

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

PROGRAMA DE CÁLCULO PARA O DIMENSIONAMENTO

DE SÉRIE DE CALDEIRAS A ÓLEO BPF

AUTOR: EDMIR PARADA VASQUES PRADO

ORIENTADOR: PROFESSOR HILDO PERA

1985

Í N D I C E

1. Introdução: objetivo, estrutura e roteiro do projeto	1
2. Qualificação para escolha do projeto	3
3. Dados do projeto: parâmetros do projeto e considerações sobre <u>da</u> dos de entrada	3
4. Cálculo térmico	5
5. Planejamento do algoritmo	20
6. Codificação do algoritmo	29
7. Desenhos elaborados	37
8. Literatura consultada	39
9. Apêndices:	
A: Tabela de especificação do combustível	
B: Tabela de obtenção da temperatura de equilíbrio	
C: Tabela de obtenção da entalpia residual	

I - INTRODUÇÃO

Gerador de vapor é basicamente um trocador de calor complexo que tem a finalidade de produzir vapor a partir de energia térmica, ar e fluido vaporizante. De grande importância para a indústria, o gerador de vapor tem como componente fundamental a caldeira e suas estruturas. A esta tem se associado diversos equipamentos como queimadores, superaquecedores, economizadores, pré-aquecedores de ar e outros acessórios relacionados com a caldeira, tais como desareadores de água de alimentação, ventiladores para tiragem forçada, bombas e outros aparatos.

Esses diversos equipamentos associados de uma maneira integrada acabam por permitir a obtenção de um rendimento térmico maior.

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um algoritmo de cálculo que permita o dimensionamento rápido de uma série de caldeiras com os seus devidos acessórios queimando óleo BPF.

Esse algoritmo não tem uma característica amplamente genérica visto que seus dados de entrada estão condicionados a certas características e intervalos de variação, como será visto no item referente a dados de projeto.

Diante das grandes vantagens oferecidas hoje, pelos computadores tanto com relação a tempo de resposta, como em relação aos custos de projeto, optamos por desenvolver esse algoritmo a nível de computador, mais precisamente em micro computador. E porque em um micro computador? Porque, observando a realidade da informática hoje, este trabalho desenvolvido em um micro computador dará ao projetista uma independência no processamento de dados, com relação a outros setores da empresa e tornará mais flexível e eficiente suas aplicações.

A linguagem na qual será codificado esse algoritmo é o BASIC .
Essa linguagem apresenta características que a tornam adequada a essa a
plicação. Dentre elas podemos citar:

- . uma linguagem difundida nos micro computadores
- . não apresenta dificuldade para o usuário, pois o algoritmo é todo monitorado e torna a linguagem transparente ao usuário
- . ao projetista que mais tarde desejar aprimorar o trabalho de de
senvolvido não encontrará problemas, pois nos cursos de gra
duação e pós-graduação em engenharia adota-se as linguagens
FORTRAN e BASIC.

A estrutura desse trabalho segue as linhas gerais do roteiro
dado pelo professor Hildo Pera. Basicamente a estrutura desenvolvida é a
seguinte:

1. Introdução: objetivo, estrutura e roteiro do projeto.
2. Qualificação para escolha do projeto.
3. Dados do projeto: parâmetros do projeto e considerações so
bre dados de entrada.
4. Cálculo térmico: cálculo térmico de uma caldeira com capaci
dade de 5000 kg vapor/h.
5. Planejamento do algoritmo: baseado no cálculo do item ante
rior, planifica-se um algoritmo que executa o cálculo térmi
co para uma capacidade entre 5000 a 15000 kg vapor/h.
6. Codificação do algoritmo - desenvolvimento do algoritmo pa
ra a utilização em micro computadores com codificação em
BASIC.

7. Desenhos elaborados: mostram de maneira esquemática a forma geométrica da série de caldeiras que podem ser projetadas através deste trabalho.

8. Literatura consultada: consta de literatura onde se encontram as bases teóricas e práticas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

9. Apêndices

Apêndice A: Tabela de especificação do combustível

Apêndice B: Tabela de obtenção da temperatura de equilíbrio

Apêndice C: Tabela de obtenção da entalpia residual

II - QUALIFICAÇÃO PARA ESCOLHA DO PROJETO

Os fatores que levaram-me a escolher este projeto são dois: caldeiras e computadores.

Entendo que as caldeiras e os geradores de vapor de um modo geral têm grande importância no cenário industrial do país. O seu dimensionamento requer muitas vezes processos iterativos que são solucionados de maneira eficiente pelos computadores. Estes por sua vez estão em crescente evolução a passos largos e penetrando cada vez mais no campo da ciência e tecnologia.

III - DADOS DO PROJETO

Dentre o conjunto de dados necessários para o projeto de uma caldeira, alguns nos foram fornecidos e constituem um direcionamento do projeto. Esta orientação nos foi fornecida pelo Professor Hildo Pera. Abaixo te

mos a descrição dos dados.

1. Dados Fornecidos

1.1 Parâmetros do projeto

- Dimensionamento de uma série de caldeiras a óleo BPF
- Pressão de trabalho - 10 kgf/cm²
- Pressão de construção - 12 kgf/cm²
- Qualidade de vapor - saturado seco
- Temperatura da água de
alimentação - 60°C
- Temperatura do ar ambiente - 25°C
- Eficiência térmica referida
ao PCI - 87%

1.2 Geometria da caldeira



IV - CÁLCULO TÉRMICO

1. Análise do Combustível

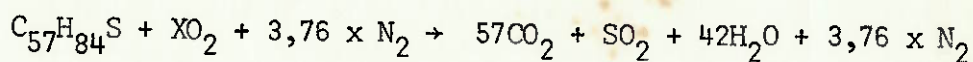
O combustível utilizado neste projeto é o óleo BPF da SHELL REF_{IN} NARIA REPLAN (Apêndice A). Para esse tipo de óleo o valor teórico máximo de CO₂ situa-se próximo de 15% (base seca), sendo que o prático máximo considerado é 14%. Entretanto, valores acima de 12% podem ser considerados como bons (informações da SHELL).

Vamos adotar 12% para a porcentagem de CO₂ considerando as experiências anteriores com este combustível vamos adotar, também um excesso de ar de 10%.

Dos dados fornecidos pela SHELL tiramos os seguintes:

	C	H	S
% em massa	85,5	10,5	4,0
Em 100g de composto	85,5	10,5	4,0
Nº de moles	7,25	10,5	0,125
menor inteiro positivo	57	84	1

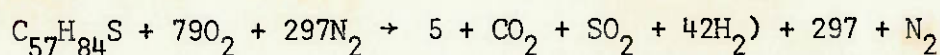
A fórmula mínima é portanto C₅₇H₈₄S. Realizando uma combustão completa teríamos:



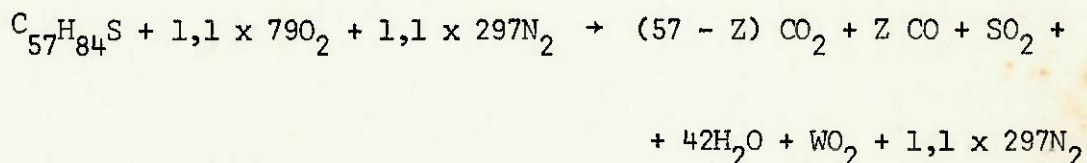
Igualando os membros teríamos:

$$2X = 2,57 + 2 + 42$$

$$\therefore X = 79$$



Na realidade a combustão apresenta-se incompleta e, é realizada a custa de excesso de ar. Passamos então a ter a seguinte equação:



Igualando os membros obtemos:

$$2 \times 1,1 \times 79 = 2(57 - Z) + Z + 2 + 42 + 2W$$

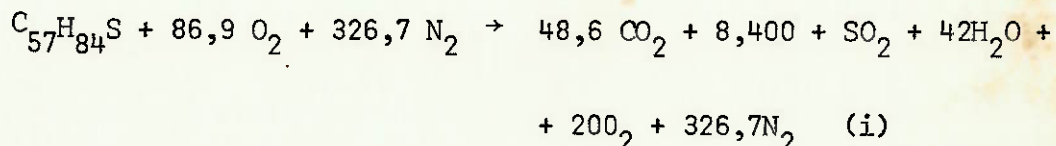
$$W = 15,8 + Z/2$$

Por outro lado temos $(\% CO_2)_{base\ seca} = 12\%$

$$\frac{57 - Z}{(57 - Z) + 2 + 1 + 1,1 \times 297 + (15,8 + Z/2)} = 0,12$$

$$\therefore Z = 8,4$$

Logo a equação fica:



2. Cálculo do volume de ar necessário

A expressão (i) diz que precisamos de 86,9 moles de O_2 para cada mol de combustível.

