,76), 338,00K (X=0,55)	
Temperatura Max. do FT: Temperatura do FT na saída do tubo do coletor:	349,06 K 345,13 K		349,06 K 346,94 K	
Tempo de resfriamento onde ocorre a economia de energia elétrica ($t_{Q_COMP=0}$) conforme $T_{AF} = 25^\circ\text{C}$ e T_{BA} e m_{BA} variáveis:	$m_{BA} = 55 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$	2 s	$m_{BA} = 55 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$	60 s
	$T_{BA} = 38^\circ\text{C}$		$T_{BA} = 38^\circ\text{C}$	
	$m_{BA} = 55 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$	3 s	$m_{BA} = 55 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$	180 s
	$T_{BA} = 36^\circ\text{C}$		$T_{BA} = 36^\circ\text{C}$	
	$m_{BA} = 50 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$	2 s	$m_{BA} = 50 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$	80 s
	$T_{BA} = 38^\circ\text{C}$		$T_{BA} = 38^\circ\text{C}$	
	$m_{BA} = 50 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$	3 s	$m_{BA} = 50 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$	880 s
	$T_{BA} = 36^\circ\text{C}$		$T_{BA} = 36^\circ\text{C}$	

TABELA 14: COMPARATIVO ENTRE O RESÍDUO PESADO DO REFINO DE PETRÓLEO (RPRP) E O CLORETO DE CÁLCIO HEXA-HIDRATADO (CCHH) UTILIZANDO O FATOR DE TRANSMITÂNCIA CONFORME DUARTE (2004).

Nota-se que com a aplicação do fator de transmitância de DUARTE (2004), observa-se que os campos de temperatura do MMF decaíram em relação ao aplicado na simulação principal (Tabela 9 – Simulação 3) e que este fator indica que o desempenho do tanque de armazenamento será insatisfatório.

Analisando os dados obtidos na Tabela 14, nota-se a sensível queda do tempo de energia a custo zero ($t_{Q_COMP=0}$), com a aplicação do fator de transmitância de DUARTE (2004).

Os resultados são mais claros no RPRP onde resulta em uma tendência de resultados esperados.

Os resultados do CCHH ficaram insuficientes para esta simulação, e para que o mesmo obter um melhor desempenho deverá ser reprojeta a área do coletor solar.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Simulação 1 (Seção 5.4), foram determinados os ângulos de inclinação do coletor solar (β), e o ângulo de orientação da placa (γ), para a condição crítica de insolação (21 de Junho, Solstício de Inverno).

Embora os coletores geralmente são posicionados e inclinados para um desempenho médio anual, neste trabalho procurou-se verificar o funcionamento dos MMF's, CCHH e RPRP em condições críticas.

Para a determinação desses ângulos, foi considerado o critério da maior energia armazenada pelo coletor solar neste dia que resultaram nos ângulos β_{OTIMO} e γ_{OTIMO} , que representam a melhor orientação do coletor.

Utilizou-se o programa RADIASOL da UFRGS para a obtenção destes ângulos onde obteve-se $\beta_{\text{OTIMO}} = 29^\circ$ e $\gamma_{\text{OTIMO}} = 0^\circ$.

Salienta-se que o programa RADIASOL, calcula a energia acumulada pelo coletor, e para este dia foi de $33,40 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$ e que o programa do presente trabalho através de formulação obtida em IQBAL (1983), obteve o valor de $30,67 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$ o qual está bem próximo (8,1%) do programa RADIASOL.

Na Simulação 2 (Seção 5.5), foram realizados ajustes de parâmetros geométricos do conjunto coletor-tanque para atender as expectativas de funcionamento.

Nos estudos preliminares foi considerado o coletor solar do tipo serpentina e na produção dos resultados finais do trabalho foi utilizado o coletor solar com tubos paralelos.

Foi realizado uma simulação de todo o ciclo de aquecimento do sistema, partindo do nascente até o critério de parada: $T_{\text{MMF}} > T_{\text{FT}}$.

Pela Figura 38, mostra-se que, a simulação segue a Física esperada: Fluido térmico com têmpera variável em decorrência da varia o da insola o, aquecimento do MMF passando pela mudança de fase.

Os limites operacionais foram, máxima temperatura da água de 95°C (368K) e o MMF a 360K.

Na Simulação 3 (Seção 5.6) e Simulação 4 (Seção 5.7) , foi estudado o aquecimento de água para uso doméstico. Nesta simulação foi incluído um diagnóstico complementar de aquecimento (típico nestes sistemas).

Ficam estabelecidas as condições de um banho típico, ou seja, 55 ml/s de vazão de banho e 38°C de temperatura da água de banho durante um período contínuo de 10 minutos.

Os resultados são resumidos nas Figuras 40 e 41 onde se observa a evolução da temperatura da água, provida pelo sistema e a composição com a água “fria” para atender os parâmetros de um banho.

A Figura 42 ilustra todo o ciclo térmico do MMF. Já a Figura 43 ilustra a consistência física dos resultados do simulador: todas as temperaturas dos volumes de controle tendem ao resfriamento total.

A Figura 47, da mesma forma, ilustra que mesmo no final do uso da água ainda há energia residual, que não pode ser aproveitado pelas resistências, a transferência de calor. (Obs.: A Figura 44 foi truncada no tempo, porém as temperaturas também tendem a temperatura ambiente).

Na Figura 45, demonstra-se que o simulador incorpora a energia complementar para aquecimento de forma apropriada e mostra o tempo de vazão onde não é utilizada a energia complementar ($t_{Q_COMP=0}$).

A Simulação 5 (Seção 5.8), foi utilizado um comparativo entre os MMF's CCHH e RPRP , com variação de temperatura de banho e vazão.

Toma-se como base o parâmetro temperatura de banho ($T_{BA} = 38^{\circ}\text{C}$) e vazão de banho ($m_{BA} = 55 \frac{\text{ml}}{\text{s}}$). Os resultados demonstram que os dois MMF's possuem um desempenho satisfatório.

Na Simulação 6 (Seção 5.9), foi implementada curva de demanda de banho onde o RPRP obteve um bom desempenho, devido ao mesmo possuir um alto ponto de fusão (338K) e devido a esta propriedade física entra em fusão primeiro e consegue devido a curva da Figura 49, uma menor área abaixo da curva de Q_{COMP} e devido a isso uma menor quantidade de energia elétrica complementar.

Os resultados demonstram novamente que o MMF RPRP tem o potencial de aplicações e que o simulador capturou o efeito transitório da demanda.

Na Simulação 7 (Seção 5.10), foi realizado estudo da relação $\frac{\text{kWh}_{\text{ECONOMIZADO}}}{\text{m}_{\text{MMF}}}$

dos dois MMF's em estudo.

Os resultados estão sintetizados nas Tabelas 12 e 13, e demonstram que os dois MMF's possuem potencial significativo para a acumulação de energia e que possíveis diferenças de resultados são devidos as propriedades físico-químicas de cada material.

Na Simulação 8 (Seção 5.11), foi realizada simulação de aquecimento e resfriamento de todo o sistema considerando o fator de transmitância de 0,72 (72%) dado por DUARTE (2004).

A energia acumulada pelo coletor foi de $22,08 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$ e demonstrou ser insuficiente para aquecimento de água. Isto nos conduz que todo o sistema de captação solar deverá ser reprojetoado com o aumento da área para obter um melhor aquecimento do MMF.

7 CONCLUSÕES

Nesta dissertação foi desenvolvido um modelo matemático e um simulador computacional, para identificar a viabilidade teórica e técnica de se utilizar resíduos pesados do refino de petróleo (RPRP), para armazenamento de energia térmica solar através de insolação transitória e demanda de água a ser aquecida.

O simulador foi validado através da verificação do balanço de energia. Foi realizada em comparação com um material em mudança de fase convencional (Cloreto de Cálcio Hexa-hidratado) e um dado RPRP.

Foi demonstrado que o simulador gerou resultados consistentes e que o RPRP utilizado ofereceu grande potencial de utilização em aplicações de aquecimento solar para sua viabilidade.

O Sistema completo é composto por um coletor solar de tubos paralelos, cujo a finalidade é aquecer o fluido térmico de trabalho que passa no interior do tanque de armazenamento, e que através de processo térmico de transferência de calor, aquecerá o MMF armazenado.

O objetivo básico do trabalho é de analisar a viabilidade do sistema proposto em substituir parcialmente a energia elétrica consumida em horários de ponta visando diminuir os picos de consumo de eletricidade em horários críticos.

Após a construção do modelamento matemático foram realizadas várias simulações e chegamos a dimensões determinadas que conduzem para uma economia real de energia. Inicialmente o trabalho estava voltado para uma aplicação doméstica mas com os estudos realizados achamos que sua aplicação em academias de esportes seria o local mais adequado para a sua aplicação, onde nos períodos vespertino e noturno se concentram os pontos críticos de fornecimento de energia.

Sugestões para o aperfeiçoamento do trabalho:

- a) O presente trabalho não se aprofundou nos estudos e modelamento matemático mais criterioso da mudança de fase do MMF;
- b) Deverá ser estudado uma geometria mais compatível para o tanque de armazenamento de MMF com a finalidade de minimizar o espaço ocupado pelo mesmo;

BIBLIOGRAFIA

- [1] MONTENEGRO, A. A., (2000), Fontes não-convencionais de energia – As tecnologias solar, eólica e de biomassa, Laboratório de Energia Solar/Núcleo de Controle Térmico de Satélites, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC- Brasil.
- [2] BEZERRA, A. M., (2001), Aplicações Térmicas da Energia Solar , Editora Universitária da Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa/PB – Brasil.
- [3] BEJAN, A. , (1984), Convection Heat Transfer, John Wiley & Sons, New York – USA.
- [4] ISMAIL, K.A.R., (1998), Bancos de Gelo – Fundamentos e Modelagem, Editora da Unicamp, Campinas/SP – Brasil.
- [5] ARAÚJO, C. de, (1982), Transmissão de Calor, Editora da Puc, Rio de Janeiro/RJ – Brasil.
- [6] OMETTO, J.C., (1968), Estudo das relações entre: Radiação Solar Global, Radiação Líquida e Insolação, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo – Piracicaba/SP – Brasil.
- [7] IQBAL, M., (1983), An introduction to solar radiation, Academic Press, Toronto – Canadá.
- [8] BOJIC, M., KALOGIROU, S., e PETRONIJEVIC K., (2000), Simulation of a solar domestic water heating system using a time marching model, Renewable Energy, vol. 27, pp. 441-452.
- [9] KAYGUSUZ, K., (1995), Experimental and theoretical investigation of latent heat storage for water based solar heating systems, Energy Convers. Mgmt., vol. 36, no. 5, pp. 315-323..

- [10] MORRISON, D.J., e ABDEL-KHALIK, S.I., (1977), Effects of phase-change energy storage on the performance of air-based and liquid-based solar heating systems, *Solar Energy*, vol. 20, pp 57-67.
- [11] INCROPERA, F.P., e de WILL, D.P., *Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa*, Editora Guanabara-Koogan, Rio de Janeiro – Brasil.
- [12] BECKMANN,G. e GILLI, P.V., (1982), *Thermal energy storage*, 2^a Ed. USA, Springer Verlag Wien, N.Y., 530p.
- [13] KINCAID,D., (1990), *Numerical Analysis Mathematics of Scientific Computing*, Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, California, EUA.
- [14] ESCOBEDO, J.F.,(2002), *Climatologia Agrícola*, Universidade Estadual Paulista, Botucatu/SP – Brasil.
- [15] PERRY R.H., GREEN D.W., Maloneyu O., *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 6^a ed., Mc Graw-Hill, 1984.
- [16] JACOBS, A. L. S., ERRERA, M. R., e STANESCU G., *Desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia térmica para transformação de resíduos pesados em sub- produtos*, . In *Anais*, 2^o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, 2003.
- [17] SAHA, S. K., MAHANTA, D.K., (2000), Thermodynamic optimization of solar flat-plate collector, *Renewable Energy*, vol. 23, pp. 181-193.
- [18] BEJAN, A., SCHULTZ, W., (1981), Optimum flowrate history for cooldown and energy storage process, *J. Heat Mass Transfer*, vol. 25, pp 1087-1092.

- [19] BEJAN, A., (1996), Entropy Generation Minimization, CRC Press, New York, USA.
- [20] PALZ, W., (1985), Energia Solar e fontes alternativas, UNESCO, USA.
- [21] WINTER, C.J., SIZMANN, R.L., and VANT-HULL, L.L., (1990), Solar Power Plants, Springer-Verlag, London, UK.
- [22] ALBINO DE SOUZA, A.W., (1994), Fundamentos da Teoria da Energia Solar e de seu uso, Ed. Fundação de Direito Econômico, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- [23] ASSUNÇÃO, H.F., (2000), Climatologia, Ed. Universidade Federal de Goiás, Jataí, Goiás, Brasil.
- [24] ATKINS, P.W., (1999), Físico-Química, Vol. 1, 6^a Edição, Ed. LTC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- [25] DUARTE, H.F., (2004), Ajuste da radiação líquida em um modelo de transferência solo-vegetação-atmosfera, Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR – Brasil.

ANEXOS

Planilhas analíticas do Balanço de energia;

Exemplos de programa em Fortran;

BALANÇO DA ENERGIA INTERNA DOS VOLUMES DE CONTROLE DO COLETOR SOLAR								
ARQUIVO BAL_COL_EN_INT.XLS								
Vidro				Ar Interno				
tempo(s)	m_vd	Cp_vd	T_vd	Q_vd	m_ar	Cp_ar	T_ar	Q_ar
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001	22.4	800	298.7368		0.7095	1011	301.3914	
6001			299.1010	6526.46 J			303.4083	1446.73 J
TB VC31				FB VC32				
tempo(s)	m_tb	cp_tb	T_tb_vc31	Q_tb_31	m_tb	cp_tb	T_tb_vc32	Q_tb_32
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001	0.1734875	896	307.0635		0.1734875	896	310.6954	
6001			312.5517	853.11 J			318.4452	1204.67 J
TB VC33				TB VC34				
tempo(s)	m_tb	cp_tb	T_tb_vc33	Q_tb_33	m_tb	cp_tb	T_tb_vc34	Q_tb_34
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001	0.1734875	896	314.1836		0.1734875	896	317.5336	
6001			324.1160	1543.94 J			329.5336	1865.34 J
TB VC35				FT VC41				
tempo(s)	m_tb	cp_tb	T_tb_vc35	Q_tb_35	m_ft	cp_ft	T_ft_vc41	Q_ft_41
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001	0.1734875	896	320.7510		0.529	4182	300.3282	
6001			334.8230	2187.42 J			301.6753	2980.16 J
FT VC42				FT VC43				
tempo(s)	m_ft	cp_ft	T_ft_vc42	Q_ft_42	m_ft	cp_ft	T_ft_vc43	Q_ft_43
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001	0.529	4182	304.2094		0.529	4182	307.9373	
6001			307.9627	8303.34 J			314.0130	13441.14 J
FT VC44				FT VC45				
tempo(s)	m_ft	cp_ft	T_ft_vc44	Q_ft_44	m_ft	cp_ft	T_ft_vc45	Q_ft_45
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001	0.529	4182	311.5177		0.529	4182	314.9564	
6001			319.8348	18399.74 J			325.4367	23185.34 J
SOMA								81932.00 J

BALANÇO DO COLETOR INTEIRO													
Arquivo BAL_COI_INTEIRO.XLS													
	Q_entra	Q_sar	Q_sar	Q_sar	Q_liq				m_ft	cp_ft	T_ent_ft	T_sar_ft	Liquido
	q_incid	q_refe	q_inf		(W)			(kg/s)	(l/kg K)	(K)	(K)	(K)	Tent-Tsar
tempo(s)	(W)	(W)	(W)		(W)			vazão					
3001	842 8387	50 57032	146,7133	645 55508	W	3001	8 31E-03	4182	298 1500	316 4787	-636 7320587	J/s	
3021	846 2972	50 77783	147 3312	648 18817	W	3021	8 31E-03	4182	298 1500	316 5556	-639 4236193	J/s	
3041	849 7556	50 98533	147 9416	650 82867		3041	8 31E-03	4182	298,1500	316 6324	642,0917059		
3061	853 2140	51 19284	148 5519	653 46926		3061	8 31E-03	4182	298 1500	316,7093	-644 7632665		
3081	856 6722	51 40033	149 1699	656 10197		3081	8 31E-03	4182	298 1500	316,7862	-647,4348272		
3101	860 1303	51 60782	149 7803	658 74218		3101	8 31E-03	4182	298 1500	316 8631	-650 1063878		
3121	863 5884	51 81530	150 3983	661 3748		3121	8 31E-03	4182	298 1500	316,9399	-652 7744743		
3141	867 0464	52 02279	151 0086	664 01501		3141	8 31E-03	4182	298,1500	317 0168	-655 446035		
3161	870 5043	52 23026	151 619	666 65504		3161	8 31E-03	4182	298,1500	317 0937	-658 1175956		
3181	873 9620	52 43772	152 2293	669 29498		3181	8,31E-03	4182	298 1500	317,1706	-660 7891562		
3201	877 4197	52 64518	152 8473	671 92722		3201	8 31E-03	4182	298 1500	317 2474	-663,4572428		
3221	880 8771	52 85263	153 4576	674 56687		3221	8 31E-03	4182	298 1500	317 3243	-666,1288034		
3241	884 3346	53 06007	154 068	677 20653		3241	8 31E-03	4182	298 1500	317 4012	-668 8003641		
3261	887 7917	53 26750	154 686	679 8382		3261	8 31E-03	4182	298,1500	317 478	-671 4684506		
3281	891 2488	53 47493	155 2963	682 47757		3281	8 31E-03	4182	298 1500	317 5549	-674 1400112		
3301	894 7057	53 68234	155 9067	685 11666		3301	8 31E-03	4182	298 1500	317 6317	-676 8080978		
3321	898 1627	53 88975	156 5247	687,74805		3321	8 31E-03	4182	298 1500	317 7086	-679 4796584		
3341	901 6191	54 09715	157 135	690 38695		3341	8,31E-03	4182	298 1500	317 7855	-682 1512191		
3361	905 0756	54 30453	157 7454	693 02567		3361	8 31E-03	4182	298 1500	317 8623	-684 8193056		
3381	908 5317	54 51190	158 3557	695 6641		3381	8 31E-03	4182	298 1500	317 9391	-687 4873922		
3401	911 9878	54 71926	158 9737	698 29484		3401	8 31E-03	4182	298,1500	318 016	-690 1589528		
3421	915 4436	54 92662	159 584	700 93298		3421	8,31E-03	4182	298,1500	318 0929	-692,8305134		
3441	918 8992	55 13395	160 1944	703 57085		3441	8,31E-03	4182	298 1500	318 1697	-695,4986		
3461	922 3546	55 34127	160 8047	706,20863		3461	8,31E-03	4182	298,1500	318 2465	-698 1666866		
3481	925 8097	55,54858	161 4227	708 83842		3481	8,31E-03	4182	298 1500	318,3234	-700,8382472		
3501	929 2646	55 75588	162 0331	711 47562		3501	8 31E-03	4182	298 1500	318 4002	-703 5063337		
3521	932 7194	55 96316	162 6434	714 11284		3521	8 31E-03	4182	298 1500	318 477	-706 1744203		
3541	936 1738	56 17043	163 2538	716 74957		3541	8 31E-03	4182	298 1500	318,5538	-708 8425069		
3561	939 6281	56 37768	163 8718	719 37862		3561	8 31E-03	4182	298 1500	318 6307	-711 5140675		

3581	943 0820	56 58492	164 4821	722 01 108	3581	8,31E-03	4182	298 1500	318,7075	-714 182154
3601	946 5356	56 79214	165 0925	724,65096	3601	8 31E-03	4182	298 1500	318 7843	-716 8502406
3621	949 9891	56 99934	165 7028	727 28696	3621	8,31E-03	4182	298 1500	318,8611	-719 5183272
3641	953 4421	57 20653	166 3132	729 92237	3641	8 31E-03	4182	298 1500	318 9379	-722 1864137
3661	956 895	57 4137	166 9312	732 5501	3661	8 31E-03	4182	298 1500	319 0147	-724 8545003
3681	960 3475	57 62085	167 5415	735 18515	3681	8,31E-03	4182	298,1500	319 0915	-727 5225868
3701	963 7997	57 82798	168 1519	737 81982	3701	8 31E-03	4182	298 1500	319 1682	-730,1871993
3721	967 2516	58 0351	168 7622	740,4543	3721	8,31E-03	4182	298 1500	319 245	-732 852859
3741	970 7032	58 2422	169 3726	743 0884	3741	8 31E-03	4182	298 1500	319 3218	-735 5233724
3761	974 1546	58 44928	169 9829	745 72242	3761	8 31E-03	4182	298 1500	319 3986	738 191459
3781	977 6055	58 65633	170 5933	748 35587	3781	8,31E-03	4182	298 1500	319 4753	-740 8560715
3801	981 0562	58 86337	171 2036	750 98923	3801	8 31E-03	4182	298 1500	319 5521	-743 5241581
3821	984 5063	59 07038	171 8216	753 61432	3821	8 31E-03	4182	298 1500	319 6288	-746 1887705
3841	987 9562	59 27737	172 4319	756 24693	3841	8 31E-03	4182	298 1500	319 7055	-748 853383
3861	991 4058	59 48434	173 0423	758 87916	3861	8,31E-03	4182	298 1500	319 7823	-751 5214696
3881	994 855	59 6913	173 6526	761 5111	3881	8 31E-03	4182	298,1500	319 859	-754 1860821
3901	998 3038	59 89822	174 263	764 14258	3901	8 31E-03	4182	298 1500	319 9357	-756 8506946
3921	1001 752	60 10513	174 8734	766 77347	3921	8 31E-03	4182	298 1500	320 0125	759 5187811
3941	1005 2	60 31201	175 4837	769 40429	3941	8 31E-03	4182	298 1500	320 0891	762 1799195
3961	1008 648	60 51886	176 0941	772 03504	3961	8 31E-03	4182	298,1500	320 1658	-764 844532
3981	1012 095	60 7257	176 7044	774 6649	3981	8 31E-03	4182	298 1500	320 2425	767 5091445
4001	1015 542	60 9325	177 3148	777 2947	4001	8 31E-03	4182	298 1500	320 3192	-770 173757
4021	1018 988	61 13929	177 9251	779 92361	4021	8 31E-03	4182	298,1500	320 3959	-772 8383695
4041	1022 434	61 34604	178 5355	782 55246	4041	8 31E-03	4182	298 1500	320 4725	775 495079
4061	1025 88	61 55278	179 1458	785 18142	4061	8 31E-03	4182	298 1500	320 5492	-778 1641204
4081	1029 325	61 75948	179 7562	787 80932	4081	8 31E-03	4182	298 1500	320 6258	-780 8252588
4101	1032 769	61 96616	180 3665	790 43634	4101	8 31E-03	4182	298,1500	320 7025	-783 4898713
4121	1036 214	62 17281	180 9769	793 06429	4121	8 31E-03	4182	298 1500	320 7791	-786 1510097
4141	1039 657	62 37943	181 5872	795 69037	4141	8 31E-03	4182	298 1500	320 8557	788 8121481
4161	1043 1	62 58602	182 1976	798 31638	4161	8,31E-03	4182	298 1500	320 9323	-791 4732865
4181	1046 543	62 79258	182 8079	800 94252	4181	8 31E-03	4182	298 1500	321 0089	-794 134425
4201	1049 985	62 99912	183 4183	803 56758	4201	8 31E-03	4182	298 1500	321 0855	-796,7955634
4221	1053 427	63 20563	184 021	806 20037	4221	8 31E-03	4182	298 1500	321 1621	-799 4567018
4241	1056 868	63 4121	184 6313	808 8246	4241	8 31E-03	4182	298 1500	321 2386	-802 1143661
4261	1060 309	63 61854	185 2417	811 44876	4261	8 31E-03	4182	298 1500	321 3152	-804 7755046
4281	1063 749	63 82496	185 8521	814,0 194	4281	8 31E-03	4182	298 1500	321 3918	-807 436643
4301	1067 189	64 03134	186 4624	816 69,26	4301	8 31E-03	4182	298 1500	321 4683	-810 0943073

4321	1070 628	64 23769	187.0728	819 31751	4321	8 31E-03	4182	298 1500	321,5448	-812 7519717
4341	1074,067	64,44402	187,6831	821 93988	4341	8 31E-03	4182	298 1500	321,6213	-815,409636
4361	1077 505	64 6503	188 2935	824 5612	4361	8 31E-03	4182	298,1500	321 6979	818,0707744
4381	1080 943	64 85656	188,9038	827,18264	4381	8 31E-03	4182	298,1500	321 7744	-820,7284388
4401	1084 38	65 06277	189 5142	829 80303	4401	8 31E-03	4182	298,1500	321 8509	-823 3861031
4421	1087 816	65 26896	190 1245	832 42254	4421	8 31E-03	4182	298 1500	321 9273	-826 0402934
4441	1091 252	65 47511	190,7349	835 04199	4441	8 31E-03	4182	298 1500	322 0038	828 6979577
4461	1094 687	65 68124	191 3452	837 66056	4461	8,31E-03	4182	298 1500	322,0803	-831 3556221
4481	1098 122	65 88731	191 9479	840 28679	4481	8 31E-03	4182	298,1500	322 1567	-834 0098124
4501	1101 556	66 09335	192 5583	842 90435	4501	8 31E-03	4182	298 1500	322 2331	-836 6640026
4521	1104 99	66 29937	193 1686	845 52203	4521	8 31E 03	4182	298 1500	322 3095	-839,3181929
4541	1108 422	66 50534	193 7714	848 14526	4541	8 31E-03	4182	298,1500	322 3859	-841 9723832
4561	1111 854	66 71127	194 3817	850 76103	4561	8 31E-03	4182	298 1500	322 4623	844 6265735
4581	1115 286	66,91718	194 9921	853 37672	4581	8 31E-03	4182	298 1500	322 5387	-847,2807637
4601	1118 717	67 12303	195 5948	855 99917	4601	8 31E-03	4182	298,1500	322 6151	-849 934954
4621	1122 148	67 32885	196 2051	858 61405	4621	8 31E-03	4182	298 1500	322 6914	-852 5856702
4641	1125 577	67 53464	196 8079	861 23446	4641	8 31E-03	4182	298 1500	322 7677	-855 2363864
4661	1129 006	67 74039	197 4182	863 84741	4661	8 31E-03	4182	298 1500	322 8441	-857 8905767
4681	1132 435	67 94609	198 0286	866 46031	4681	8 31E-03	4182	298 1500	322 9204	-860 5412929
4701	1135 863	68 15175	198 6313	869 07995	4701	8 31E-03	4182	298 1500	322 9967	-863 1920091
4721	1139 29	68 35738	199 2416	871 69102	4721	8 31E-03	4182	298 1500	323 0729	-865 8392512
4741	1142 716	68 56296	199,8444	874 30864	4741	8 31E-03	4182	298 1500	323 1492	-868 4899674
4761	1146 142	68 76849	200 4547	876 91881	4761	8 31E-03	4182	298 1500	323 2255	-871 1406836
4781	1149 567	68 974	201 0574	879 5356	4781	8 31E-03	4182	298 1500	323 3017	-873 7879258
4801	1152 991	69 17946	201 6678	882 14374	4801	8 31E-03	4182	298 1500	323 378	-876 438642
4821	1156 415	69 38487	202 2705	884 75 363	4821	8 31E-03	4182	298 1500	323 4542	-879 0858841
4841	1159 837	69 59024	202 8732	887,37356	4841	8 31E 03	4182	298 1500	323 5304	-881 7331262
4861	1163 26	69 79557	203 4836	889 98083	4861	8 31E-03	4182	298 1500	323 6065	-884 3768943
4881	1166 681	70 00085	204 0863	892 59385	4881	8,31E-03	4182	298 1500	323 6827	-887 0241364
4901	1170 102	70 20609	204 6967	895 19921	4901	8 31E-03	4182	298,1500	323 7589	-889 6713786
4921	1173 521	70 41129	205 2994	897 81031	4921	8,31E-03	4182	298 1500	323 835	-892,3151466
4941	1176 941	70 61644	205,9021	900 42246	4941	8 31E-03	4182	298 1500	323,9111	-894,9589147
4961	1180 359	70 82154	206 5125	903 02496	4961	8 31E-03	4182	298,1500	323 9872	-897 6026827
4981	1183 777	71 0266	207 1152	905 6352	4981	8 31E-03	4182	298 1500	324,0633	-900 2464508
5001	1187 193	71 23161	207 7179	908 24349	5001	8 31E-03	4182	298 1500	324 1394	-902 8902189
5021	1190 61	71 43658	208 3206	910 85282	5021	8 31E-03	4182	298,1500	324 2155	-905 5339869
5041	1194 025	71 64149	208 9233	913 46021	5041	8 31E-03	4182	298 1500	324 2915	-908 1742809