. Volume molar de O_2 $22,39 \text{ Nm}^3/\text{mol}$

. (1 mol de $C_{57}H_{84}S$) = $57 \times 12 + 84 + 32 = 800 \text{ kg/mol}$

$$V_{ar}^r = \frac{(86,9 \text{ moles } O_2) \times (22,84 \text{ Nm}^3/\text{mol } O_2)}{800 \text{ kg}}$$

$$V_{ar}^r = 2,432 \text{ Nm}^3/\text{kg comb.}$$

3. Volume dos gases de combustão

Novamente utilizando a expressão (i) e considerando os seguintes dados temos:

. Volume molar de O_2 . $22,39 \text{ Nm}^3/\text{mol}$

. Volume molar de CO_2 . $22,26 \text{ Nm}^3/\text{mol}$

. Volume molar de CO . $22,48 \text{ Nm}^3/\text{mol}$

. Volume molar de N_2 . $22,40 \text{ Nm}^3/\text{mol}$

. Volume molar de SO_2 . $22,40 \text{ Nm}^3/\text{mol}$

$$V_g^r = \frac{(48,6 \times 22,26 + 8,4 + 22,48 + 22,40 + 42 \times 22,40 + 20 \times 22,39 + 326,7 \times 22,4)}{800}$$

$$V_g^r = 12,5 \text{ Nm}^3/\text{kg comb.}$$

4. Consumo de Combustível

O cálculo do consumo de combustível por definição se obtém pela fórmula:

$$B = \frac{Q_u}{PCI \cdot \eta}$$

onde $Q_u = D (h_v - h_a)$

Temos como dados invariáveis do projeto os seguintes dados:

$$\eta = 0,87$$

$$PCI = 9526 \text{ kcal/kg}$$

$$P_v = 10 \text{ kgf/cm}^2 \} \rightarrow h_v = 650 \text{ kcal/kg}$$

Saturado

$$T_a = 60^\circ\text{C} \rightarrow h_a = \text{kcal/kg}$$

$$D = 5000 \text{ kg vapor/h}$$

$$B = \frac{5000 (650 - 60)}{9526 \times 0,87}$$

$$\therefore B = 356 \text{ kg comb./h}$$

5. Dimensionamento da fornalha

Segundo a apostila do Professor Hildo Pera temos a seguinte fórmula para o volume da câmara de combustível (V_c):

$$V_c = \frac{B \times PCI}{K}$$

A carga na fornalha para óleo combustível é $K = 1,3 \times 10^5$

$$\text{Portanto temos: } V_c = \frac{356 \times 9526}{730\,000}$$

$$\therefore V_c = 4,645 \text{ m}^3$$

Baseado no comprimento de chama temos:

$$L = 3,93 \text{ m}$$

$$\text{Lembrando que } V_c = \frac{\pi d^2}{4} L$$

$$\text{temos: } 4,645 = \frac{\pi d^2}{4} \times 3,93$$

$$\therefore d = 1,23 \text{ m}$$

6. Cálculo dos Fluxos de Calor

O calor total (Q_t) desenvolvido na fornalha por hora é dado pela expressão:

$$Q_t = B \times \text{PCI} + V_{\text{ar}}^r C_{\text{par}} (T_{\text{aq}} - T_{\text{ar}})$$

$$Q_t = 356 \times 9526 + 356 \times 2,432 \times 0,33 (180 - 25)$$

$$Q_t = 3.525.454 \text{ kg cal/h}$$

A superfície irradiada exposta a irradiação luminosa (projeção ortogonal) é a seguinte:

$$S_{\text{irr}} = 2 dL + \frac{\pi d^2}{4}$$

$$S_{\text{irr}} = 2 \times 1,23 \times 3,93 + \pi \times 1,23^2 / 4$$

$$\therefore S_{\text{irr}} = 10,86 \text{ m}^2$$

De posse da superfície irradiada podemos então calcular a superfície reduzida.

$$S_{red} = \frac{1000 \times S_{irr} \times C}{4 \frac{V^r}{g}}$$

onde $C = \xi C_n$

A constante do corpo negro é 4,8.

Nesse valor da constante já estamos considerando não somente a transferência de calor por irradiação luminosa, mas também a transferência de calor por irradiação gasosa, principalmente de CO_2 e do H_2O que são substâncias presentes nos produtos da combustão. O valor de ξ é de 0,75 para as superfícies metálicas.

$$C = 0,75 \times 4,8 = 3,6$$

Voltando à expressão da superfície reduzida temos:

$$S_{red} = \frac{1000 \times 10,86 \times 3,6}{4 \times 12,5 \times 356} = 2,20 \text{ m}$$

Para o cálculo da temperatura de equilíbrio resolvemos aplicar o método de Rosin e Theling por ser o mais prático. Esse método considera a aplicação de âbacos.

$$m = 1,1$$

$$Q_t / V_g^r = 792$$

âbaco
→

$$T_e = 1150^\circ C$$

$$S_{red} = 2,20 \text{ m}$$

$$PG = 9526 \text{ kcal/kg}$$

Para o cálculo do valor residual vamos calcular a entalpia residual a partir dos seguintes dados que são introduzidos em outro âbaco.

O calor de convecção fica então:

$$Q_{\text{conv}} = D (h_v - h_a) - Q_{\text{irr}}$$

$$Q_{\text{conv}} = 5000 (650 - 60) - 1\,656\,454$$

$$Q_{\text{conv}} = 1293546 \text{ kcal/h}$$

7. Dimensionamento do feixe de convecção

O calor cedido por um fluido gasoso a um corpo sólido é governado pela seguinte equação geral:

$$Q_{\text{conv}} = \alpha_c S \Delta T \quad (2)$$

Segundo as considerações de Skack e Musselt, o coeficiente de transmissão de calor de gases quentes circulando no interior de tubos é da do pela seguinte expressão:

$$\alpha_c = 23,7 L^{-0,05} d^{-0,16} v^{0,79} . b \quad (1)$$

Os valores da velocidade dos gases no tubo deve ficar entre 10 a 24 m/s. No cálculo de uma série de caldeiras, atribui-se a velocidade me nor (10 m/s) à caldeira de menor capacidade e se distribui a faixa de ve locidades nas capacidades maiores. Assim sendo podemos escrever $V = 5 + \frac{D}{1000}$

$$[D] = \text{kg vapor/h}$$

$$[V] = \text{m/s}$$

Como nossa descarga é de 5000 kg vapor/h temos:

$$V = 10 \text{ m/s}$$

$$T_e = 1150^\circ\text{C}$$

$$PQI = 9526 \text{ kcal/kg}$$

$$h_r = 420 \text{ kcal/Nm}^3$$

$$m = 1,1$$

De posse da entalpia residual podemos calcular o valor residual pela multiplicação com o volume dos gases da combustão:

$$Q_r = h_r V_g^r$$

$$Q_r = 420 \frac{\text{kgcal}}{\text{Nm}^3} \times (356 \times 12,5) \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

$$\therefore Q_r = 1\,869\,000 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Através de um balanço térmico na fornalha podemos relacionar o calor total, residual e de irradiação. Desprezando-se o calor de condução através das paredes da fornalha em fase aos outros calores temos:

$$Q_{irr} = Q_t - Q_r$$

$$Q_{irr} = 1\,656\,454 \text{ kcal/h}$$

A água que entra na caldeira necessita de um calor útil (Q_u) que nada mais é do que o produto da descarga de vapor (D) pela diferença de entalpias entre o vapor saturado que está saindo e a água que está entrando ($h_v - h_a$).

Esse valor útil é ganho pela água através dos fluxos de calor por irradiação proveniente da fornalha e do fluxo de calor por convecção proveniente do feixe de tubos.

Assim, senão podemos escrever

$$Q_u = Q_{conv} + Q_{irr}$$

O comprimento da tubulação é 20% maior que o comprimento da câmara de combustão como se vê no desenho da caldeira (Parte 6).

$$L = 1,2 \times 3,93 = 4,72\text{m}$$

Para o cálculo de "b" precisamos saber a temperatura na saída do feixe. O calor na saída do feixe é obtido pelo seguinte balanço.

$$Q_{\text{saída feixe}} = Q_r - Q_{\text{conv}} = 1\,869\,000 - 1\,293\,546$$

$$Q_{\text{saída feixe}} = 575\,454 \text{ kcal/h}$$

Por outro lado sabemos que:

$$Q_{\text{saída feixe}} = V_g^r \times h_{sf}$$

$$575\,454 = 356 \times 12,5 \times h_{sf}$$

$$\therefore h_{sf} = 129 \text{ kcal/Nm}^3$$

Lembrando que $h_{sf} = C_p T_{sf}$ temos:

$$129 = 0,33 T_{sf} \quad \therefore T_{sf} = 391^\circ\text{C}$$

A temperatura média dos gases fica sendo:

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{1150 + 391}{2} = 770,5^\circ\text{C}$$

Entrando na tabela da apostila do Professor Hildo Pera temos:

$$b = 0,0805$$

Substituindo os valores em (1) vem:

$$\alpha_c = 23,7 \times 4,72^{-0,05} \times d^{-0,16} \times 10^{0,79} \times 0,0805$$

$$\alpha_c = \frac{10,89}{d^{0,16}} \quad (2)$$

Por outro lado a velocidade dos gases no tubo se relaciona com as seguintes variáveis:

$$v = \frac{V_g^r f}{3600 \times A_{esc}}$$

onde $f = 1 + \frac{T_m}{273} = 1 + \frac{770,5}{273} = 3,82$

$$A_{esc} = n \frac{\pi d^2}{4}$$

Substituindo temos:

$$10 = \frac{356 \times 12,5 \times 3,82}{3600 \times n \frac{\pi d^2}{4}}$$

$$n d^2 = 1,66 \quad (3)$$

A diferença logarítmica de temperatura é a seguinte:

$$100^\circ\text{C} \qquad 100^\circ\text{C}$$

$$1150^\circ\text{C} \qquad 391^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \frac{(1150 - 100) - (391 - 100)}{P_n \frac{1150 - 100}{391 - 100}} = 591^\circ\text{C}$$

Substituindo os valores e a expressão (3) em (2) temos:

$$1293546 = \frac{10,89}{d^{0,16}} \cdot n \pi d 4,72 \times 591$$

$$nd^{0,84} = 13,55 \quad (4)$$

Finalmente de (3) e (4)

$$d = 4''$$

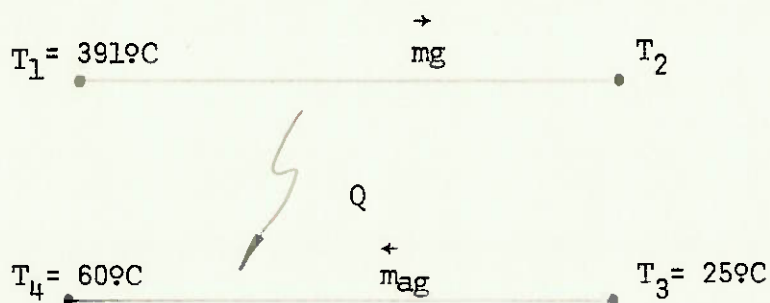
$$n = 140$$

$$L = 4,72 \text{ m}$$

DIMENSIONAMENTO DO ECONOMIZADOR

Os fatores que intervêm na seleção de um economizador são: volume, temperatura e velocidade dos gases de combustão; velocidade da água no interior dos tubos; temperatura de entrada e saída da água.