5061	1197 439	71 84636	209 5337	916 05894	5061	8 31E-03	4182	298 1500	324 3675	-910,8145749
5081	1200 853	72 05118	210 1364	918 66542	5081	8 31E-03	4182	298 1500	324 4435	-913 4548689
5101	1204 266	72 25595	210 7391	921,27095	5101	8 31E-03	4182	298,1500	324 5195	-916 0951629
5121	1207 678	72 46068	211 3419	923 87542	5121	8 31E-03	4182	298 1500	324 5955	-918 7354569
5141	1211 089	72 66534	211 9446	926 47906	5141	8 31E-03	4182	298 1500	324 6714	-921 3722768
5161	1214 5	72 86997	212 5473	929 08273	5161	8 31E-03	4182	298 1500	324 7474	-924 0125708
5181	1217 909	73 07454	213 1577	931 67676	5181	8 31E-03	4182	298 1500	324 8233	-926 6493907
5201	1221 318	73,27906	213 7604	934 27854	5201	8 31E-03	4182	298 1500	324 8992	-929 2862106
5221	1224 726	73 48354	214 3631	936 87936	5221	8 31E-03	4182	298 1500	324 9751	931 9230306
5241	1228 133	73 68795	214 9658	939 47925	5241	8 31E-03	4182	298 1500	325 0509	-934,5563764
5261	1231 539	73 89231	215 5685	942 07819	5261	8 31E-03	4182	298 1500	325 1268	-937 1931963
5281	1234 944	74 09663	216 1713	944,67607	5281	8,31E-03	4182	298 1500	325 2026	-939 8265422
5301	1238 348	74 3009	216 774	947,2731	5301	8,31E-03	4182	298 1500	325 2784	-942 459888
5321	1241 752	74 5051	217 3691	949 8778	5321	8,31E-03	4182	298 1500	325 3542	-945 0932339
5341	1245 154	74 70925	217 9718	952 47295	5341	8 31E-03	4182	298,1500	325 43	-947,7265797
5361	1248 556	74 91335	218 5745	955 06815	5361	8 31E-03	4182	298 1500	325 5058	-950 3599256
5381	1251 957	75,11739	219 1772	957 66241	5381	8 31E-03	4182	298 1500	325 5815	-952 9897973
5401	1255 356	75 32138	219 7876	960 24702	5401	8,31E-03	4182	298 1500	325 6572	-955,6196691
5421	1258 755	75 52531	220 3903	962 83939	5421	8,31E-03	4182	298 1500	325 7329	-958,2495409
5441	1262 153	75 72919	220 9854	965 43841	5441	8 31E-03	4182	298 1500	325 8086	-960 8794127
5461	1265 55	75 93301	221 5881	968 02889	5461	8 31E-03	4182	298 1500	325 8842	-963 5058104
5481	1268 946	76 13677	222 1909	970 61833	5481	8 31E-03	4182	298 1500	325 9598	-966 1322081
5501	1272 341	76 34048	222 7936	973 20692	5501	8 31E-03	4182	298,1500	326 0355	-968 7620799
5521	1275 735	76 54413	223 3963	975 79457	5521	8 31E-03	4182	298 1500	326 1111	-971 3884776
5541	1279 129	76 74772	223 999	978 38228	5541	8 31E-03	4182	298 1500	326 1866	-974 0114012
5561	1282 521	76 95124	224 6017	980 96806	5561	8 31E-03	4182	298 1500	326 2622	-976 6377989
5581	1285 912	77 15472	225 2045	983,55278	5581	8,31E-03	4182	298,1500	326 3377	-979 2607225
5601	1289 302	77 35813	225 8072	986 13667	5601	8 31E-03	4182	298 1500	326 4132	-981 8836462
5621	1292 691	77 56149	226 4023	988 72721	5621	8,31E-03	4182	298 1500	326 4888	-984,5100439
5641	1296 08	77 76477	227 005	991 31023	5641	8 31E-03	4182	298,1500	326 5642	-987 1294934
5661	1299 467	77 968	227 6077	993 8913	5661	8,31E-03	4182	298 1500	326 6397	-989 7524171
5681	1302 853	78,17117	228 2028	996 47903	5681	8,31E-03	4182	298 1500	326 7151	-992,3718666
5701	1306 238	78 37428	228 8055	999 05822	5701	8 31E-03	4182	298 1500	326,7905	-994 9913162
5721	1309 622	78 57733	229 4006	1001 64407	5721	8 31E-03	4182	298 1500	326 8659	-997 6107658
5741	1313 005	78 78031	230 0034	1004 22129	5741	8,31E 03	4182	298 1500	326 9413	-1000 230215
5761	1316 387	78 98323	230 5984	1006 80537	5761	8 31E-03	4182	298 1500	327 0166	-1002 846191
5781	1319 768	79 18609	231 1935	1009 38841	5781	8 31E-03	4182	298 1500	327 0919	-1005 462166

BALANÇO DA ENERGIA INTERNA DOS VOLUMES DE CONTROLE DO TANQUE DE MMF								
ARQUIVO BAL_TANQUE_EN_INT XLS (AQUECIMENTO DO MMF)								
ANEXO 2 AQUECIMENTO DO MMF - ENERGIA INTERNA								
MMF VC11					MMFVC12			
tempo(s)	m_mmf	CP MMF	T_mmf	Ummf	m_mmf	CP MMF	T_mmf	Ummf
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001	265 54	2100	298 914		265 54	2100	298 3687	
6001			301 1014	1219489 79 J			299 4468	601185 22 J
MMFVC13					MMF VC14			
tempo(s)	m_mmf	CP MMF	T_mmf	Ummf	m_mmf	CP MMF	T_mmf	Ummf
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001								
6001	265 54	2100	298 2024		265 54	2100	298 1606	
			298 6633	257013 51 J			298 3324	95801 52 J
MMF VC15								
tempo(s)	m_mmf	CP MMF	T_mmf	Ummf				
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)				
3001								
6001	265 54	2100	298 1866					
			298 2446	32342 77 J				
SOMA				2205832,81				
FT VC11					FT VC12			
tempo(s)	m_ft	CP ft	T_ft	U_ft	m_ft	CP ft	T_ft	U_ft
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001	59 3929	4182	306 8296		59 3929	4182	301 1687	
6001			315 8099	2230536 86 J			307 6515	1610205,05 J
FT VC13					FT VC14			
tempo(s)	m_ft	CP ft	T_ft	U_ft	m_ft	CP ft	T_ft	U_ft
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)
3001	59 3929	4182	299 4079		59 3929	4182	298 4079	
6001			302 7305	825271 07 J			300 1111	423042 70 J
FT VC15								
tempo(s)	m_ft	CP ft	T_ft	U_ft				
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)				
3001	59 3929	4182	298 2873					
6001			298 9171	156430 42 J				
SOMA FT				5245486 J				
PERDE ENERGIA								
SOMA GERAL				7451318 92				

BALANÇO DO COLF FOR INTEIRO									
Arquivo BAL_COL_INTEIRO.XLS									
AQUECIMENTO DO TANQUE DE MMF									
	m_ft	cp_ft	T_ent_ft	T_sai_ft	Liquido				
tempo(s)	(kg/s)	(J/kg K)	(K)	(K)	Tent-Tsai				
vazão									
3001	2.49E-02	4182	316.4787	298.2873	1895.946478	l/s			
3021	2.49E-02	4182	316.5556	298.288	1903.888204	l/s			
3041	2.49E-02	4182	316.6324	298.2888	1911.809086				
3061	2.49E-02	4182	316.7093	298.2896	1919.74039				
3081	2.49E-02	4182	316.7862	298.2904	1927.671694				
3101	2.49E-02	4182	316.8631	298.2913	1935.592576				
3121	2.49E-02	4182	316.9399	298.2922	1943.503036				
3141	2.49E-02	4182	317.0168	298.2932	1951.413496				
3161	2.49E-02	4182	317.0937	298.2942	1959.323955				
3181	2.49E-02	4182	317.1706	298.2952	1967.234415				
3201	2.49E-02	4182	317.2474	298.2963	1975.124031				
3221	2.49E-02	4182	317.3243	298.2974	1983.024068				
3241	2.49E-02	4182	317.4012	298.2986	1990.913683				
3261	2.49E-02	4182	317.4780	298.2997	1998.803299				
3281	2.49E-02	4182	317.5549	298.301	2006.682492				
3301	2.49E-02	4182	317.6317	298.3023	2014.551263				
3321	2.49E-02	4182	317.7086	298.3036	2022.430456				
3341	2.49E-02	4182	317.7855	298.305	2030.299227				
3361	2.49E-02	4182	317.8623	298.3064	2038.157576				
3381	2.49E-02	4182	317.9391	298.3079	2046.005502				
3401	2.49E-02	4182	318.0160	298.3094	2053.863851				
3421	2.49E-02	4182	318.0929	298.3109	2061.722199				
3441	2.49E-02	4182	318.1697	298.3125	2069.559704				
3461	2.49E-02	4182	318.2465	298.3141	2077.397208				
3481	2.49E-02	4182	318.3234	298.3158	2085.234712				
3501	2.49E-02	4182	318.4002	298.3175	2093.061794				
3521	2.49E-02	4182	318.4770	298.3193	2100.878454				
3541	2.49E-02	4182	318.5538	298.3211	2108.695114				
3561	2.49E-02	4182	318.6307	298.3229	2116.522196				

3581	2 49E-02	4182	318 7075	298 3248	2124 328434	
3601	2 49E-02	4182	318 7843	298 3268	2132 124249	
3621	2 49E-02	4182	318 8611	298 3287	2139 930487	
3641	2 49E-02	4182	318 9379	298 3307	2147 726302	
3661	2 49E-02	4182	319 0147	298 3328	2155 511695	
3681	2 49E-02	4182	319 0915	298 3349	2163 297088	
3701	2 49E-02	4182	319 1682	298 3371	2171 061637	
3721	2 49E-02	4182	319 2450	298,3393	2178 836608	
3741	2 49E-02	4182	319 3218	298 3416	2186,601157	
3761	2 49E-02	4182	319 3986	298 3438	2194 376128	
3781	2 49E-02	4182	319 4753	298,3462	2202 119832	
3801	2 49E-02	4182	319 5521	298 3486	2209 873959	
3821	2 49E-02	4182	319 6288	298 351	2217 617663	
3841	2 49E-02	4182	319 7055	298 3535	2225 350945	
3861	2 49E-02	4182	319 7823	298 356	2233 09465	
3881	2 49E-02	4182	319 8590	298 3586	2240 81751	
3901	2 49E-02	4182	319 9357	298 3612	2248 54037	
3921	2 49E-02	4182	320 0125	298 3639	2256 263229	
3941	2 49E-02	4182	320 0891	298 3666	2263 965245	
3961	2 49E-02	4182	320 1658	298 3694	2271 66726	
3981	2 49E-02	4182	320 2425	298 3722	2279 369276	
4001	2 49E-02	4182	320 3192	298 3751	2287 060869	
4021	2 49E-02	4182	320 3959	298 378	2294 752463	
4041	2 49E-02	4182	320 4725	298 3809	2302 433634	
4061	2 49E-02	4182	320 5492	298 3839	2310 114805	
4081	2 49E-02	4182	320 6258	298 387	2317 775131	
4101	2 49E-02	4182	320 7025	298 3901	2325 44588	
4121	2 49E-02	4182	320 7791	298 3932	2333 106207	
4141	2 49E-02	4182	320 8557	298 3964	2340 756111	
4161	2 49E-02	4182	320 9323	298 3997	2348 395593	
4181	2 49E-02	4182	321 0089	298,403	2356 035076	
4201	2 49E-02	4182	321 0855	298 4063	2363 674558	
4221	2 49E-02	4182	321 1621	298 4097	2371 303618	
4241	2 49E-02	4182	321 2386	298 4131	2378 922256	
4261	2,49E-02	4182	321,3152	298 4166	2386 540893	
4281	2 49E-02	4182	321 3918	298 4202	2394 149109	
4301	2 49E-02	4182	321 4683	298 4238	2401 746902	

4321	2 49E-02	4182	321 5448	298 4274	2409 344696	
4341	2 49E-02	4182	321 6213	298 4311	2416 932067	
4361	2 49E-02	4182	321 6979	298 4348	2424 52986	
4381	2 49E-02	4182	321 7744	298 4386	2432 106809	
4401	2 49E-02	4182	321 8509	298 4424	2439 683758	
4421	2 49E-02	4182	321 9273	298 4463	2447 239863	
4441	2 49E-02	4182	322 0038	298 4503	2454 795967	
4461	2 49E-02	4182	322 0803	298 4543	2462 352072	
4481	2 49E-02	4182	322,1567	298 4583	2469,897754	
4501	2 49E-02	4182	322 2331	298 4624	2477 433014	
4521	2 49E-02	4182	322 3095	298 4665	2484,968274	
4541	2 49E-02	4182	322 3859	298 4707	2492 493112	
4561	2 49E-02	4182	322 4623	298 4749	2500 01795	
4581	2 49E-02	4182	322 5387	298 4792	2507 532366	
4601	2 49E-02	4182	322 6151	298 4836	2515 036359	
4621	2 49E-02	4182	322 6914	298 488	2522 52993	
4641	2 49E-02	4182	322 7677	298 4924	2530 023502	
4661	2,49E-02	4182	322 8441	298 4969	2537 517073	
4681	2 49E-02	4182	322 9204	298 5015	2544 9898	
4701	2 49E-02	4182	322 9967	298 5061	2552 462526	
4721	2 49E-02	4182	323 0729	298 5107	2559 924831	
4741	2 49E-02	4182	323 1492	298 5154	2567 387136	
4761	2 49E-02	4182	323 2255	298 5202	2574 839018	
4781	2 49E-02	4182	323 3017	298 525	2582 280478	
4801	2 49E-02	4182	323 3780	298 5298	2589 73236	
4821	2 49E-02	4182	323 4542	298 5347	2597 163398	
4841	2 49E-02	4182	323 5304	298 5397	2604 584014	
4861	2 49E-02	4182	323 6065	298 5447	2611 994208	
4881	2 49E-02	4182	323 6827	298 5497	2619 414823	
4901	2 49E-02	4182	323 7589	298 5549	2626 814595	
4921	2 49E-02	4182	323 8350	298 56	2634 214366	
4941	2 49E-02	4182	323 9111	298 5652	2641 603715	
4961	2 49E-02	4182	323 9872	298 5705	2648 982642	
4981	2 49E-02	4182	324 0633	298 5758	2656 361569	
5001	2 49E-02	4182	324 1394	298 5812	2663 730074	
5021	2 49E-02	4182	324 2155	298 5866	2671 098578	
5041	2 49E-02	4182	324 2915	298 5921	2678 446239	

5061	2 49E-02	4182	324 3675	298 5976	2685 793899	
5081	2 49E-02	4182	324 4435	298 6032	2693 131137	
5101	2 49E-02	4182	324,5195	298 6089	2700 457953	
5121	2 49E-02	4182	324 5955	298 6145	2707 795191	
5141	2 49E-02	4182	324 6714	298 6203	2715 101162	
5161	2 49E-02	4182	324 7474	298 6261	2722 417556	
5181	2 49E-02	4182	324 8233	298,6319	2729 723527	
5201	2 49E-02	4182	324 8992	298 6378	2737 019076	
5221	2 49E-02	4182	324 9751	298 6438	2744 304203	
5241	2 49E-02	4182	325 0509	298,6498	2751 578908	
5261	2 49E-02	4182	325 1268	298 6558	2758 864035	
5281	2 49E-02	4182	325 2026	298 6619	2766 128318	
5301	2 49E-02	4182	325 2784	298 6681	2773 382178	
5321	2 49E-02	4182	325 3542	298 6743	2780 636038	
5341	2 49E-02	4182	325 4300	298 6806	2787 879476	
5361	2 49E-02	4182	325 5058	298 6869	2795 122914	
5381	2 49E-02	4182	325 5815	298 6933	2802 345508	
5401	2 49E-02	4182	325 6572	298 6997	2809 568102	
5421	2 49E-02	4182	325 7329	298 7062	2816 780273	
5441	2 49E-02	4182	325 8086	298 7127	2823 992445	
5461	2 49E-02	4182	325 8842	298 7193	2831 183772	
5481	2 49E-02	4182	325 9598	298 7259	2838 375099	
5501	2 49E-02	4182	326 0355	298 7326	2845 566426	
5521	2 49E-02	4182	326 1111	298 7393	2852 747331	
5541	2 49E-02	4182	326 1866	298 7462	2859 896969	
5561	2 49E-02	4182	326 2622	298 753	2867 067452	
5581	2 49E-02	4182	326 3377	298 7599	2874 21709	
5601	2 49E-02	4182	326 4132	298 7668	2881 366728	
5621	2 49E-02	4182	326 4888	298 7739	2888 505944	
5641	2 49E-02	4182	326 5642	298 7809	2895 634738	
5661	2 49E-02	4182	326 6397	298 788	2902 763532	
5681	2 49E-02	4182	326 7151	298 7952	2909 871481	
5701	2 49E-02	4182	326 7905	298 8024	2916 97943	
5721	2 49E-02	4182	326 8659	298 8097	2924 076957	
5741	2 49E-02	4182	326 9413	298 817	2931 174485	
5761	2 49E-02	4182	327 0166	298 8244	2938 251167	
5781	2 49E-02	4182	327 0919	298 8318	2945 32785	

BALANÇO DA ENERGIA INTERNA DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF RESFRIANDO									
ARQUIVO BAL MMF RESFR EN INT XLS									
QUADRO COMPARATIVO DO BALANÇO DE ENERGIA DO RESFRIAMENTO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE MMF									
MMF VC11					MMF VC12				
tempo(s)	m mmf	Cp mmf	T mmf	U mmf	m mmf	Cp mmf	T mmf	U mmf	
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	
5001	265 54	1420	339 0250		265 54	1420	333 0638		
8001			331 0274	-3015629,4	J		327 0888	-2252974,1	J
MMF VC13					MMF VC14				
tempo(s)	m mmf	Cp mmf	T mmf	U mmf	m mmf	Cp mmf	T mmf	U mmf	
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	
5001	265 54	1420	327,8828		265,54	1420	322 5332		
8001			323,5617	-1629343,35	J		319,7222	#####	J
MMF VC15									
tempo(s)	m mmf	Cp mmf	T mmf	U mmf					
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)					
5001	265,54	1420	317,6027						
8001			316,0581	-582417,38	J				
Soma U MMF				-8540299,07					
FT VC11					FT VC12				
tempo(s)	m ft	Cp ft	T ft	U ft	m ft	Cp ft	T ft	U ft	
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	
5001	59,3929	4182	298,0064		59,3929	4182	298,0528		
8001			297,9409	-16269,0	J		298,0039	-12145,84	J
FT VC13					FT VC14				
tempo(s)	m ft	Cp ft	T ft	U ft	m ft	Cp ft	T ft	U ft	
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)	
5001	59,3929	4182	298,0886		59,3929	4182	298,1304		
8001			298,0533	-8767,85	J		298,1075	-5687,93	J
FT VC15									
tempo(s)	m ft	Cp ft	T ft	U ft					
	(kg)	(J/kg K)	(K)	(J)					
5001	59,3929	4182	298,2287						
8001			298,2150	-3402,82	J				
Soma U FT				-46273,4					
Soma Geral (U mmf + U ft)				-8586572,47					

BALANÇO DO MMF INTEIRO (VC GERAL) RESFRIANDO COM A ENTRADA DA AGUA						
A SER AQUECIDA						
ARQUIVO BAL_MMF_RESFR_INTEIRO XLS						
QUADRO COMPARATIVO DO BALANÇO DE ENERGIA DO RESFRIAMENTO DO TANQUE						
DE ARMAZENAEMTO DE MMF						
	m_aq	Cp_ft	T_maq_ft	T_maq_ft	Pot Liq	
	(kg/s)	(J/kg K)	(K)	(K)	T _{ent} -T _{sat}	
tempo(s)	vazão			tp(20)	(J/s)	
5001	5 500000E-02	4182	298 1500	311 60260	3094 232526	
5021	5 500000E-02	4182	298 1500	311 58870	3091 035387	
5041	5 500000E-02	4182	298 1500	311 57480	3087 838248	
5061	5 500000E-02	4182	298 1500	311 56090	3084 641109	
5081	5 500000E-02	4182	298 1500	311 54700	3081 443970	
5101	5 500000E-02	4182	298 1500	311 53320	3078 269832	
5121	5 500000E-02	4182	298 1500	311 51930	3075 072693	
5141	5 500000E-02	4182	298 1500	311 50540	3071 875554	
5161	5 500000E-02	4182	298 1500	311 49160	3068 701416	
5181	5 500000E-02	4182	298 1500	311 47780	3065 527278	
5201	5 500000E-02	4182	298 1500	311 46400	3062 353140	
5221	5 500000E-02	4182	298 1500	311 45020	3059 179002	
5241	5 500000E-02	4182	298 1500	311 43650	-3056 027865	
5261	5 500000E-02	4182	298 1500	311 42270	3052 853727	
5281	5 500000E-02	4182	298 1500	311 40900	3049 702590	
5301	5 500000E-02	4182	298 1500	311 39520	-3046 528452	
5321	5 500000E-02	4182	298 1500	311 38150	-3043 377315	
5341	5 500000E-02	4182	298 1500	311 36780	-3040 226178	
5361	5 500000E-02	4182	298 1500	311 35410	3037 075041	
5381	5 500000E-02	4182	298 1500	311 34050	3033 946905	
5401	5 500000E-02	4182	298 1500	311 32680	3030 795768	
5421	5 500000E-02	4182	298 1500	311 31310	3027 644631	
5441	5 500000E-02	4182	298 1500	311 29950	3024 516495	
5461	5 500000E-02	4182	298 1500	311 28590	3021 388359	
5481	5 500000E-02	4182	298 1500	311 27220	3018 237222	
5501	5 500000E-02	4182	298 1500	311 25860	3015 109086	
5521	5 500000E-02	4182	298 1500	311 24500	3011 980950	
5541	5 500000E-02	4182	298 1500	311 23150	-3008 875815	
5561	5 500000E-02	4182	298 1500	311 21790	3005 747679	
5581	5 500000E-02	4182	298 1500	311 20430	-3002 619543	
5601	5 500000E-02	4182	298 1500	311 19080	-2999 514408	
5621	5 500000E-02	4182	298 1500	311 17720	-2996 386272	
5641	5 500000E-02	4182	298 1500	311 16380	2993 304138	
5661	5 500000E-02	4182	298 1500	311 15030	2990 199003	
5681	5 500000E-02	4182	298 1500	311 13680	-2987 093868	
5701	5 500000E-02	4182	298 1500	311 12330	2983 988733	
5721	5 500000E-02	4182	298 1500	311 10980	2980 883598	
5741	5 500000E-02	4182	298 1500	311 09640	2977 801464	
5761	5 500000E-02	4182	298 1500	311 08300	2974 719330	
5781	5 500000E-02	4182	298 1500	311 06950	2971 614195	
5801	5 500000E-02	4182	298 1500	311 05610	-2968 532061	

5821	500000E-02	4182	298 1500	311 04280	2965 472928		
5841	500000E-02	4182	298 1500	311 02940	2962 390794		
5861	500000E-02	4182	298 1500	311 01600	2959 308660		
5881	500000E-02	4182	298 1500	311 00260	2956 226526		
5901	500000E-02	4182	298 1500	310 98930	2953 167393		
5921	500000E-02	4182	298 1500	310 97600	2950 108260		
5941	500000E-02	4182	298 1500	310 96260	2947 026126		
5961	500000E-02	4182	298 1500	310 94930	2943 966993		
5981	500000E-02	4182	298 1500	310 93600	-2940 907860		
6001	500000E-02	4182	298 1500	310 92270	2937 848727		
6021	500000E-02	4182	298 1500	310 90950	2934 812595		
6041	500000E-02	4182	298 1500	310 89620	2931 753462		
6061	500000E-02	4182	298 1500	310 88300	2928 717330		
6081	500000E-02	4182	298 1500	310 86970	2925 658197		
6101	500000E-02	4182	298 1500	310 85650	-2922 622065		
6121	500000E-02	4182	298 1500	310 84340	-2919 608934		
6141	500000E-02	4182	298 1500	310 83010	2916 549801		
6161	500000E-02	4182	298 1500	310 81690	2913 513669		
6181	500000E-02	4182	298 1500	310 80380	2910 500538		
6201	500000E-02	4182	298 1500	310 79060	2907 464406		
6221	500000E-02	4182	298 1500	310 77750	2904 451275		
6241	500000E-02	4182	298 1500	310 76430	-2901 415143		
6261	500000E-02	4182	298 1500	310 75120	-2898 402012		
6281	500000E-02	4182	298 1500	310 73810	2895 388881		
6301	500000E-02	4182	298 1500	310 72500	-2892 375750		
6321	500000E-02	4182	298 1500	310 71190	-2889 362619		
6341	500000E-02	4182	298 1500	310,69890	-2886 372489		
6361	500000E-02	4182	298 1500	310 68580	2883 359358		
6381	500000E-02	4182	298 1500	310 67280	-2880 369228		
6401	500000E-02	4182	298 1500	310 65970	-2877 356097		
6421	500000E-02	4182	298 1500	310 64670	-2874 365967		
6441	500000E-02	4182	298 1500	310 63370	2871 375837		
6461	500000E-02	4182	298,1500	310 62070	-2868 385707		
6481	5,500000E-02	4182	298 1500	310 60780	-2865 418578		
6501	5 500000E-02	4182	298 1500	310 59480	-2862,428448		
6521	5 500000E-02	4182	298 1500	310 58180	-2859 438318		
6541	5 500000E-02	4182	298 1500	310 56890	2856 471189		
6561	5 500000E-02	4182	298 1500	310 55600	2853 504060		
6581	5 500000E-02	4182	298 1500	310 54300	-2850 513930		
6601	5 500000E-02	4182	298 1500	310 53010	-2847 546801		
6621	5 500000E-02	4182	298 1500	310 51720	-2844 579672		
6641	5 500000E-02	4182	298 1500	310 50430	-2841 612543		
6661	5 500000E-02	4182	298 1500	310 49150	-2838,668415		
6681	5 500000E-02	4182	298 1500	310 47860	-2835 701286		
6701	5 500000E-02	4182	298 1500	310 46580	-2832,757158		
6721	5 500000E-02	4182	298 1500	310 45300	-2829 813030		
6741	5,500000E-02	4182	298 1500	310 44010	-2826 845901		
6761	5 500000E-02	4182	298 1500	310 42730	-2823 901773		
6781	5 500000E-02	4182	298 1500	310 41450	2820 957645		
6801	5 500000E-02	4182	298 1500	310 40170	2818 013517		
6821	5 500000E-02	4182	298 1500	310 38900	2815 092390		
6841	5 500000E-02	4182	298 1500	310 37620	2812 148262		