As condições dos gases de combustão na entrada do economizador são as mesmas da saída do feixe de convecção. Esquematizando temos:



CÁLCULO DO CALOR TROCADO Q

Primeira Lei: $Q = m_{ag} (h_4 - h_3)$

$$m_{ag} = D = 5000 \text{ kg/h}$$

$$T_4 = 60^\circ\text{C} \rightarrow h_4 = 60 \text{ kcal/kg}$$

$$T_3 = 25^\circ\text{C} \rightarrow h_3 = 25 \text{ kcal/kg}$$

$$Q = 175000 \text{ kcal/h}$$

CÁLCULO DE T_2

$$\text{Primeira Lei: } Q = V_g^r C_p (T_1 - T_2)$$

$$V_g^r = 12,5 \times 356 = 4450$$

Substituindo vem:

$$175000 = 4450 \times 0,33 (391 - T_2)$$

$$\therefore T_2 = 272^\circ\text{C}$$

CÁLCULO DO DIÂMETRO E COMPRIMENTO DOS TUBOS

Aplicando a lei de transferência de calor por convecção temos:

$$Q_{\text{conv}} = \alpha_c S \Delta T_{\text{log}} \quad (1)$$

Segundo Müzinger temos:

$$d_c = 23,7 L^{-0,05} d^{-0,16} v^{0,79} b$$

Como pretende-se aplicar a tiragem induzida a velocidade dos gases foi adotada como 18 m/s.

O coeficiente b em função da temperatura média é:

$$T_m = \frac{391 + 272}{2} = 331,5^\circ\text{C}$$

Utilizando a tabela do apêndice B temos:

$$b = 0,111$$

$$\therefore d_c = 26 L^{-0,05} d^{-0,16} \quad (2)$$

A variação da temperatura logarítmica é a seguinte:

$$\Delta T_{\log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(391 - 272) - (60 - 25)}{\ln \frac{391 - 272}{60 - 25}}$$

$$\Delta T_{\log} = 69^\circ\text{C} \quad (3)$$

Substituindo (3) e (2) em (1) vem:

$$175000 = \frac{26}{1^{0,05} d^{0,16}} \times n \pi d L 60$$

$$\therefore d^{0,84} L^{0,95} = 31$$

Adotamos: $d = 50 \text{ mm}$

$L = 3 \text{ m}$

$n = 135$

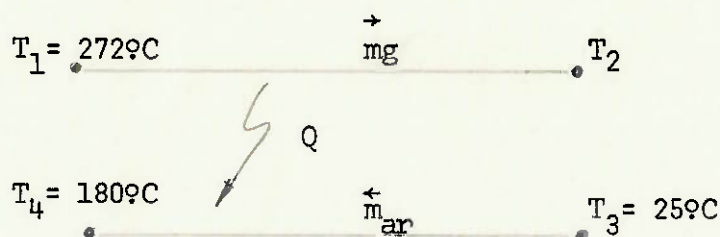
DIMENSIONAMENTO DO PRÉ-AQUECEDOR

Na seleção de um pré-aquecedor de ar muitos são os fatores intervenientes. Como sempre o fator econômico se sobrepuja aos demais. Genericamente, constatou-se que para pequenas e médias unidades geradoras de vapor, o pré-aquecedor de ar tubular constitui a melhor solução.

Adotamos então, o pré-aquecedor de ar tubular. Na entrada da fornalha a temperatura é de 180°C . Essa temperatura foi adotada segundo a referência [1] mediante o tipo de combustível (óleo) e as próprias carac-

risticas da caldeira. A temperatura de entrada do ar é a temperatura ambiente (25°C). A temperatura de entrada dos gases da combustão é a mesma da saída do economizador.

Esquematisando temos:



CÁLCULO DO CALOR TROCADO Q

Primeira Lei: $Q = m_{ar}(h_4 - h_3)$

$$h_4 - h_3 = C_{Par} (T_4 - T_3) = 0,24 (180 - 25) = 37,2 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$m_{ar} = \rho_{ar} \dot{V}_{ar} \quad \left\{ \begin{array}{l} \rho_{ar} = \frac{P}{RT} = \frac{10000}{29,27 \times 375,5} = 0,91 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \dot{V}_{ar} = \dot{V}_g^r \times B = 2,432 \times 356 = 866 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \end{array} \right.$$

Logo $Q = (0,91 \times 866) \times 37,2$

$$\therefore Q = 29.316 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

CÁLCULO DE T₂

Primeira Lei: $Q = m_g C_g (T_1 - T_2)$

Substituindo temos:

$$29316 = (12,5 \times 356) \times 0,33 \times (272 - T_2)$$

$$\therefore T_2 = 252^\circ\text{C}$$

CÁLCULO DO DIÂMETRO E COMPRIMENTO DOS TUBOS

Das leis de transferência de calor temos:

$$Q_{\text{conv}} = d_c S \Delta T_{\text{log}} \quad (1)$$

Como se trata de gases quentes circulando por fora dos tubos em fluxo paralelo, podemos utilizar, segundo Müzinger, a expressão abaixo onde "d" passa a ser o diâmetro hidráulico.

$$d_c = 23,7 L^{-0,05} d^{-0,16} v^{0,79} b$$

A velocidade dos gases é a mesma da saída do economizador:

$$v = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

O coeficiente b é função da temperatura média

$$T_m = \frac{272 + 252}{2} = 262^\circ\text{C} \rightarrow b = 0,117$$

$$\therefore d_c = 27,2 L^{-0,05} d^{-0,16} \quad (2)$$

A variação de temperatura logarítmica é a seguinte:

$$\Delta T_{\text{log}} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(391 - 371) - (180 - 25)}{\ln \frac{391 - 371}{180 - 25}}$$

$$\therefore \Delta T_{\text{log}} = 66^\circ\text{C} \quad (3)$$

Substituindo (3) e (2) em (1) vem:

$$29316 = \frac{27,2}{L^{0,05} d^{0,16}} \cdot n \pi d L 66$$

$$n d^{0,84} L^{0,95} = 5 \quad (3)$$

Considerando o ar dentro dos tubos, queremos que ele tenha uma velocidade de 18 m/s e então:

$$V = \frac{v_{ar}^r \cdot f}{3600 \cdot A_{esc}}$$

onde $f = 1 + \frac{T_m}{273} = 1 + \frac{102,5}{273} = 1,3755$

$$18 = \frac{5000 \times 2,432 \times 1,3755}{3600 \times n \times \frac{\pi d^2}{4}}$$

$$nd^2 = 0,327 \quad (4)$$

O livro do Shields recomenda para tubos do pré-aquecedor, diâmetros externos variando entre 38mm e 76mm.