6861	500000E-02	4182	298 1500	310 36350	2809 227135		
6881	500000E 02	4182	298 1500	310 35070	2806 283007		
6901	500000E-02	4182	298 1500	310 33800	2803 361880		
6921	500000E-02	4182	298 1500	310 32530	2800 440753		
6941	500000E-02	4182	298 1500	310 31260	2797 519626		
6961	500000E-02	4182	298 1500	310 29990	2794 598499		
6981	500000E-02	4182	298 1500	310 28730	2791 700373		
7001	500000E-02	4182	298 1500	310 27460	2788 779246		
7021	500000E-02	4182	298 1500	310 26200	2785 881120		
7041	500000E 02	4182	298 1500	310 24930	-2782 959993		
7061	500000E-02	4182	298 1500	310 23670	-2780 061867		
7081	500000E-02	4182	298 1500	310 22410	-2777 163741		
7101	500000E-02	4182	298 1500	310 21150	2774 265615		
7121	500000E-02	4182	298 1500	310 19890	2771 367489		
7141	500000E-02	4182	298 1500	310 18630	2768 469363		
7161	500000E 02	4182	298 1500	310 17370	-2765 571237		
7181	500000E-02	4182	298 1500	310 16120	2762 696112		
7201	500000E-02	4182	298 1500	310 14870	2759 820987		
7221	500000E-02	4182	298 1500	310 13610	2756 922861		
7241	500000E-02	4182	298 1500	310 12360	2754 047736		
7261	500000E-02	4182	298 1500	310 11110	2751 172611		
7281	500000E-02	4182	298 1500	310 09860	2748 297486		
7301	500000E-02	4182	298 1500	310 08620	2745 445362		
7321	500000E-02	4182	298 1500	310 07370	2742 570237		
7341	500000E-02	4182	298 1500	310 06120	2739 695112		
7361	500000E-02	4182	298 1500	310 04880	2736 842988		
7381	500000E-02	4182	298 1500	310 03630	2733 967863		
7401	500000E-02	4182	298 1500	310 02400	-2731 138740		
7421	500000E-02	4182	298 1500	310 01150	2728 263615		
7441	500000E-02	4182	298 1500	309 99910	-2725 411491		
7461	500000E-02	4182	298 1500	309 98670	2722 559367		
7481	500000E-02	4182	298 1500	309 97440	-2719 730244		
7501	5,500000E-02	4182	298 1500	309 96200	2716 878120		
7521	500000E-02	4182	298 1500	309 94970	-2714 048997		
7541	500000E-02	4182	298 1500	309 93730	-2711 196873		
7561	500000E-02	4182	298 1500	309 92500	2708 367750		
7581	500000E-02	4182	298 1500	309 91270	2705 538627		
7601	500000E-02	4182	298 1500	309 90040	2702 709504		
7621	500000E-02	4182	298 1500	309 88810	2699 880381		
7641	500000E-02	4182	298 1500	309 87580	2697 051258		
7661	500000E-02	4182	298 1500	309 86360	2694 245136		
7681	500000E-02	4182	298 1500	309 85130	-2691 416013		
7701	500000E-02	4182	298 1500	309 83910	-2688 609891		
7721	500000E-02	4182	298 1500	309 82680	2685 780768		
7741	500000E-02	4182	298 1500	309 81460	2682 974646		
7761	500000E-02	4182	298 1500	309 80240	-2680 168524		
7781	500000E-02	4182	298 1500	309 79020	2677 362402		
7801	500000E-02	4182	298 1500	309 77800	-2674 556280		
7821	500000E-02	4182	298 1500	309 76590	-2671 773159		
7841	500000E-02	4182	298 1500	309 75370	2668 967037		
7861	500000E-02	4182	298 1500	309 74150	2666 160915		
7881	500000E-02	4182	298 1500	309 72940	2663 377794		

7901		5 500000E-02	4182	298 1500	309 71730	2660 594673		
7921		5 500000E-02	4182	298 1500	309 70520	2657 811552		
7941		5 500000E-02	4182	298 1500	309 69310	2655 028431		
7961		5 500000E-02	4182	298 1500	309 68100	2652 245310		
7981		5 500000E-02	4182	298 1500	309 66890	2649 462189		
8001		5 500000E-02	4182	298 1500	309 65690	2646 702069		
			Soma Potencia Liquida			432636 0214		
			Soma Energia Liquida			8652720 429	J	
da simulação de aquecimento e entrada de água a 298 15K								

UFPR/PIPE/MESTRADO/ALEXANDRE FERREIRA LOBO							
Planilha para demonstrar a verificação da Simulação 6 - ANEXO 4 (VERIFICAÇÃO)							
Arquivo C:\alex\diversos\Q_comp_VERIFIC.xls							
		tendi	Q_comp	Q_comp	Delta t	Energ	
		(s)	(W)	(kW)	200 s ou	Gasta	
					0,0555556	Intervalo	
					horas	(kWh)	
tendi variavel do tempo em s							
Q_comp valor em Watt da po-		201	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
tencia auxiliar		401	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
Delta t 200 s transt Para horas		601	0 0000	0 0000	0,0555556	0	
Energia = Pot X Tempo (kWh)		801	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		1001	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		1201	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		1401	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		1601	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		1801	0 0000	0 0000	0,0555556	0	
		2001	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		2201	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		2401	0 0000	0 0000	0,0555556	0	
		2601	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		2801	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		3001	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		3201	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		3401	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		3601	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		3801	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		4001	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		4201	0 0000	0 0000	0 0555556	0	
		4401	0,0000	0,0000	0,0555556	0	
		4601	0 0000	0 0000	0,0555556	0	
		4801	0 0000	0,0000	0,0555556	0	
		5001	0 0000	0,0000	0,0555556	0	
		5201	55,8459	0 0558	0 0555556	0,0031026	
		5401	213 6479	0 2136	0 0555556	0 0118693	
		5601	280 9143	0 2809	0,0555556	0 0156064	
		5801	347 0225	0 3470	0 0555556	0 019279	
		6001	411 9866	0 4120	0 0555556	0 0228881	
		6201	475 8276	0 4758	0 0555556	0 0264349	
		6401	538 5735	0 5386	0 0555556	0,0299208	
		6601	600 2385	0 6002	0,0555556	0,0333466	
		6801	660 8155	0 6608	0 0555556	0 036712	
		7001	720 3466	0 7203	0 0555556	0 0400193	
		7201	778 8528	0 7789	0 0555556	0 0432696	
		7401	836 3273	0 8363	0 0555556	0 0464626	
		7601	892 7979	0 8928	0 0555556	0 0495999	
		7801	948 2928	0 9483	0 0555556	0 0526829	
		8001	1002 8050	1 0028	0 0555556	0 0557114	
		8201	1056 3770	1 0564	0 0555556	0,0586876	
		8401	1109 0010	1 1090	0 0555556	0 0616112	
		8601	1160 6980	1 1607	0 0555556	0 0644832	

			8801	1211 4900	1 2115	0 0555556	0 067305		
			9001	1261 3840	1 2614	0 0555556	0 0700769		
			9201	1310 4070	1 3104	0 0555556	0,0728004		
			9401	1358 5600	1 3586	0 0555556	0 0754756		
			9601	1405 8560	1 4059	0 0555556	0 0781031		
			9801	1452 3240	1 4523	0 0555556	0 0806847		
			10001	1497 9640	1 4980	0 0555556	0,0832202		
			10201	1542 7970	1 5428	0 0555556	0 0857109		
			10401	1586 8290	1 5868	0 0555556	0 0881572		
			10601	1630 0750	1 6301	0 0555556	0 0905597		
			10801	1672 5490	1 6725	0 0555556	0 0929194		
			11001	1714 2790	1 7143	0 0555556	0 0952377		
			11201	1755 2580	1 7553	0 0555556	0 0975143		
			11401	1795 5000	1 7955	0 0555556	0 09975		
			11601	1835,0260	1 8350	0 0555556	0 1019459		
			11801	1873,8430	1 8738	0,0555556	0 1041024		
			12001	1911 9650	1 9120	0 0555556	0 1062203		
			12201	1949 3990	1 9494	0 0555556	0 1082999		
			12401	1986,1600	1 9862	0 0555556	0,1103422		
			12601	2022,2600	2 0223	0 0555556	0 1123478		
			12801	2057 7150	2 0577	0 0555556	0 1143175		
			13001	2092 5310	2 0925	0 0555556	0 1162517		
			13201	2126 7080	2 1267	0 0555556	0 1181504		
			13401	2160 2680	2 1603	0 0555556	0 1200149		
			13601	2193 2230	2 1932	0 0555556	0 1218457		
			13801	2225 5830	2 2256	0 0555556	0 1236435		
			14001	2257 3660	2,2574	0 0555556	0 1254092		
			14201	2288 5670	2 2886	0 0555556	0 1271426		
			14401	2319 1860	2 3192	0,0555556	0,1288437		
			14601	2349 2630	2,3493	0 0555556	0 1305146		
			14801	2378 7870	2 3788	0 0555556	0,1321548		
			15001	2407 7700	2 4078	0 0555556	0 133765		
			15201	2436,2330	2 4362	0,0555556	0,1353463		
			15401	2464,1700	2 4642	0,0555556	0,1368983		
			15601	2491,6020	2,4916	0 0555556	0 1384223		
			15801	2518 5280	2 5185	0,0555556	0,1399182		
			16001	2544 9560	2,5450	0 0555556	0 1413864		
			16201	2570 9060	2,5709	0 0555556	0,1428281		
			16401	2596 3800	2 5964	0 0555556	0 1442433		
			16601	2621 3830	2 6214	0 0555556	0 1456324		
			16801	2645,9150	2,6459	0 0555556	0 1469953		
			17001	2670 0130	2 6700	0,0555556	0 1483341		
			17201	2693 6610	2 6937	0,0555556	0 1496478		
			17401	2716 8880	2 7169	0 0555556	0 1509382		
			17601	2739 6730	2,7397	0,0555556	0 1522041		
			17801	2762,0290	2 7620	0,0555556	0,1534461		
			18001	2783 9860	2 7840	0 0555556	0,1546659		
			18201	2805,5210	2,8055	0,0555556	0 1558623		
			18401	2826 6700	2 8267	0 0555556	0 1570372		
			18601	2847,4200	2 8474	0 0555556	0 15819		
			18801	2867 7900	2 8678	0 0555556	0 1593217		
			19001	2887 7880	2 8878	0 0555556	0 1604327		

			19201	2907 4070	2 9074	0 0555556	0,1615226		
			19401	2926 6540	2 9267	0 0555556	0 1625919		
			19601	2945 5500	2 9456	0 0555556	0 1636417		
			19801	2964 0950	2 9641	0 0555556	0 1646719		
			20001	2982 2960	2 9823	0 0555556	0 1656831		
			20201	3000 1460	3 0001	0 0555556	0 1666748		
			20401	3017 6810	3 0177	0 0555556	0 1676489		
			20601	3034 8850	3 0349	0,0555556	0 1686047		
			20801	3051 7600	3 0518	0 0555556	0 1695422		
			21001	3068 3190	3 0683	0 0555556	0 1704622		
			21201	3084 5680	3 0846	0 0555556	0 1713649		
			21401	3100 5160	3 1005	0 0555556	0 1722509		
			21601	3116 1620	3 1162	0 0555556	0 1731201		
			21801	3131 5140	3 1315	0 0555556	0 173973		
			22001	3146 5770	3 1466	0 0555556	0 1748098		
			22201	3161 3600	3 1614	0 0555556	0,1756311		
			22401	3175 8690	3,1759	0 0555556	0 1764372		
			22601	3190 0900	3 1901	0,0555556	0 1772272		
			22801	3204 0590	3 2041	0,0555556	0,1780033		
			23001	3217 7600	3 2178	0 0555556	0 1787644		
			23201	3231 1960	3 2312	0 0555556	0 1795109		
			23401	3244 3850	3 2444	0 0555556	0 1802436		
			23601	3257 3220	3 2573	0 0555556	0 1809623		
			23801	3270 0120	3 2700	0 0555556	0,1816673		
			24001	3282 4650	3 2825	0 0555556	0 1823592		
			24201	3294 6860	3 2947	0 0555556	0 1830381		
			24401	3306,6600	3 3067	0,0555556	0,1837033		
			24601	3318,4250	3 3184	0 0555556	0 1843569		
			24801	3329 9510	3 3300	0 0555556	0 1849973		
			25001	3341 2800	3 3413	0,0555556	0 1856267		
			25201	3352,3700	3 3524	0,0555556	0,1862428		
			25401	3363 2580	3 3633	0 0555556	0 1868477		
			25601	3373 9480	3 3739	0 0555556	0 1874416		
			25801	3384 4210	3 3844	0 0555556	0,1880234		
			26001	3394 7040	3,3947	0,0555556	0 1885947		
			26201	3404,7840	3 4048	0 0555556	0,1891547		
			26401	3414 6670	3 4147	0 0555556	0 1897037		
			26601	3424 3750	3 4244	0 0555556	0 1902431		
			26801	3433 8860	3 4339	0 0555556	0 1907714		
			27001	3443 2360	3 4432	0 0555556	0 1912909		
			27201	3452,3890	3 4524	0,0555556	0,1917994		
			27401	3461,3600	3 4614	0 0555556	0,1922978		
			27601	3470 1760	3 4702	0,0555556	0 1927876		
			27801	3478 8100	3 4788	0,0555556	0 1932672		
			28001	3487 2890	3 4873	0 0555556	0 1937383		
			28201	3495 6070	3 4956	0,0555556	0 1942004		
			28401	3503 7570	3,5038	0,0555556	0,1946532		
			28601	3511,7450	3 5117	0 0555556	0 1950969		
			28801	3519 5850	3 5196	0,0555556	0 1955325		
			29001	3527 2710	3 5273	0,0555556	0 1959595		
			29201	3534 8240	3 5348	0 0555556	0,1963791		
			29401	3542 2230	3 5422	0,0555556	0 1967902		

			29601	3549 4810	3 5495	0 0555556	0 1971934		
			29801	3556 5980	3 5566	0 0555556	0 1975888		
			30001	3563 5690	3 5636	0 0555556	0,1979761		
			30201	3570 4120	3 5704	0 0555556	0 1983562		
			30401	3577 1230	3 5771	0 0555556	0 1987291		
			30601	3583 7070	3 5837	0 0555556	0 1990948		
			30801	3590 1580	3 5902	0 0555556	0 1994532		
			31001	3596 4890	3 5965	0 0555556	0 1998049		
			31201	3602 6940	3 6027	0 0555556	0 2001497		
			31401	3608 7800	3 6088	0 0555556	0 2004878		
			31601	3614 7470	3 6147	0 0555556	0 2008193		
			31801	3620 6010	3 6206	0 0555556	0 2011445		
			32001	3626 3430	3 6263	0 0555556	0 2014635		
			32201	3631 9720	3 6320	0 0555556	0 2017762		
			32401	3637 4890	3 6375	0 0555556	0 2020827		
			32601	3642 9080	3 6429	0 0555556	0 2023838		
			32801	3648 2010	3 6482	0 0555556	0 2026778		
			33001	3653 4090	3 6534	0 0555556	0 2029672		
			33201	3658 5120	3 6585	0,0555556	0 2032507		
			33401	3663 5170	3 6635	0 0555556	0 2035287		
			33601	3668 4170	3 6684	0 0555556	0 2038009		
			33801	3673 2320	3 6732	0 0555556	0 2040684		
			34001	3677 9420	3 6779	0 0555556	0 2043301		
			34201	3682 5680	3 6826	0 0555556	0 2045871		
			34401	3687,1090	3 6871	0 0555556	0 2048394		
			34601	3691 5520	3 6916	0 0555556	0 2050862		
			34801	3695 9110	3 6959	0 0555556	0 2053284		
			35001	3700 1790	3 7002	0,0555556	0 2055655		
			35201	3704 3700	3 7044	0,0555556	0 2057983		
			35401	3708 4690	3 7085	0 0555556	0 2060261		
			35601	3712 5050	3 7125	0 0555556	0 2062503		
			35801	3716 4500	3 7165	0 0555556	0 2064694		
			36001	3720,3250	3,7203	0,0555556	0,2066847		
			36201	3724,1220	3 7241	0 0555556	0 2068957		
			36401	3727 8280	3 7278	0 0555556	0 2071016		
			36601	3731 4790	3 7315	0 0555556	0 2073044		
			36801	3735 0580	3 7351	0,0555556	0,2075032		
			37001	3738,5680	3 7386	0,0555556	0,2076982		
			37201	3742 0000	3,7420	0,0555556	0,2078889		
			37401	3745,3630	3 7454	0,0555556	0 2080757		
			37601	3748 6760	3 7487	0 0555556	0 2082598		
			37801	3751,9050	3 7519	0 0555556	0 2084392		
			38001	3755 0840	3 7551	0 0555556	0 2086158		
			38201	3758 2010	3 7582	0 0555556	0 2087889		
			38401	3761,2480	3 7612	0,0555556	0 2089582		
			38601	3764,2310	3 7642	0 0555556	0 2091239		
			38801	3767 1650	3 7672	0,0555556	0 2092869		
			39001	3770 0430	3 7700	0,0555556	0 2094468		
			39201	3772 8570	3 7729	0 0555556	0 2096032		
			39401	3775,6160	3 7756	0,0555556	0 2097564		
			39601	3778 3190	3 7783	0 0555556	0 2099066		
			39801	3780 9790	3 7810	0 0555556	0,2100544		

			40001	3783 5760	3 7836	0 0555556	0 2101987		
			40201	3786 1310	3 7861	0 0555556	0 2103406		
			40401	3788 6230	3 7886	0 0555556	0 2104791		
			40601	3791 0730	3 7911	0 0555556	0 2106152		
			40801	3793 4730	3 7935	0 0555556	0 2107485		
			41001	3795 8320	3 7958	0 0555556	0 2108796		
			41201	3798 1340	3 7981	0 0555556	0 2110074		
			41401	3800 3940	3 8004	0 0555556	0 2111133		
			41601	3802 6050	3 8026	0 0555556	0 2112558		
			41801	3804 7740	3 8048	0 0555556	0 2113763		
			42001	3806 9010	3 8069	0 0555556	0 2114945		
			42201	3808 9930	3 8090	0 0555556	0 2116107		
			42401	3811 0360	3 8110	0 0555556	0 2117242		
			42601	3813 0360	3 8130	0 0555556	0 2118353		
			42801	3815 0090	3 8150	0,0555556	0 2119449		
			43001	3816 9320	3 8169	0 0555556	0 2120518		
			43201	3818,8130	3 8188	0,0555556	0 2121563		
			43401	3820 6660	3 8207	0 0555556	0 2122592		
			43601	3822 4770	3 8225	0,0555556	0 2123598		
			43801	3824 2530	3 8243	0 0555556	0 2124585		
			44001	3825 9940	3 8260	0 0555556	0 2125552		
			44201	3827 7070	3 8277	0,0555556	0 2126504		
			44401	3829 3700	3 8294	0 0555556	0 2127428		
			44601	3831 0130	3 8310	0 0555556	0 2128341		
			44801	3832 6200	3 8326	0 0555556	0 2129233		
			45001	3834,1860	3 8342	0 0555556	0 2130103		
			45201	3835,7300	3 8357	0 0555556	0 2130961		
			45401	3837 2460	3 8372	0,0555556	0 2131803		
			45601	3838,7270	3 8387	0 0555556	0 2132626		
			45801	3840 1800	3 8402	0,0555556	0 2133433		
			46001	3841 6050	3 8416	0 0555556	0 2134225		
			46201	3843 0020	3 8430	0 0555556	0 2135001		
			46401	3844 3640	3 8444	0 0555556	0,2135758		
			46601	3845 7040	3,8457	0,0555556	0 2136502		
			46801	3847,0100	3 8470	0,0555556	0,2137228		
			47001	3848 3020	3 8483	0,0555556	0 2137946		
			47201	3849 5510	3 8496	0 0555556	0,2138639		
			47401	3850,7860	3 8508	0,0555556	0 2139326		
			47601	3851,9940	3 8520	0 0555556	0 2139997		
			47801	3853 1870	3 8532	0 0555556	0,2140659		
			48001	3854 3450	3 8543	0 0555556	0 2141303		
			48201	3855 4890	3 8555	0,0555556	0,2141938		
			48401	3856 5980	3 8566	0 0555556	0 2142554		
			48601	3857 7000	3 8577	0 0555556	0 2143167		
			48801	3858 7600	3 8588	0 0555556	0,2143756		
			49001	3859 8130	3 8598	0 0555556	0,2144341		
			49201	3860 8450	3 8608	0,0555556	0 2144914		
			49401	3861,8490	3 8618	0,0555556	0,2145472		
			49601	3862 8390	3 8628	0,0555556	0 2146022		
			49801	3863 8000	3 8638	0,0555556	0,2146556		
			50001	3864 7550	3 8648	0 0555556	0 2147086		
			50201	3865 6880	3 8657	0 0555556	0 2147604		

▷0401	3866 5870	3 8666	0 05▷555▷6	0 2148104
▷0601	3867 4780	3 8675	0 0555556	0 2148599
▷0801	3868 3560	3 8684	0 0555556	0 2149087
▷1001	3869 2050	3 8692	0 055▷556	0 2149558
▷1201	3870 0470	3 8700	0 0555556	

UFPR/PIPE/MESTRADO/ALEXANDRE FERREIRA LOBO							
Planilha para demonstrar a verificação da Simulação 6 - ANEXO 5 (ACADEMIA)							
Arquivo C:\alex\diversos\Q_comp_Simula6_ACAD.xls							
			tendi	Q_comp	Q_comp	Delta t	Energ
			(s)	(W)	(kW)	200 s ou	Gasta
						0 05555556	Intervalo
						horas	(kWh)
tendi variavel do tempo em s			201	0 0	0 0	0 05555556	0
Q_comp valor em Watt da po-			401	0 0	0 0	0 05555556	0
tencia auxiliar			601	0 0	0 0	0 05555556	0
Delta t 200 s transf Para horas			801	0 0	0 0	0 05555556	0
Energia = Pot X Tempo (kWh)			1001	0 0	0 0	0 05555556	0
			1201	0 0	0 0	0 05555556	0
			1401	0,0	0 0	0,05555556	0
			1601	0 0	0 0	0 05555556	0
			1801	0 0	0,0	0 05555556	0
			2001	0 0	0 0	0,05555556	0
			2201	0 0	0 0	0 05555556	0
			2401	0 0	0 0	0 05555556	0
			2601	0 0	0 0	0 05555556	0
			2801	0 0	0 0	0 05555556	0
			3001	0 0	0 0	0,05555556	0
			3201	0 0	0 0	0 05555556	0
			3401	0,0	0,0	0 05555556	0
			3601	0 0	0 0	0 05555556	0
			3801	0 0	0 0	0,05555556	0
			4001	0,0	0 0	0,05555556	0
			4201	19,7	0,0	0 05555556	0,0010958
			4401	93 0	0 1	0,05555556	0 0051639
			4601	158 0	0 2	0 05555556	0 00877731
			4801	231 1	0 2	0 05555556	0 01283683
			5001	297 4	0 3	0 05555556	0,01652277
			5201	362 6	0,4	0,05555556	0,02014553
			5401	426,7	0,4	0,05555556	0,02370707
			5601	489,7	0 5	0,05555556	0,02720816
			5801	551 7	0,6	0,05555556	0,03064959
			6001	612 6	0 6	0 05555556	0,03403214
			6201	672 4	0 7	0 05555556	0 03735658
			6401	731,2	0 7	0 05555556	0 04062331
			6601	789,0	0 8	0 05555556	0,04383505
			6801	845 8	0 8	0 05555556	0,04699102
			7001	901 7	0 9	0,05555556	0,05009279
			7201	956 5	1 0	0 05555556	0,05314114
			7401	1010,5	1 0	0 05555556	0 05613722
			7601	1063,5	1 1	0,05555556	0,05908067
			7801	1115,5	1 1	0,05555556	0,06197344
			8001	1166 7	1 2	0,05555556	0,06481628
			8201	1217,0	1 2	0,05555556	0 06760956
			8401	1266 4	1 3	0,05555556	0 07035378
			8601	1314,9	1 3	0,05555556	0,07305033
			8801	1362 6	1 4	0,05555556	0,07570056
			9001	1409 5	1 4	0 05555556	0 07830356

			9201	1455 5	1 5	0 05555556	0 08086133	
			9401	1500 7	1 5	0 05555556	0 08337428	
			9601	1545 2	1 5	0 05555556	0 0858435	
			9801	1588 8	1 6	0 05555556	0 08826828	
			10001	1631 7	1 6	0 05555556	0 09065139	
			10201	1673 9	1 7	0 05555556	0 09299233	
			10401	1715 3	1 7	0 05555556	0 09529194	
			10601	1755 9	1 8	0 05555556	0 09755061	
			10801	1795 9	1 8	0,05555556	0,0997695	
			11001	1835 1	1 8	0 05555556	0 101949	
			11201	1873 6	1 9	0 05555556	0 10409067	
			11401	1911 5	1 9	0 05555556	0,10619339	
			11601	1948 7	1 9	0 05555556	0 108259	
			11801	1985 2	2 0	0 05555556	0 110288	
			12001	2021 0	2 0	0 05555556	0 11228033	
			12201	2056 3	2 1	0,05555556	0 11423717	
			12401	2090 9	2 1	0 05555556	0,11615967	
			12601	2124 9	2 1	0 05555556	0 1180475	
			12801	2158 2	2,2	0,05555556	0 11990178	
			13001	2191 0	2 2	0 05555556	0 1217225	
			13201	2223 2	2,2	0,05555556	0 1235105	
			13401	2254 8	2 3	0 05555556	0 12526611	
			13601	2285 8	2 3	0 05555556	0 12699094	
			13801	2316 3	2 3	0 05555556	0 12868417	
			14001	2346 2	2 3	0 05555556	0,13034694	
			14201	2375 6	2 4	0,05555556	0 13198011	
			14401	2404 5	2,4	0 05555556	0,13358328	
			14601	2432 8	2,4	0 05555556	0 13515794	
			14801	2460 7	2,5	0,05555556	0 13670372	
			15001	2488 0	2,5	0 05555556	0 1382215	
			15201	2514 8	2,5	0,05555556	0 13971156	
			15401	2541 2	2 5	0 05555556	0,14117506	
			15601	2567,0	2,6	0,05555556	0,14261172	
			15801	2592 4	2,6	0,05555556	0,14402222	
			16001	2617 3	2,6	0,05555556	0,14540694	
			16201	2641 8	2 6	0 05555556	0,14676678	
			16401	2665 8	2 7	0 05555556	0 14810161	
			16601	2689 4	2 7	0 05555556	0,1494115	
			16801	2712 6	2,7	0 05555556	0,15069839	
			17001	2735 3	2 7	0 05555556	0 15196111	
			17201	2757 6	2 8	0,05555556	0,15320078	
			17401	2779 5	2,8	0,05555556	0,15441744	
			17601	2801 0	2 8	0,05555556	0 15561272	
			17801	2822,1	2 8	0 05555556	0 15678533	
			18001	2842 9	2,8	0,05555556	0,15793611	
			18201	2863,2	2,9	0 05555556	0,15906661	
			18401	2883 2	2 9	0,05555556	0,16017606	
			18601	2902 8	2,9	0,05555556	0,16126444	
			18801	2922 0	2 9	0,05555556	0,16233294	
			19001	2940 9	2 9	0,05555556	0,16338194	
			19201	2959 4	3,0	0,05555556	0,16441144	
			19401	2977 6	3 0	0 05555556	0,16542222	

			19601	2995 4	3 0	0 05555556	0 16641356	
			19801	3013 0	3 0	0 05555556	0 16738689	
			20001	3030 2	3 0	0 05555556	0,16834228	
			20201	3047 0	3 0	0 05555556	0 16927978	
			20401	3063 6	3 1	0 05555556	0 17020011	
			20601	3079 9	3 1	0 05555556	0 17110322	
			20801	3095 8	3 1	0 05555556	0 17198883	
			21001	3111 5	3 1	0 05555556	0,17285883	
			21201	3126 8	3 1	0 05555556	0,17371211	
			21401	3141 9	3 1	0 05555556	0 17455011	
			21601	3156 7	3 2	0 05555556	0 17537178	
			21801	3171 2	3 2	0 05555556	0 17617861	
			22001	3185 5	3 2	0,05555556	0,17697022	
			22201	3199 4	3 2	0 05555556	0 17774628	
			22401	3213 2	3 2	0 05555556	0 17850906	
			22601	3226 6	3 2	0 05555556	0,17925661	
			22801	3239 8	3 2	0 05555556	0 1799905	
			23001	3252 8	3 3	0 05555556	0 18071078	
			23201	3265 5	3,3	0,05555556	0,18141739	
			23401	3278 0	3 3	0 05555556	0 18211033	
			23601	3290 2	3 3	0 05555556	0 18279044	
			23801	3302 2	3 3	0,05555556	0 18345806	
			24001	3314 0	3,3	0 05555556	0,18411283	
			24201	3325 6	3 3	0 05555556	0 18475511	
			24401	3336 9	3 3	0 05555556	0 18538567	
			24601	3348,1	3 3	0 05555556	0,18600417	
			24801	3359 0	3 4	0,05555556	0,18661094	
			25001	3369 7	3 4	0,05555556	0 187206	
			25201	3380,2	3 4	0 05555556	0,18778978	
			25401	3390 5	3 4	0,05555556	0 18836267	
			25601	3400,7	3 4	0 05555556	0 188925	
			25801	3410,6	3 4	0 05555556	0 18947639	
			26001	3420 3	3,4	0,05555556	0 19001728	
			26201	3429 9	3,4	0 05555556	0 190548	
			26401	3439 2	3,4	0 05555556	0,19106861	
			26601	3448 4	3 4	0,05555556	0 19157906	
			26801	3457,4	3 5	0 05555556	0,19208017	
			27001	3466 3	3 5	0 05555556	0,1925715	
			27201	3475,0	3 5	0 05555556	0 1930535	
			27401	3483 5	3,5	0,05555556	0,19352656	
			27601	3491 8	3 5	0 05555556	0,19399061	
			27801	3500 0	3 5	0 05555556	0,19444567	
			28001	3508 1	3 5	0,05555556	0,19489178	
			28201	3515 9	3 5	0 05555556	0 19532972	
			28401	3523 7	3 5	0 05555556	0,19575911	
			28601	3531 2	3 5	0 05555556	0 19617989	
			28801	3538 7	3 5	0,05555556	0,19659322	
			29001	3546 0	3 5	0,05555556	0,19699839	
			29201	3553 1	3 6	0 05555556	0,19739578	
						soma	16 8 kWh	