$$d = 33 \text{ mm}$$

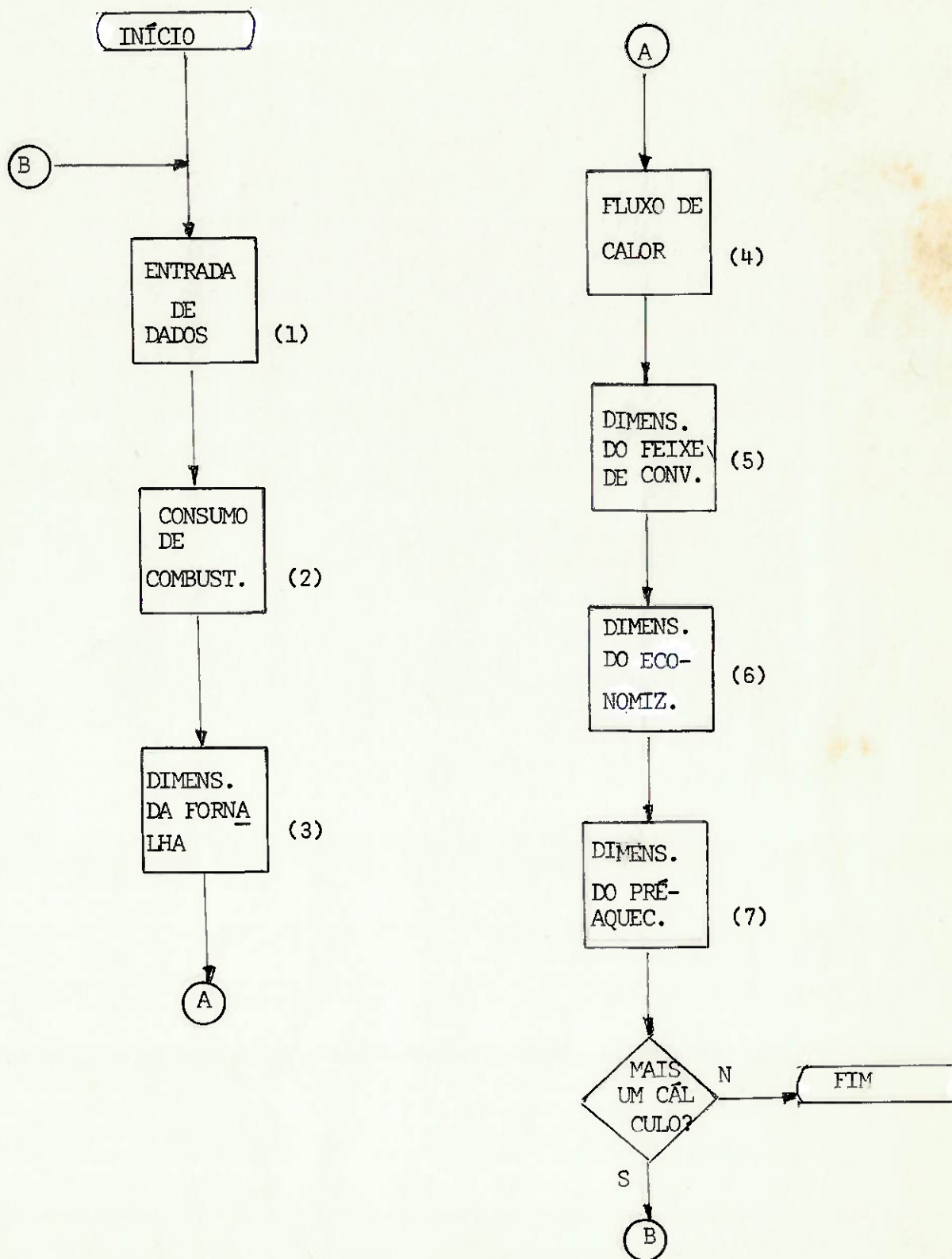
$$L = 2 \text{ m}$$

$$n = 41$$

V - PLANEJAMENTO DO ALGORITMO

Baseado no dimensionamento da caldeira de 5000 kg vapor por hora feita no ítem anterior, vamos especificar um algoritmo que executa esse dimensionamento para uma capacidade qualquer entre 5000 a 15000 kg vapor por hora.

O esquema modularizado do algoritmo é o seguinte:



Cada bloco executa as seguintes operações:

BLOCO 1: Entrada de dados

Os únicos dois dados que entram no cálculo são os seguintes: descarga de vapor (D) e a temperatura do ar na entrada da fornalha (T_{ag}), caso se deseje um pré-aquecedor de ar. Os limites e as unidades dessas variáveis são:

$$\begin{aligned} \cdot \quad 5000 \leq D \leq 15000 & \quad [D] = \text{kg vapor/h} \\ \cdot \quad 120 \leq T_{ag} \leq 230 & \quad [T_{ag}] = ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

As outras variáveis que fazem parte do cálculo não representam dados de entrada, mas sim parâmetros de projeto previamente especificados pelo orientador Prof. Hildo Pera. Estes parâmetros encontram-se no item III, deste trabalho (Dados de Projeto) e representam constantes no programa deseenvolvido em BASIC. Se o usuário necessitar de um dimensionamento que envolve parâmetros diferentes, o programa atende ainda a esta necessidade , bastando que se altere os parâmetros desejados.

BLOCO 2: Consumo de Combustível

O combustível utilizado é o óleo BPF cujas especificações técnicas encontram-se no apêndice A. Dessas especificações obtem-se o poder calorífico inferior (PCI). Os dados utilizados são os seguintes:

- Rendimento

$$\text{Rend} = 0,87$$

- Poder calorífico inferior

$$\text{PCI} = 9526 \text{ kcal/kg}$$

- . Entalpia do vapor

$$HV = 650 \text{ kcal/kg}$$

- . Entalpia da água

$$HA = 60 \text{ kcal/kg}$$

- . Consumo de combustível

$$B = \frac{D \times (HV - HA)}{PCI \times \text{Rend}} \quad [B] = \frac{\text{kg comb.}}{h}$$

BLOCO 3: Dimensionamento da fornalha

Neste bloco é executado o dimensionamento da fornalha, ou seja, a especificação do comprimento (LF) e do diâmetro (DF).

- . Volume da câmara de combustão

$$VC = \frac{B \times PCI}{K}$$

onde $K = 7,3 \times 10^5$

- . Diâmetro da fornalha

$$DF = \left(\frac{4 \times VC}{\pi \times LF} \right)^{1/2} \quad [DF] = m$$

onde $\pi = 3,14159$

- . Comprimento da fornalha

$$LF = 3,93 \quad [LF] = m$$

de acordo com o comprimento da chama

BLOCO 4: Cálculo dos fluxos de calor

Os fluxos de calor relevantes para o cálculo são: calor total (QT), calor residual (QR), calor de irradiação (QIR), calor de convecção

(QCV).

a) Calor Total

$$QT = B (PCI + VAR \times CP \times (TAQ - TAA))$$

onde: VAR= volume do ar real=

$$= 2,432 \text{ Nm}^3/\text{kg comb.}$$

TAA= temperatura do ar ambiente=

$$= 25^\circ\text{C}$$

CP = calor específico a pressão constante=

$$= 0,33$$

b) Calor Residual

— SIR= superfície de irradiação=

$$= 2 \times DF \times LF + PI \times (DF \times 2)/4$$

— SRD= superfície reduzida=

$$= \frac{1000 \times SIR \times EPS \times CN}{4 \times VGR \times B}$$

onde: VGR= volume dos gases reais=

$$= 12,5 \text{ Nm}^3/\text{kg comb}$$

CN = constante do corpo negro=

$$= 4,8$$

EPS= emissividade=

$$= 0,75$$

— A temperatura de equilíbrio (TE) se obtém das tabelas do apêndice B. Em termos computacionais é feita uma interpolação linear utilizando subrotinas com os seguintes dados:

$$TE = \text{subrotina graf. 1 } (M, QT/(B \times VGR), SRD, PCI)$$

onde: $M =$ excesso de ar $= 1,1$

— A entalpia residual é obtida de forma análoga à temperatura de equilíbrio, utilizando as tabelas do apêndice C.

$HR =$ subrotina graf.2 (TE, M, PCI)

— $QR = HR \times B \times VGR$

c) Calor de irradiação

$$QIR = QT - QR$$

d) Calor de convecção

$$QCV = D (HV - HA) - QIR$$

BLOCO 5: Dimensionamento do feixe de convecção

Neste bloco executa-se o dimensionamento do feixe de tubos, ou seja, a especificação do número de tubos N, e do diâmetro dos tubos D.

. Velocidade dos gases

Adotamos velocidades entre 10 a 20 m/s de acordo com a descarga de vapor exigida.

$$V = 5 + \frac{D}{1000}$$

. Comprimento da tubulação do feixe de convecção

$$LT = K2 \times LF$$

onde $K2 = 1,2$

. Calor na saída do feixe

$$QSF = QR - QCV$$

. Entalpia na saída do feixe

$$HSF = QSF / (B \times VGR)$$

. Temperatura da saída do feixe

$$TSF = HSF / CP$$

. Temperatura média

$$TM = (TSF + TE) / 2$$

. Coeficiente B

O coeficiente B é obtido através de interpolação linear na tabela do apêndice C.

$$BE = \text{Tabela } (TM)$$

. Coeficiente F

$$F = 1 + TM / 273$$

- Diferença logarítmica de temperatura

$$DT = \frac{(TE - 100) - (TSF - 100)}{\ln \frac{(TE - 100)}{(TSF - 100)}}$$

- Cálculo do diâmetro e do número de tubos

$$ND2 = \frac{900 \times V \times PI}{VGR \times B \times F}$$

$$DTU = \left[\frac{ND2}{\left(\frac{QCV}{23,7 \times PI \times LT^{0,95} \times V^{0,79} \times BE \times DT} \right)} \right]^{1/1,16}$$

$$N = ND2 / (DTU)^2$$

BLOCO 6: Dimensionamento do economizador

Neste módulo o nosso objetivo é determinar diâmetro, comprimento e número de tubos do economizador.

- . Calor trocado no economizador

$$QEC = D \times (H4 - H3)$$

onde: H4= entalpia da água na saída do economizador=

$$= 60 \text{ kcal/kg}$$

H3= entalpia da água na entrada do economizador=

$$= 25 \text{ kcal/kg}$$

- . Temperatura na saída dos gases

$$T_g = T_1 - QEC / (VGR \times B \times CP)$$

- . Temperatura média

$$TME = (T_2 + T_1) / 2$$

- . Coeficiente B

$$BEC = \text{Tabela (TME)}$$

Esta tabela está no apêndice C.

- . Diferença de temperatura logarítmica

$$DTE = \frac{(T_1 - T_2) - (T_4 - T_3)}{\ln \frac{T_1 - T_2}{T_4 - T_3}}$$

onde: T₄= temperatura na saída da água= 60°C

T₃= temperatura na entrada da água= 25°C

- . Cálculo do número de tubos (NEC), comprimento dos tubos (LEC), diâmetro dos tubos (DEC).

$$NEC \times (DEC)^{0,84} \times (LEC)^{0,95} = \frac{QEC}{23,7 \times VE^{0,79} \times BEC \times PI \times DTE}$$

onde: VE= velocidade dos gases= $18 \frac{m}{s}$

BLOCO 7: Dimensionamento do pré-aquecedor

Novamente, neste módulo buscamos determinar o diâmetro, comprimento e número de tubos.

- . Cálculo da vazão de ar

$$MAR = \frac{P}{R \times (TAQ \times TAA)/2} \times VAR \times B$$

onde: P= pressão do ar= 10.000 kgf/m²

- . Cálculo do calor trocado

$$QPA = MAR (H4A - H3A)$$

- . Cálculo da temperatura de saída dos gases

$$T2A = T1A - QPA / (VGR \times B \times CP)$$

- . Temperatura média

$$TMP = (T2A + T1A) / 2$$

- . Coeficiente B

$$BEP = \text{Tabela (TMP)}$$

Esta tabela está no apêndice C.

- . Diferença de temperatura logarítmica

$$DTP = \frac{(T2A - T1A) - (T4A - T3A)}{\ln \frac{T1A - T2A}{T4A - T3A}}$$

- . Cálculo do número de tubos (NPA), diâmetro dos tubos (DPA) e do comprimento dos tubos (LPA)

$$NPA \times (DPA)^{0,84} (LPA)^{0,95} = \left(\frac{QPA}{23,7 \times VPO^{0,79} \times BEP \times PI \times DTP} \right)$$

VI CODIFICAÇÃO DO ALGORITMO

```
10 X=1.2
20 LF=3.93
30 CPAR=.24
40 T3=25
50 T4=60
60 K2=1.2
70 H4=60
80 H3=25
90 VE=18
100 K=730000!
110 P=10000
120 R=29.27
130 VP=18
140 PI=3.14159
150 VAR=2.432
160 VGR=12.5
170 CN=4.8
180 EPS=.75
190 TAA=25
200 CP=.33
210 REND =.87
220 PCI=9526
230 HV=650
240 HA=60
250 CLS
260 A$="=====
=====
270 B$="!!
!!"
280 PRINT A$
290 PRINT
300 PRINT
310 PRINT TAB(14) "PROGRAMA DE DIMENSIONAMENTO DE UMA SERIE "
320 PRINT TAB(19) "SERIE DE CALDEIRAS A OLEO BPF"
330 PRINT
340 PRINT " 1. Dados de entrada"
350 PRINT
360 INPUT " 1.1. Descarga de vapor (kg/h)";D
370 INPUT " 1.2. Temperatura do ar na entrada da fornalha (C)";TAQ
380 PRINT
390 PRINT " 2. Consumo de combustivel"
400 PRINT
410 PRINT " 2.1 Rendimento :";REND
420 PRINT " 2.2 Poder calorifico inferior :";PCI
430 PRINT " 2.3 Entalpia do vapor :";HV
440 PRINT " 2.4 Entalpia da agua :";HA
450 PRINT
```

```

460 B=D*(HV-HA)/(PCI*REND)
470 PRINT "          Consumo de combustivel :";B
480 PRINT
490 PRINT
500 AA$="          TECLE [ENTER] PARA PROSEGUIR"
510 PRINT AA$
520 PRINT A$
530 INPUT XX
540 CLS
550 PRINT A$
560 PRINT
570 PRINT "  3. Dimensionamento da fornalha"
580 PRINT
590 VC=B*PCI/K
600 PRINT "          3.1 Volume da camara de combustao (m3):";VC
610 DF=(4*VC/(PI*LF))^(1/2)
620 PRINT "          3.2 Diametro da fornalha (m):"DF
630 PRINT "          3.3 Comprimento da fornalha (m):";LF
640 PRINT
650 PRINT "  4. Calor total"
660 PRINT
670 PRINT "          4.1 Volume do ar real (Nm3/kgcomb.):";VAR
680 PRINT "          4.2 Temperatura do ar ambiente (C):";TAA
690 PRINT "          4.3 Calor especifico a pressao constante (Kgcal/m3):";CP
700 QT=B*(PCI+VAR*CP*(TAQ-TAA))
710 PRINT "          Calor total (Kgcal/Kcomb.):";QT
720 PRINT
730 PRINT "  5. Calor residual"
740 PRINT
750 SIR=2*DF*LF+PI*(DF*2)/4
760 PRINT "          5.1 Superficie de irradiacao (m2):";SIR
770 GOSUB 1640
780 PRINT "          5.2 Temperatura de equilibrio :";TE
790 GOSUB 1660
800 PRINT "          5.3 Entalpia residual :";HR
810 QR=HR*B*VGR
820 PRINT "          Calor residual:";QR
830 PRINT AA$
840 PRINT A$
850 INPUT XX
860 CLS
870 PRINT A$
880 PRINT
890 QIR=QT-QR
900 QCV=D*(HV-HA)-QIR
910 PRINT "  6. Calor de irradiacao :";QIR;"  Calor de conveccao :";QCV
920 QCV=D*(HV-HA)-QIR
930 PRINT
940 PRINT "  7. Dimensionamento do feixe de conveccao"
950 PRINT
960 V=S+D/1000
970 PRINT "          7.1 Velocidade dos gases :";V

```

```

980 LT=K2*LF
990 PRINT "      7.2 Comprimento da tubulacao :";LT
1000 QSF=QR-QCV
1010 PRINT "      7.3 Calor na saida do feixe :";QSF
1020 HSF=QSF/(B*VGR)
1030 TSF=HSF/CP
1040 TM=(TSF+TE)/2
1050 GOSUB 1680
1060 F=1+TM/273
1070 DT=(TE-TSF)/LOG((TE-100)/(TSF-100))
1080 ND2=900*V*PI/(VGR*B*F)
1090 DTU=(ND2/(QCV/(23.7*PI*(LT^.95)*(V^.79)*BE*DT)))^(1/1.16)
1100 PRINT "      7.4 Diametro da tubulacao :";DTU
1110 PRINT "      7.5 Numero de tubos :";N
1120 PRINT
1130 PRINT "  8. Dimensionamento do economizador"
1140 PRINT
1150 QEC=D*(H4-H3)
1160 PRINT "      8.1 Calor trocado no economizador :";QEC
1170 T2=TSF-QEC/(VGR*B*CP)
1180 TME=(T2+TSF)/2
1190 GOSUB 1680
1200 DTE=(TSF-T2-T4+T3)/LOG((TSF-T2)/(T4-T3))
1210 PRINT "      8.2 Temperatura na saida dos gases :";T2
1220 PRINT "      8.3 Expressao final :";
1230 NDLEC=QEC/(23.7*(VE^.78)*BEC*PI*DTE)
1240 PRINT "      N = numero de tubos"
1250 PRINT "      D = diametro dos tubos"
1260 PRINT "      L = comprimento dos tubos"
1270 PRINT
1280 PRINT AA$
1290 PRINT A$
1300 INPUT XX
1310 CLS
1320 PRINT A$
1330 PRINT
1340 PRINT "  9. Dimensionamento do pre-aquecedor"
1350 PRINT
1360 MAR=P/(R*(TAQ+TAA)/2)*VAR*B
1370 QPA=MAR*CPAR*(TAQ-TAA)
1380 PRINT "      9.1 Calor trocado no pre-aquecedor :";QPA
1390 T2A=T2-QPA/(VGR*B*CP)
1400 TMP=(T2A+T2)/2
1410 GOSUB 1680
1420 DTP=(T2-T2A-TAQ+TAA)/LOG((T2-T2A)/(TAQ-TAA))
1430 NDLPA=QAP/(23.7*(VP^.79)*BEP*PI*DTP)
1440 PRINT "      9.2 Temperatura na saida dos gases :";T2A
1450 PRINT "      9.3 Expressao final :";
1460 PRINT "      N = numero de tubos"
1470 PRINT "      D = diametro dos tubos"
1480 PRINT "      L = comprimento dos tubos"
1490 PRINT

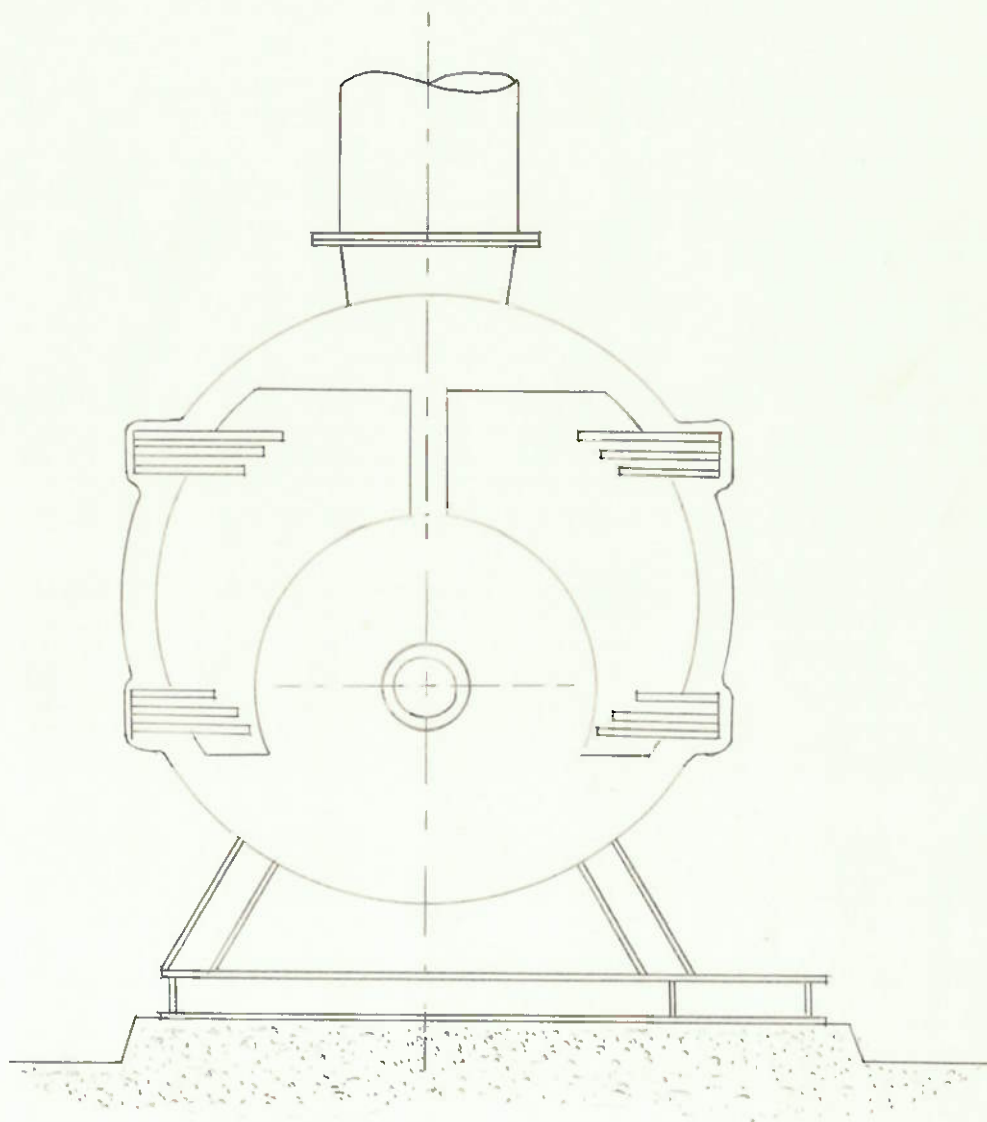
```