ANEXO 6 - EXEMPLO DE PROGRAMA PRINCIPAL EM FORTRAN

```

program COLETOR_TUBO  ! Nome do programa - Data 27 de JANEIRO de 2004
  ! Objetivo Simula Temperatura nos VC do coletor solar

  use mslib           ! Biblioteca que contem o comando systemqq
  !implicit real *4 (a-h o-z)  ! As variaveis que comecam com (a) ate (h) e de (o) ate (z) são reais As demais são
  !inteiros
  implicit real *4 (a-h l-z)  ! As variaveis que comecam com (a) ate (h) e de (l) ate (z) são reais As demais são
  !inteiros
  ! logical chamada        ! Identifica os arquivos do comando systemqq
  integer n nelmax

  parameter (nelmax=100) ! Numero max de parametros( no caso 100 Eq Dif )
  dimension tp(nelmax)   ! Variavel indexada que permite trabalhar ate 100 Eq Dif
  external fcn rkqc      ! Funcoes automaticas de uso externo ao programa principal
  ! Podem estar no mesmo programa ou fora dele mas no mesmo Workspace

  common /const/ht2
  common /param0/C_col var_L_col H_col A_col V_col esp_vidro esp_tubo d_ext d_int
  common /param1/rho_ft rho_ar rho_vidro cp_ft cp_ar cp_vidro ck_ft ck_ar ck_tubo
  common /param2/T_inf h_inf q_rad trans refle var_m_ft T_ft_ent l_ft_sai var_L_tubo
  common /param3/pi V_vidro V_ar V_ft Visc_din tau tau_aste tau_rad tau_aste_rad Pr Fator_Ra_ar
  common /param4/var_Nuh_ft_vc3 h_ft_vc3 q_inf r_ext r_int A_tubo A_tubo_ar A_tubo_ft,Re_ft Ra_ar abs_tubo rho_tubo cp_
  tubo V_tubo

  ! Abertura dos arquivos para receber o valor das grandezas nos VC's

  open(1 file='inpaula txt')      ! Arq de entrada de dados das constantes/parametros
  open(2 file='out-num txt')      ! Arq de saida de todos os dados numericos
  open(3 file='out-read txt')    ! Arq de saida dos dados de entrada utilizados (read's)
  open(11 file='out-T_vidro txt') ! Arquivo numerico de saida da variavel T_vidro
  open(12 file='out-T_ar txt')   ! Arquivo numerico de saida da variavel T_ar
  open(13 file='out-T_tubo txt') ! Arquivo numerico de saida da variavel T_tubo
  open(14 file='out-T_ft txt')   ! Arquivo numerico de saida da variavel T_ft
  open(15 file='out-T_ft_sai txt') ! Arquivo numerico de saida da variavel T_ft_sai
  open(21 file='out-T_arquivo21 txt') ! Arquivo numerico de saida da variavel T_ft_sai
  open(22 file='out-T_temperaturas txt') ! Arquivo numerico de saida das temperaturas

  !
  ! Leitura dos Dados de Entrada do Arquivo INPAULA TXT
  !

  write(3 *)'===== Parametros - Condições Contorno ====='

  read(1 *)n           ! (1) n numero de equacoes diferenciais envolvidas
  write(3 *)'n=' n
  read(1 *)tau0       ! (2) tau0 instante inicial (s)
  write(3 *)'tau0=' tau0
  read(1 *)tend       ! (3) tend tempo final de simulacao (s)
  write(3 *)'tend=' tend
  read(1 *)dtau       ! (4) dtau intervalo de tempo para apresentar os
  write(3 *)'dtau=' dtau ! Resultados intermediarios (s)
  read(1 *)iflag      ! (5) iflag = 0-RK adaptativo 1-RK passo fixo 2-RK Formula
  write(3 *)'iflag=' iflag ! de Euler
  read(1 *)ht2        ! (6) ht2 valor do passo inicial para RK passo
  write(3 *)'ht2=' ht2 ! adaptativo e Formula de Euler
  read(1 *)C_col      ! (7) C_col comprimento do coletor em (m)
  write(3 *)'C_col=' C_col
  read(1 *)var_L_col  ! (8) L_col largura do coletor em (m)
  write(3 *)'var_L_col=' var_L_col
  read(1 *)H_col      ! (9) H_col altura do coletor em (m)
  write(3 *)'H_col=' H_col
  read(1 *)esp_vidro  ! (10) esp_vidro espessura do vidro em (m)
  write(3 *)'esp_vidro=' esp_vidro
  read(1 *)esp_tubo   ! (11) esp_tubo espessura do tubo em (m)

```

```

write(3 *) esp_tubo=' esp_tubo
read(1 *)d_ext          | (12) d_ext diametro externo do tubo em (m)
write(3 *)d_ext=' d_ext
read(1 *)d_int          | (13) d_int diametro interno do tubo em (m)
write(3 *)d_int=' d_int
read(1 *)var_L_tubo     | (14) L_tubo comprimento do tubo do FT no VC3 em (m)
write(3 *)var_L_tubo=' var_L_tubo
read(1 *)rho_ft         | (15) rho_ft massa espec do FT em (kg/m^3)
write(3 *)rho_ft=' rho_ft
read(1 *)rho_ar         | (16) rho_ar massa espec do AR em (kg/m^3)
write(3 *)rho_ar=' rho_ar
read(1 *)rho_vidro     | (17) rho_vidro massa espec do Vidro em (kg/m^3)
write(3 *)rho_vidro=' rho_vidro
read(1 *)cp_ft         | (18) cp_ft calor espec do FT em (J/kg K)
write(3 *)cp_ft=' cp_ft
read(1 *)cp_ar         | (19) cp_ar calor espec do AR em (J/kg K)
write(3 *)cp_ar=' cp_ar
read(1 *)cp_vidro     | (20) cp_vidro calor espec do vidro em (J/kg K)
write(3 *)cp_vidro=' cp_vidro
read(1 *)ck_ft         | (21) ck_ft coef cond term do FT em (W/m^2 K)
write(3 *)ck_ft=' ck_ft
read(1 *)ck_ar         | (22) ck_ar coef cond term do AR em (W/m^2 K)
write(3 *)ck_ar=' ck_ar
read(1 *)ck_tubo       | (23) ck_tubo coef cond term do tubo em (W/m^2 K)
write(3 *)ck_tubo=' ck_tubo
read(1 *)T_inf         | (24) T_inf temperatura do ambiente (K)
write(3 *)T_inf=' T_inf
read(1 *)h_inf         | (25) h_inf coef de conveccao do ambiente (W/m^2 K)
write(3 *)h_inf=' h_inf
read(1 *)q_rad         | (26) q_rad radiação termica incidente (W/m^2)
write(3 *)q_rad=' q_rad
read(1 *)trans         | (27) trans coef tramamissibilidade do vidro (adm)
write(3 *)trans='trans
read(1 *)refle         | (28) refle coef refletividade do vidro (adm)
write(3 *)refle=' refle
read(1 *)abs_tubo      | (29) abs_tubo Absortividade do tubo de aluminio (adm)
write(3 *)abs_tubo=' abs_tubo
read(1 *)var_m_ft      | (30) m_ft vazao massica do FT em (kg/s)
write(3 *)var_m_ft=' var_m_ft
read(1 *)T_vidro_ini   | (31) T_vidro_ini temp vidro inicial em (K)
write(3 *)T_vidro_ini=' T_vidro_ini
read(1 *)T_ar_ini     | (32) T_ar_ini temp inicial do AR em (K)
write(3 *)T_ar_ini=' T_ar_ini
read(1 *)T_tubo_ini    | (33) T_tubo_ini temp inicial do TUBO em (K)
write(3 *)T_tubo_ini=' T_tubo_ini
read(1 *)T_ft_ini     | (34) T_ft_ini temp inicial do FT em (K)
write(3 *)T_ft_ini=' T_ft_ini
read(1 *)T_ft_sai_ini | (35) T_ft_sai_ini temp do FT que sai em (K)
write(3 *)T_ft_sai_ini=' T_ft_sai_ini
read(1 *)T_ft_ent     | (36) T_ft_ent temp de entrada do coletor em (K)
write(3 *)T_ft_ent=' T_ft_ent
read(1 *)Visc_din     | (37) Visc_din Viscosidade dinamica do FT em kg/(m s)
write(3 *)Visc_din=' Visc_din
read(1 *)tau          | (38) tau Angulo tau de montagem do coletor em graus
write(3 *)tau='tau
read(1 *)tau_aste     | (39) tau_aste Angulo tau asterisco em função de H_col/C_col em graus
write(3 *)tau_aste=' tau_aste
read(1 *)rho_tubo     | (40) rho_tubo Massa especifica do tubop de aluminio em (kg/m^3)
write(3 *)rho_tubo=' rho_tubo
read(1 *)cp_tubo      | (41) cp_tubo Calor especifico do tubo de aluminio em J/(kg C)
write(3 *)cp_tubo=' cp_tubo

```

Grandezas Constantes Utilizadas no Programa com Base nos Dados de Entrada

```

write(3 *)'===== Constantes e Parametros Geometricos ====='

p1 = 3.141592654          ! p1 valor da constante (adm)
write(3 *)'p1=' p1
r_ext = d_ext/2.0        ! r_ext raio externo do tubo do FT em (m)
write(3 *)'r_ext=' r_ext
r_int = d_int/2.0        ! r_int raio interno do tubo do FT em (m)
write(3 *)'d_int=' d_int
A_col = var_L_col * C_col ! A_col Area do coletor em (m^2)
write(3 *)'A_col=' A_col
A_tubo = 2.0 * p1 * r_ext * var_L_tubo ! A_tubo Area da superficie lateral do tubo do FT em (m^2)
write(3 *)'A_tubo=' A_tubo
A_tubo_ar = 0.50 * A_tubo ! A_tubo_ar Area de TC da sup lateral do tubo e o ar em (m^2)
write(3 *)'A_tubo_ar=' A_tubo_ar
A_tubo_ft = 2.0 * p1 * r_int * var_L_tubo ! A_tubo_ft Area de TC do TUBO para o FT em (m^2)
write(3 *)'A_tubo_ft=' A_tubo_ft
V_col = var_L_col * C_col * H_col ! V_col Volume do coletor em (m^3)
write(3 *)'V_col=' V_col
V_vidro = var_L_col * C_col * esp_vidro ! V_vidro Volume do vidro em (m^3)
write(3 *)'V_vidro=' V_vidro
V_ar = var_L_col * C_col * H_col ! V_ar Volume do ar em (m^3)
write(3 *)'V_ar=' V_ar
V_tubo = p1 * ((d_ext**2) - (d_int**2)) * var_L_tubo / (4.0) ! V_tubo volume do tubo em (m^3)
write(3 *)'V_tubo=' V_tubo
V_ft = p1 * (r_int**2) * var_L_tubo ! V_ft Volume do tubo no vc3 em (m^3)
write(3 *)'V_ft=' V_ft
Re_ft = (4.0 * var_m_ft) / (p1 * d_int * Visc_din) ! Re_ft Numero de Reynolds do FT (adm)
write(3 *)'Re_ft=' Re_ft
Pr = 0.70 ! Pr Numero de prandtl local (adm)
write(3 *)'Pr=' Pr
Fator_Ra_ar = 34.8e6 ! Fator_Ra_ar fator do Num Ra para ar a 100oC (adm) Tab Bejan
write(3 *)'Fator_Ra_ar=' Fator_Ra_ar
tau_rad = tau * p1 / 180 ! tau_rad ang tau de montagem do coletor em rad
write(3 *)'tau_rad=' tau_rad
tau_aste_rad = tau_aste * p1 / 180 ! tau_aste_rad ang especial em função de H_col/C_col em rad
write(3 *)'tau_aste_rad=' tau_aste_rad

```

Valores iniciais e condicoes de contorno

```

time=tau0
tp(1)=T_vidro_ini ! T_vidro_ini temperatura do VIDRO no coletor em (K)
tp(2)=T_ar_ini ! T_ar_ini temperatura do AR no coletor em (K)
tp(3)=T_tubo_ini ! T_tubo_ini temperatura do TUBO no coletor em (K)
tp(4)=T_ft_ini ! T_ft_ini temperatura do FT do coletor em (K)
tp(5)=T_ft_sai_ini ! T_ft_sai_ini temperatura de saida do FT do coletor em (K)

```

Loop para apresentar resultados intermediarios
em cada intervalo dtau durante a integracao das equacoes diferenciais

```

k=0
write(**)' Tabela de Resultados'
write(**)'-----'
write(**)' Passo Nr time T_vidro(i) T_ar(i) T_tubo(i) T_ft(i) T_ft_sai(i) '
write(**)'-----'
write(**)'k time (tp(i) i=1,n)
write(2,*)time (tp(i) i=1 n)
write(11,*)time tp(1) ! (1) T_vidro Temperatura do VIDRO no coletor em (K)
write(12,*)time tp(2) ! (2) T_ar Temperatura do AR no coletor em (K)
write(13,*)time tp(3) ! (3) T_tubo Temperatura do TUBO no coletor em (K)
write(14,*)time tp(4) ! (4) T_ft Temperatura do FT que sai no coletor em (K)
write(15,*)time tp(5) ! (5) T_ft_sai Temperatura de saida do FT que sai no coletor em (K)

```

Inicio do loop do tempo


```

common /param0/C_col var L_col H_col A_col V_col esp_vidro esp_tubo d_ext d_int
common /param1/rho_ft rho_ar rho_vidro cp_ft cp_ar cp_vidro ck_ft ck_ar ck_tubo
common /param2/T_int h_inf q_rad trans refle var_m_ft T_ft_ent T_ft_sai var_L_tubo
common /param3/p1 V_vidro V_ar V_ft Visc_din tau tau_aste tau_rad tau_aste_rad Pr Fator_Ra_ar
common /param4/var_Nuh_ft_vc3 h_ft_vc3 q_ext r_ext r_int A_tubo A_tubo_ar A_tubo_ft Re_ft Ra_ar abs_tubo rho_tubo cp_
tubo V_tubo

!
! VOLUME DE CONTROLE VIDRO VC1
!

q_incid = q_rad * A_col                ! Entra no VC1 Vidro
q_trans = q_incid * trans              ! Sai do VC1 Vidro
q_refle = q_incid * refle              ! Sai do VC1 Vidro
q_inf = h_inf * A_col * ( fi(1) T_int ) ! Sai do VC1 - Vidro

!
! Calculo do h_ar
!

!if ((Ra_ar) eq (0 0)) then
if (fi(2) eq fi(4)) then ! Se T_ar = T_ft Ra = 0 e Nu=1 0

var_Nu_90 = 1 00
var_Nu_00 = 1 00
var_Nu_ar = ((var_Nu_90 * (sin(tau_aste_rad)**(0 25)))/var_Nu_00)**(tau_rad/tau_aste_rad)

else
!Calc Ra e Nu coletor deitado
Ra_ar_00 = Fator_Ra_ar * (abs(fi(3) - fi(1))) * (H_col**3 )
var_Nu_00 = 0 069 * (Ra_ar_00**(0 333)) * (Pr**0 07)
Ra_ar_90 = Fator_Ra_ar * (abs(fi(3) - fi(1))) * (C_col**3 )
!var_Nu_90 = 0 22 * ((Pr*Ra_ar_90/(0 2+Pr))**(0 28))*((C_col/H_col)**( 0 25)) ! Formula Incropera
var_Nu_90 = 0 22 * ((Pr*Ra_ar_90/(0 2+Pr))**(0 28))*((H_col/C_col)**(0 09)) ! Formula Bejan
var_Nu_ar = ((var_Nu_90 * (sin(tau_aste_rad)**(0 25)))/var_Nu_00)**(tau_rad/tau_aste_rad)

endif

h_ar = var_Nu_ar * H_col / ck_ar
q_ar_vd = h_ar * A_col * ( fi(2) - fi(1) )                ! Entra no VC1 o ar aquece o vidro

f(1) = (( q_incid + q_ar_vd ) - ( q_trans + q_refle + q_inf )) / ( rho_vidro * cp_vidro * V_vidro )

!
! VOLUME DE CONTROLE - AR - VC2
!

q_trans_tubo = abs_tubo * q_trans
q_ar_vd = h_ar * A_col * ( fi(2) - fi(1) )
q_tubo_ar = h_ar * A_tubo_ar * ( fi(3) - fi(2) )

f(2) = (( q_trans + q_tubo_ar ) - ( q_ar_vd + q_trans_tubo )) / ( rho_ar * cp_ar * V_ar )

!
! VOLUME DE CONTROLE - TUBO - VC3
!

!Fator_atrito = ((0 79*log(Re_ft)-1 64)**(-2 ))
!var_Nu_ft = ((Fator_atrito/8 0)*(Re_ft-1000)*Pr)/(1 0+12 7*((Fator_atrito/8 )**0 5)*(Pr** 6666-1 ))
var_Nu_ft = 4 363
h_ft = var_Nu_ft * ck_ft / d_int

q_tubo_ft = h_ft * A_tubo_ft * ( fi(3) - fi(4) )

f(3) = ( q_trans_tubo - ( q_tubo_ar + q_tubo_ft) ) / ( rho_tubo * cp_tubo * V_tubo )

```

```

|
| VOLUME DE CONTROLE - FLUIDO TERMICO FT - VC4
|
f(4) = ( q_tubo_ft + var_m_ft * cp_ft * (T_ft_ent - fi(5))) / ( rho_ft * cp_ft * V_ft )
|
| VOLUME DE CONTROLE - FT TEMPERATURA DE SAIDA - T_ft_sai
|
fi(5) = ( 2.0 * fi(4) - T_ft_ent )      | Media das temperaturas dos extremos do tubo
fi(5) = fi(4)

|write(21 *)Ra_ar_00 Ra_ar_90 var_Nu_ar
|write(21 *)var_Nu_ft h_ft
|write(21 *)q_trans_tubo q_tubo_ar q_tubo_ft
|write(21 *)f(1) f(2) f(3) f(4)
|write(21 *)fi(1) fi(2) fi(3) fi(4) fi(5)
|write(22 *)fi(1) fi(2) fi(3) fi(4) fi(5)

return
end

|*****
subroutine fore(n fcn time fi tend nelmax)
| subrotina do Metodo de Euler
implicit real *4 (a-h o-z)
parameter (nd1=100)
dimension fi(nelmax) f(nd1)
common /const/ ht2
external fcn
k=0
50 k=k+1
time=min(time+ht2 tend)
call fcn(n time fi f nelmax)
do 100 i=1 n
fi(i)=fi(i)+ht2*f(i)
100 continue
if (time lt tend) goto 50
return
end
|*****

```

ANEXO 6 - EXEMPLO DE SUBROTINA RUNGE KUTIA 4A ORDEM EM FORTRAN

```

subroutine rk4ord(v n x h derivs nd)
!
! rk4
!
implicit real *4 (a-h o-z)
parameter (nmax=100 nd3=100)
dimension v(nd),dydx(nd3) yt(nd3) dyt(nd3) dym(nd3)
external derivs
hh=h* >
h6=h/6
xh=x+hh
call derivs(n x y dydx nd3)
do 11 i=1 n
vt(i)=y(i)+hh*dydx(i)
11 continue
call derivs(n xh yt dyt nd3)
do 12 i=1 n
vt(i)=y(i)+hh*dyt(i)
12 continue
call derivs(n xh yt dym nd3)
do 13 i=1 n
vt(i)=y(i)+h*dym(i)
dym(i)=dyt(i)+dym(i)
13 continue
call derivs(n x+h vt dyt nd3)
do 14 i=1 n
y(i)=v(i)+h6*(dydx(i)+dyt(i)+2*dym(i))
14 continue
return
end

```

ANEXO 6 - EXEMPLO DE ARQUIVO DE ENTRADA DE DODOS EM
FORTRAN

```

5          | (1) n  numero de equacoes diferenciais envolvidas
1          | (2) tau0 instante inicial [s]
3600       | (3) tend  tempo final de simulacao [s](*) ALTERADO
DE 1800s
PARA 3600s
5          | (4) dtau  intervalo de tempo para apresentar res 1
nterm [s]
1          | (5) iflag = 0 - RK adaptativo, 1 - RK passo fixo, 2
- For Euler
1 e-3     | (6) ht2  valor de passo inicial para RK adaptativo
e FE

3 0       | (7) C_col comprimento do coletor (m)
2 0       | (8) L_col largura do coletor (m)
0 6       | (9) H_col altura do coletor (m)

3 2e-3    | (10) esp_vidro espessura do vidro (m)
1 0e-3    | (11) esp_tubo  espessura do tubo (m)

23 0e-3   | (12) d_ext diametro externo do tubo (m)
16 0e-3   | (13) d_int diametro interno do tubo (m)
72        | (14) L_tubo_vc3 comprimento tubo no coletor em (m)

958 4     | (15) rho_ft massa especifica do fluido termico (agua
a/100C) (kg/m^3)
0 946     | (16) rho_ar massa especifica do ar/100C (kg/m^3)
2800      | (17) rho_vidro massa especifica do vidro em (kg/m^3
)

4216      | (18) cp_ft calor especifico do fluido termico (agua
/100C) em (J/kg K)
1011      | (19) cp_ar calor especifico do ar/100C a pressao co
nstante em
(J/kg K)
800       | (20) cp_vidro calor especifico do vidro em (J/kg K)

0 68      | (21) ck_ft coeficiente de condutibilidade termica d
o fluido termico
(agua/100C) (W/m C)
0 032     | (22) ck_ar coeficiente de condutibilidade termica d
o ar/100C em

```

(W/m C)	204	' (23) ck_tubo coef de condut termica do tubo de al
uminio (W/m C)		
	298 15	' (24) T_inf temperatura do ambiente (K)
	100	' (25) h_inf coeficiente de conveccao do ambiente (W/
m^2 K)		
	1000	' (26) q_rad radiação termica incidente em (W/m^2)
	0 88	' (27) trans coeficiente de transmissibilidade do vi
dro (adm)		
	0 06	' (28) refle coeficiente de refletividade do vidro (a
dm)		
	0 98	' (29) abs_tubo absortividade do tubo de aluminio (ad
m)		
	0 012566	' (30) m_ft vazao massica do fluido termico em (kg/s)
	298 15	' (31) T_vidro_in1 temp inicial do VIDRO no coletor
em (K)		
	298 15	' (32) T_ar_in1 temp inicial do AR no coletor em (K)
	298 15	' (33) T_tubo_in1 temp inicial do TUBO no coletor em
(K)		
	298 15	' (34) T_ft_in1 temp inicial do FT no coletor em (K)
	298 15	' (35) T_ft_sai_in1 temp inicial que sai do FT no co
letor em (K)		
	298 15	' (36) T_ft_ent temperatura de entrada do FT no colet
or em (K)		
	0 001	' (37) Visc_dyn C=Viscosidade dinamica do FT em kg/(m
s)		
	40	' (38) tau Angulo tau de montagem do coletor em graus
	60	' (39) tau_aste Angulo tau asterisco em função de H_c
ol/C_col em graus		
	2707	' (40) rho_tubo Massa especifica do tubop de aluminio
em (kg/m^3)		
	896	' (41) cp_tubo Calor especifico do tubo de aluminio e
m J/(kg C)		

ANEXO 6 - EXEMPLO DE ARQUIVO DE CONFERENCIA EM FORTRAN

=====
 ===== Parametros - Condições Contorno =====
 ==

```

n=                5
tau0=             1 000000
tend=             3600 000000
dtau=             5 000000
iflag=            1
ht2=              1 000000E-03
C_col=            3 000000
var_L_col=        2 000000
H_col=            6 000000E-01
esp_vidro=        3 200000E-03
esp_tubo=          1 000000E-03
d_ext=            2 300000E-02
d_int=            1 600000E-02
var_L_tubo=       72 000000
rho_ft=           958 400000
rho_ar=           9 460000E-01
rho_vidro=        2800 000000
cp_ft=            4216 000000
cp_ar=            1011 000000
cp_vidro=         800 000000
ck_ft=            6 800000E-01
ck_ar=            3 200000E-02
ck_tubo=          204 000000
T_inf=            298 150000
h_inf=            100 000000
q_rad=            1000 000000
trans=            8 800 000E-01
refle=            6 000000E-02
abs_tubo=          9 800000E-01
var_m_ft=         1 256600E-02
T_vidro_in1=      298 150000
T_ar_in1=          298 150000
T_tubo_in1=        298 150000
T_ft_in1=          298 150000
T_ft_sai_in1=     298 150000
T_ft_ent=          298 150000
Visc_din=         1 000000E-03
tau=              40 000000
tau_aste=         60 000000
rho_tubo=         2707 000000
cp_tubo=          896 000000
  
```

=====
 ===== Constantes e Parametros Geométricos =====
 ==

pi=	3	141593
r_ext=	1	150000E-02
d_int=	1	600000E-02
A_col=	6	000000
A_tubo=	5	202477
A_tubo_ar=	2	601239
A_tubo_ft=	3	619115
V_col=	3	600000
V_vidro=	1	920000E-02
V_ar=	3	600000
V_ft=	1	447646E-02
Re_ft=	999	970400
Pr=	7	000000E-01
Fator_Ra_ar=	3	480000E+07
tau_rad=	6	981317E-01
tau_aste_rad=	1	047198

texto_RESULTADOS

ANEXO 6 EJEMPLO DE ARCHIVO DE RESULTADOS

1	000000	298 150000	298 150000	298 150000
		298 150000	298 150000	
	6	000000	298 192600	298 323700
		298 168800	298 150000	298 807200
11	000000	298 237000	298 517600	299 404000
		298 221300	298 187600	
16	000000	298 283300	298 715400	299 949700
		298 302200	298 292600	
21	000000	298 331100	298 909500	300 451500
		298 407200	298 454500	
26	000000	298 380200	299 096700	300 915800
		298 532300	298 664300	
31	000000	298 430100	299 275800	301 347700
		298 674300	298 914500	
36	000000	298 480600	299 446800	301 751800
		298 830400	299 198500	
41	000000	298 531200	299 609900	302 131700
		298 998300	299 510800	
46	000000	298 581700	299 765700	302 490800
		299 175900	299 846600	
51	000000	298 632000	299 914800	302 831700
		299 361600	300 201900	
56	000000	298 681800	300 057800	303 156800
		299 553900	300 573300	
61	000000	298 731000	300 195300	303 468100
		299 751500	300 957800	

BIOGRAFIA

Alexandre Ferreira Lobo nasceu em Jacarezinho, PR, Brasil, em 3 de agosto de 1961, filho de Sidney Ferreira Lobo e Nair Mascari Lobo.

Em 1990, recebeu o grau de Engenheiro Eletricista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná em Curitiba, PR .

Em 1995, recebeu o grau de Licenciado em disciplinas especializadas no ensino de 2º grau, ESQUEMA I pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná em Curitiba, PR .

De 1994 a 2001, trabalhou como Engenheiro de Fiscalização de Obras Elétricas no Banco do Estado do Paraná S/A em Curitiba, PR .

Em 1993, ingressou no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, em Curitiba, PR, no Departamento Acadêmico de Eletrotécnica onde exerce o cargo de Professor de 1º e 2º graus até a presente data.