0.84 0.95"
N D L =";NDLEC

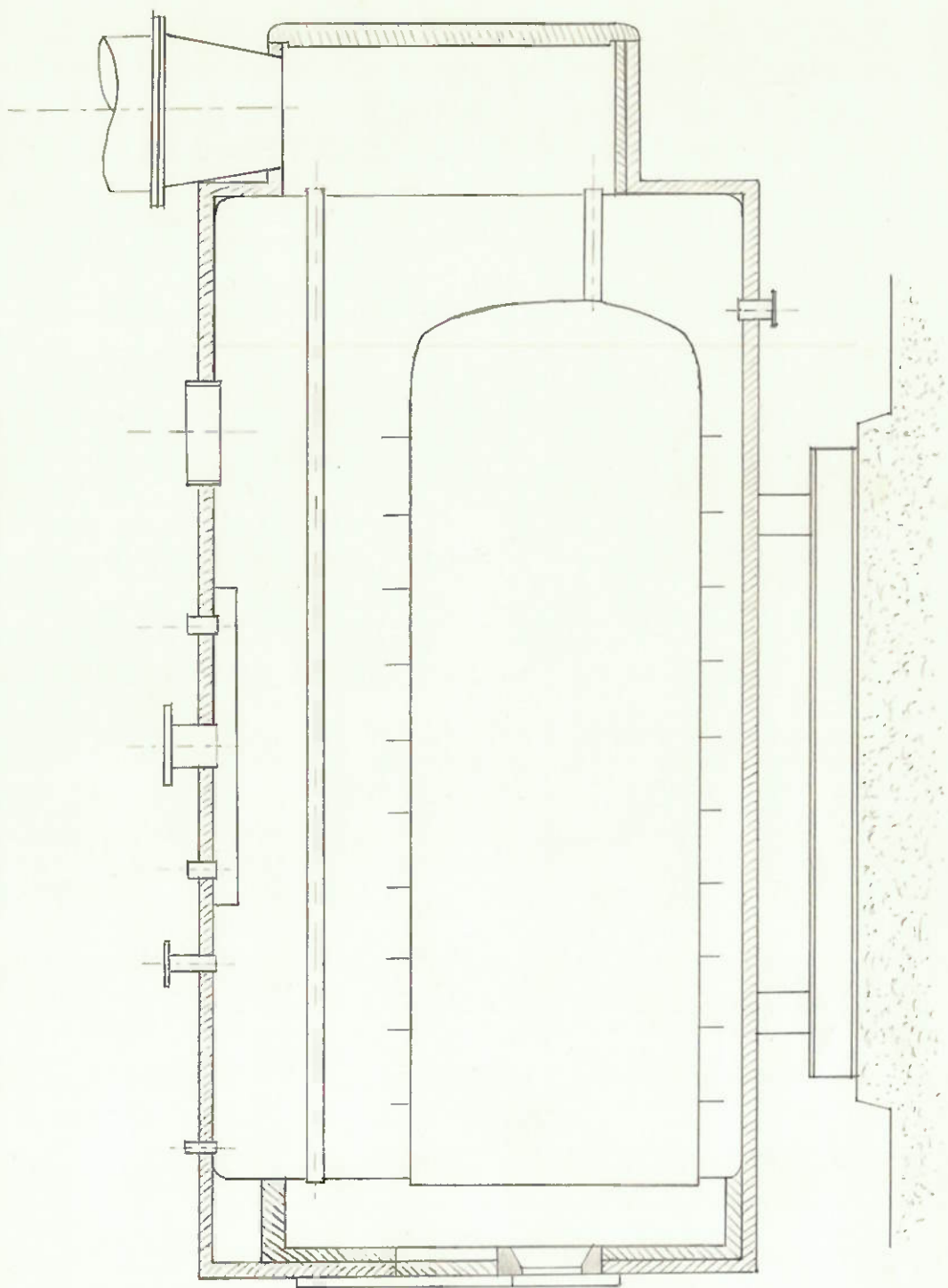
0.84 0.95"
N D L =";NDLPA

```
1500 PRINT A4$
1510 PRINT A$
1520 INPUT XX
1530 CLS
1540 PRINT A$
1550 PRINT
1560 PRINT "          Deseja um novo calculo ?"
1570 PRINT
1580 PRINT "          Sim - 1"
1590 PRINT "          Nao - 2"
1600 INPUT "          Opcao ";OPCAO
1610 ON OPCAO GOTO 10,1630
1620 GOTO 1530
1630 END
```

VII DESENHOS ELABORADOS



Vista frontal



Esquema da caldeira

VIII - LITERATURA CONSULTADA

1. PERA, Hildo Apostila de geradores de vapor.
2. SHIELDS, Carl D. Caldeiras tipos, características e suas funções.
3. DUBBELL - Manual do engenheiro mecânico.
4. VAN WYLEN, Gordon John Fundamentos da termodinâmica clássica.
5. KREITH, Frank Princípios da transmissão de calor.
6. SILVA, Remi B. Manual de termodinâmica e transmissão de calor.
7. SCHACK, A. La transmissione industriale del calore.



SHELL BRASIL S/A (Petróleo)

ÓLEO COMBUSTÍVEL

VALORES OBTIDOS DOS

CERTIFICADOS DE QUALIDADE DA REFINARIA "REPLAN" (PAULÍMIA)

ANO DE 1973

	O T E			B P F			ESPECIF. CNP-CE	
	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	TIPO B	TIPO A
Condição 20/40C	0.9266	0.9106	0.9197	0.9997	0.9624	0.9835	-	-
Ponto de Fulgor, PN, VF, CC	> 120	88	> 120	> 120	81	110	66 min.	66 min.
Ponto de Fluidez, CC	45	30	36	12	0	7	-	-
Teor de Enxofre, % peso	1.00	0.61	0.70	4.8	1.3	3.9	1.0 máx.	5.0 máx.
Cinzas, % peso	0.018	0.003	0.013	0.047	0.015	0.030	-	-
Viscosidade, ppm	47	23	32	139	21	55	-	-
Álcool, ppm.	57	10	21	37	15	26	-	-
Teor de Sais (NaCl), % peso	0.005	0.001	0.002	0.0060	0.0020	0.0036	-	-
Água e Sedimentos, % peso	0.2	trços	0.1	0.80	trços	0.30	2 máx.	2 máx.
Viscosidade SFS, 50°C	139.2	49.5	75.3	398	219	340	400 máx.	400 máx.
Poder Cal. Superior, Kcal/Kg	-	-	10574	-	-	12074	-	-
Poder Cal. Inferior, Kcal/Kg	-	-	9967	-	-	9526	-	-
Composição Centesimal	-	-	C=87.5	-	-	C=85.5	-	2

APÊNDICE B

COMO UTILIZAR AS TABELAS

Este apêndice contém as tabelas de obtenção da temperatura de equilíbrio. Para isso pegue a tabela nº 1 e obtenha o coeficiente C_1 a partir do excesso de ar e do poder calorífico inferior. Em seguida obtenha o coeficiente C_2 na tabela 2 a partir do coeficiente C_1 e do calor total por kg de gás por hora. Com o coeficiente C_2 e com a superfície reduzida entre na tabela 3 e obtenha a temperatura de equilíbrio.

TABELA 1

Tabela do coeficiente C_1 em função do excesso de ar (n) e do poder calorífico inferior (PCI).

	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40
1 000	-	-	-	-	-	-	-	-	0
1500	-	-	-	-	0	2	4	6	8
2 000	-	0	2	4	6	10	12	13	18
2500	0	2	5	8	10	12	15	18	20
3 000	2	5	8	10	12	15	18	20	23
3500	6	8	11	13	16	18	21	23	26
4000	8	11	15	17	19	22	25	27	30
4500	11	14	18	20	22	24	27	30	32
5000	13	17	20	23	25	27	30	33	35
5500	15	19	22	24	26	29	32	35	39
6000	18	20	23	26	28	31	34	37	40
6500	20	23	25	28	30	33	36	39	42
7000	22	25	28	30	33	35	38	41	44
7500	21	26	29	32	35	37	40	43	46
8000	26	28	31	34	37	39	42	45	48
8500	27	30	33	36	38	41	43	46	49
9000	29	31	35	37	40	42	45	47	50
9500	30	33	36	39	42	44	47	50	-
10000	31	34	37	40	43	46	49	-	-

TABELA 1 (continuação)

[illegible]

TABELA 2

Tabela do coeficiente C_2 em função do coeficiente C_1 e do calor total por kg de gás por hora.

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
400	-	-	-	-	-	-	-	-	0	2	4
410	-	-	-	-	-	-	0	3	5	7	9
420	-	-	-	-	1	3	5	8	10	12	14
430	-	-	2	4	6	8	10	13	15	17	19
440	2	4	7	9	11	13	15	18	20	22	24
450	7	9	12	14	16	18	20	23	25	27	29
460	12	14	17	19	21	23	25	28	30	32	34
470	17	19	21	24	26	28	30	33	35	37	39
480	22	24	26	29	31	33	35	38	40	42	44
490	27	29	31	34	36	38	40	43	45	47	49
500	32	34	36	39	41	43	45	48	50	52	54
510	37	39	41	44	46	48	50	53	55	57	59
520	42	44	46	49	51	53	55	58	60	62	64
530	47	49	51	54	56	58	60	63	65	67	69
540	52	54	56	59	61	63	65	68	70	72	74
550	57	59	61	64	66	68	70	73	75	77	79
560	62	64	66	69	71	73	75	78	80	82	84
570	67	69	71	74	76	78	80	83	85	87	89
580	72	74	76	79	81	83	85	88	90	92	94
590	77	79	81	84	86	88	90	93	95	97	99
600	82	84	86	89	91	93	95	98	100	102	104
610	87	89	91	94	96	98	100	103	105	107	109

TABELA 2 (continuação)

Tabela do coeficiente C_2 em função do coeficiente C_1 e do calor total por kg de gás por hora. (cont.)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
620	92	94	96	99	101	103	105	108	110	112	114
630	97	99	101	104	106	108	110	113	115	117	119
640	102	104	106	109	111	113	115	118	120	122	124
650	107	109	111	114	116	118	120	123	125	127	129
660	112	114	116	119	121	123	125	128	130	132	134
670	117	119	121	124	126	128	130	133	135	137	139
680	122	124	126	129	131	133	135	138	140	142	144
690	127	129	131	134	136	138	140	143	145	147	149
700	132	134	136	139	141	143	145	148	150	152	154
710	137	139	141	144	146	148	150	153	155	157	159
720	142	144	146	149	151	153	155	158	160	162	164
730	147	149	151	154	156	158	160	163	165	167	169
740	152	154	156	159	161	163	165	168	170	172	174
750	157	159	161	164	166	168	170	173	175	177	179
760	162	164	166	169	171	173	175	178	180	182	184
770	167	169	171	174	176	178	180	183	185	187	189
780	172	174	176	179	181	183	185	188	190	192	194
790	177	179	181	184	186	188	190	193	195	197	199
800	182	184	186	189	191	193	195	198	200	202	204
810	187	189	191	194	196	198	200	203	205	207	209
820	192	194	196	199	201	203	205	208	210	-	-
830	197	199	201	204	206	208	210	-	-	-	-
840	202	204	206	209	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 3

Tabela da temperatura de equilíbrio em função do coeficiente C_2 e da superfície reduzida.

	0	5	10	15	20	25	30
0,0	1100	1125	1150	1170	1195	1220	1245
0,1	1065	1090	1110	1135	1160	1180	1200
0,2	1040	1060	1085	1005	1125	1145	1165
0,3	1015	1040	1060	1080	1100	1115	1135
0,4	990	1015	1035	1055	1075	1090	1110
0,5	975	995	1015	1030	1050	1065	1085
0,6	960	980	1000	1015	1035	1050	1065
0,7	950	970	985	1000	1015	1030	1045
0,8	940	955	970	985	1000	1015	1025
0,9	930	940	955	970	985	1000	1010
1,0	920	930	945	960	975	985	1000
1,1	900	915	930	945	960	970	980
1,2	890	905	920	935	950	955	970
1,3	880	895	910	925	930	945	955
1,4	870	885	895	910	925	935	950
1,5	855	870	885	900	910	925	935
1,6	850	865	880	890	900	915	925
1,7	845	860	875	880	895	905	915
1,8	840	855	870	875	890	895	910
1,9	835	850	865	870	885	890	905
2,0	820	835	845	855	870	880	890
2,2	815	830	835	845	860	865	875
2,4	800	820	825	835	850	855	885
2,6	790	800	815	825	830	845	850
2,8	780	790	800	810	825	835	840
3,0	765	775	785	800	805	820	825
3,2	760	770	780	790	800	810	820
3,4	750	765	775	785	790	800	810
3,6	-	750	765	770	780	790	800
3,8	-	-	760	765	775	780	790
4,0	-	-	-	755	770	775	780
4,5	-	-	-	-	-	-	755
5,0	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 3 (continuação)

	35	40	45	50	55	60	65
0,0	1265	1290	1315	1340	1365	1390	-
0,1	1225	1245	1265	1290	1310	1325	1350
0,2	1185	1205	1225	1245	1255	1280	1300
0,3	1155	1175	1190	1210	1225	1245	1260
0,4	1125	1140	1160	1180	1195	1210	1225
0,5	1100	1115	1135	1150	1165	1180	1195
0,6	1080	1095	1110	1125	1140	1150	1165
0,7	1060	1075	1090	1105	1120	1130	1145
0,8	1040	1055	1070	1085	1095	1110	1125
0,9	1025	1040	1050	1065	1080	1090	1105
1,0	1015	1025	1040	1050	1060	1080	1090
1,1	995	1010	1020	1035	1045	1060	1070
1,2	980	995	1010	1020	1030	1045	1055
1,3	970	985	995	1005	1020	1030	1045
1,4	960	975	985	995	1005	1020	1030
1,5	945	960	970	985	995	1005	1015
1,6	935	950	960	970	980	990	1005
1,7	925	940	950	960	975	980	990
1,8	920	930	945	955	965	975	985
1,9	915	925	940	945	960	965	975
2,0	900	910	925	930	945	955	965
2,2	890	900	910	920	930	945	950
2,4	875	885	895	905	915	925	935
2,6	860	870	880	890	900	910	920
2,8	850	860	870	875	890	895	905
3,0	835	845	855	865	875	880	895
3,2	825	835	845	855	865	870	880
3,4	820	825	835	845	855	860	870
3,6	810	815	825	835	845	850	860
3,8	800	810	815	825	835	845	850
4,0	795	800	810	815	825	830	840
4,5	770	775	790	800	805	815	820
5,0	-	775	765	775	785	795	800

TABELA 3 (continuação)

	70	75	80	85	90	95	100
0,0	-	-	-	-	-	-	-
0,1	1370	1390	-	-	-	-	-
0,2	1320	1335	1355	1375	1390	-	-
0,3	1280	1295	1310	1325	1340	1360	1375
0,4	1245	1260	1275	1290	1305	1315	1330
0,5	1210	1225	1240	1255	1265	1285	1295
0,6	1180	1195	1210	1225	1240	1250	1260
0,7	1155	1170	1185	1200	1210	1225	1240
0,8	1135	1150	1160	1175	1100	1200	1215
0,9	1115	1130	1145	1165	1170	1180	1195
1,0	1100	1115	1125	1140	1150	1160	1170
1,1	1080	1095	1105	1120	1130	1140	1150
1,2	1065	1080	1090	1100	1110	1125	1135
1,3	1050	1060	1075	1085	1095	1105	1120
1,4	1045	1050	1060	1070	1085	1095	1105
1,5	1025	1040	1050	1060	1070	1080	1090
1,6	1015	1025	1035	1045	1055	1070	1075
1,7	1005	1015	1025	1035	1045	1055	1065
1,8	995	1005	1015	1025	1035	1045	1055
1,9	985	995	1005	1015	1025	1035	1045
2,0	975	985	995	1005	1015	1025	1030
2,2	960	970	975	985	995	1005	1015
2,4	945	950	965	970	975	985	995
2,6	930	940	945	955	965	970	980
2,8	915	925	935	940	950	955	965
3,0	900	910	920	925	935	945	950
3,2	890	900	905	915	920	930	935
3,4	880	885	895	905	910	920	925
3,6	870	875	885	895	900	910	915
3,8	860	865	875	835	890	985	905
4,0	850	855	865	870	875	885	890
4,5	830	835	845	850	855	860	870
5,0	810	815	825	830	835	845	850

TABELA 3 (continuação)

	105	110	115	120	125	130	135
0,0	-	-	-	-	-	-	-
0,1	-	-	-	-	-	-	-
0,2	-	-	-	-	-	-	-
0,3	1370	-	-	-	-	-	-
0,4	1370	1360	1375	1390	1400	-	-
0,5	1305	1320	1335	1350	1360	1375	1390
0,6	1280	1290	1305	1315	1330	1340	1355
0,7	1250	1260	1275	1285	1300	1310	1320
0,8	1225	1240	1250	1260	1275	1280	1295
0,9	1205	1215	1225	1240	1250	1260	1270
1,0	1185	1190	1205	1215	1225	1235	1245
1,2	1165	1175	1185	1195	1205	1215	1225
1,3	1145	1165	1170	1175	1190	1200	1205
1,4	1130	1140	1150	1165	1170	1180	1190
1,5	1115	1125	1135	1150	1155	1165	1175
1,6	1100	1110	1120	1130	1140	1145	1155
1,7	1090	1095	1105	1115	1125	1135	1140
1,8	1075	1085	1095	1105	1110	1120	1130
1,9	1065	1075	1085	1090	1100	1110	1115
2,0	1055	1065	1075	1080	1090	1100	1105
2,1	1045	1055	1060	1070	1075	1085	1095
2,2	1025	1030	1040	1050	1055	1065	1070
2,4	1005	1010	1020	1030	1035	1045	1050
2,6	990	995	1005	1015	1020	1030	1035
2,8	975	980	990	995	1005	1010	1020
3,0	960	970	975	985	990	1000	1005
3,2	945	950	960	965	975	980	990
3,4	935	940	945	955	960	970	975
3,6	920	930	935	945	950	955	970
3,8	910	920	925	935	940	945	955
4,0	900	905	910	915	925	930	940
4,5	875	885	890	985	900	910	915
5,0	855	865	870	875	880	890	895

TABELA 3 (continuação)

	140	145	150	155	160	165	170
0,0	-	-	-	-	-	-	-
0,1	-	-	-	-	-	-	-
0,2	-	-	-	-	-	-	-
0,3	-	-	-	-	-	-	-
0,4	-	-	-	-	-	-	-
0,5	1400	-	-	-	-	-	-
0,6	1370	1380	1390	1400	-	-	-
0,7	1335	1345	1355	1365	1360	1390	1400
0,8	1305	1315	1325	1340	1350	1360	1370
0,9	1280	1295	1305	1315	1325	1335	1345
1,0	1255	1265	1275	1290	1300	1310	1320
1,1	1235	1245	1255	1260	1275	1285	1295
1,2	1215	1225	1235	1245	1255	1265	1275
1,3	1200	1210	1215	1225	1235	1245	1255
1,4	1185	1195	1200	1210	1220	1230	1235
1,5	1165	1175	1185	1195	1200	1210	1220
1,6	1150	1165	1170	1175	1185	1195	1200
1,7	1135	1145	1155	1160	1170	1180	1185
1,8	1125	1135	1135	1150	1150	1160	1175
1,9	1115	1125	1130	1140	1145	1155	1160
2,0	1100	1110	1115	1125	1130	1140	1150
2,2	1080	1090	1095	1100	1110	1115	1125
2,4	1060	1065	1075	1080	1090	1095	1100
2,6	1045	1050	1060	1065	1070	1080	1085
2,8	1025	1035	1040	1050	1055	1060	1070
3,0	1010	1020	1025	1030	1040	1045	1055
3,2	995	1005	1010	1015	1025	1030	1035
3,4	980	995	995	1005	1010	1015	1020
3,6	970	975	985	990	995	1005	1010
3,8	960	965	970	980	985	990	995
4,0	945	950	955	965	970	975	980
4,5	920	930	935	940	945	950	960
5,0	900	910	915	920	925	930	935

TABELA 3 (continuação)

	175	180	185	190	195	200	205	210
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
0,8	1380	1390	1395	-	-	-	-	-
0,9	1355	1360	1370	1380	1390	1395	-	-
1,0	1330	1335	1350	1355	1365	1375	1380	1385
1,1	1300	1310	1320	1325	1335	1340	1350	1355
1,2	1280	1290	1300	1305	1315	1320	1330	1340
1,3	1260	1270	1280	1285	1295	1300	1310	1315
1,4	1245	1250	1260	1270	1275	1280	1290	1295
1,5	1225	1235	1240	1250	1255	1260	1270	1275
1,6	1210	1215	1225	1230	1240	1245	1255	1260
1,7	1195	1200	1210	1215	1225	1230	1240	1245
1,8	1180	1190	1195	1205	1210	1220	1225	1235
1,9	1170	1170	1185	1190	1200	1205	1210	1215
2,0	1155	1160	1180	1175	1180	1190	1195	1200
2,2	1130	1140	1145	1150	1160	1165	1170	1175
2,4	1110	1115	1120	1125	1135	1145	1145	1150
2,6	1090	1100	1105	1110	1115	1125	1130	1135
2,8	1075	1080	1085	1095	1100	1105	1110	1115
3,0	1060	1060	1070	1075	1180	1085	1090	1090
3,2	1040	1045	1050	1055	1060	1065	1070	1075
3,4	1025	1030	1035	1040	1045	1050	1055	1060
3,6	1010	1020	1025	1030	1035	1035	1040	1045
3,8	1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030	1035
4,0	985	995	1000	1005	1010	1015	1015	1020
4,5	965	970	975	980	985	990	995	995
5,0	940	945	950	960	960	965	970	975

APÊNDICE C

COMO UTILIZAR AS TABELAS

Este apêndice contém as tabelas de obtenção da entalpia residual. Para isso procure em uma das 4 tabelas existentes conforme o excesso de ar. Entre com o PCI e a temperatura de equilíbrio e obtenha a entalpia residual.

Excesso de ar de 10%

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10.000
750	280	275	272	268	267	266	265	264	263	262
760	285	278	276	273	272	271	270	269	268	267
770	290	284	280	276	275	274	273	272	271	270
780	295	287	285	281	280	279	278	277	276	275
790	298	292	289	286	285	284	283	282	281	280
800	303	296	293	289	288	287	286	285	284	283
810	306	300	297	293	292	291	290	289	288	287
820	310	304	302	297	296	295	294	293	292	291
830	314	307	305	302	301	300	299	298	297	296
840	318	312	309	306	305	304	303	302	301	300
850	322	316	313	309	308	307	306	305	304	303
860	326	320	317	313	312	311	310	309	308	307
870	330	325	322	316	315	314	313	312	311	310
880	331	328	326	322	321	320	319	318	317	316
890	338	332	329	326	325	324	323	322	321	320
900	342	337	333	329	328	327	326	325	324	323
910	344	341	337	333	332	331	330	329	328	327
920	352	346	341	338	337	336	335	334	333	332
930	355	350	346	342	341	340	339	338	337	336
940	358	353	349	346	345	344	343	342	341	340
950	363	356	352	350	349	348	347	346	345	344
960	366	360	357	354	353	352	351	350	349	348

Excesso de ar de 10%

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
970	372	365	361	358	357	356	355	354	353	352
980	376	369	366	362	361	360	359	358	357	356
990	380	373	369	366	365	364	363	362	361	360
1000	383	377	373	370	368	367	366	365	364	363
1010	388	382	377	374	372	371	370	369	368	367
1020	392	386	382	378	376	375	374	373	372	371
1030	397	390	385	382	380	379	378	377	376	375
1040	401	393	389	386	384	383	382	381	380	379
1050	405	398	393	390	388	387	386	385	384	383
1060	410	402	392	395	393	392	391	390	389	388
1070	414	407	403	399	397	396	395	394	393	392
1080	417	410	406	403	401	400	399	398	397	396
1090	422	415	410	407	405	404	403	402	401	400
1100	427	419	415	411	409	408	407	406	405	404
1110	432	424	426	416	414	413	412	411	410	409
1120	437	428	424	420	410	417	416	415	414	413
1130	440	433	428	424	422	421	420	419	418	417
1140	446	436	432	428	426	425	424	423	422	421
1150	450	441	436	432	430	429	428	427	426	425
1160	455	447	441	437	435	434	433	432	431	430
1170	460	451	445	442	440	439	438	437	436	435
1180	465	455	450	446	444	443	442	441	440	439

Excesso de ar de 10%

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10.000
1190	468	459	454	450	448	447	446	445	444	443
1200	472	464	458	453	451	450	449	448	447	446
1210	477	469	462	459	457	456	455	454	453	452
1220	482	472	468	463	461	460	459	458	457	456
1230	487	477	471	467	465	464	463	462	461	460
1240	490	481	476	472	470	469	468	467	466	465
1250	494	484	479	475	473	472	471	470	469	468
1260	500	488	484	480	478	477	476	475	474	473
1270	504	493	488	484	482	481	480	479	478	477
1280	508	498	492	488	486	485	484	483	482	481
1290	512	502	497	492	490	489	488	487	486	485
1300	517	507	500	496	494	493	492	491	490	489
1310	522	511	505	502	500	499	498	497	496	491
1320	526	517	510	505	503	502	501	500	479	498
1330	530	520	514	509	507	506	505	504	503	502
1340	535	525	520	516	514	513	512	511	510	509
1350	540	530	523	520	518	517	516	515	514	513
1360	545	535	528	524	522	521	520	519	518	517
1370	550	539	532	528	526	525	524	523	522	521
1380	555	544	537	533	531	530	529	528	527	526
1390	560	548	541	537	535	534	533	532	531	530
1400	565	552	546	541	539	538	537	536	535	534

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10.000
750	277	273	270	267	266	265	264	263	262	261
760	282	277	274	272	271	270	269	268	267	266
770	287	281	278	276	275	274	273	272	271	270
780	291	285	282	279	278	277	276	275	274	273
790	296	290	287	283	282	281	280	279	278	277
800	299	293	291	287	286	285	284	283	282	281
810	303	297	295	292	291	290	289	288	287	286
820	307	303	299	296	295	294	293	292	291	290
830	312	306	303	300	299	298	297	296	295	294
840	316	310	307	304	303	302	301	300	299	298
850	320	314	311	307	306	305	304	303	302	301
860	324	318	315	312	311	310	309	308	307	306
870	328	323	319	316	315	314	313	312	311	310
880	332	326	323	319	318	317	316	315	314	313
890	336	330	327	323	322	321	320	319	318	317
900	340	334	332	327	326	325	324	323	322	321
910	344	338	336	332	331	330	329	328	327	326
920	348	343	339	336	335	334	333	332	331	330
930	352	347	344	340	339	338	337	336	335	334
940	356	350	347	343	342	341	340	339	338	337
950	360	354	351	348	347	346	345	344	343	342

Excesso de ar de 20%

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10.000
960	365	358	356	352	351	350	349	348	347	346
970	369	362	359	356	355	354	353	352	351	350
980	373	367	363	359	358	357	356	355	354	353
990	377	370	367	363	362	361	360	359	358	357
1000	380	374	372	367	366	365	364	363	362	361
1010	385	378	375	372	371	370	369	368	367	366
1020	390	382	379	376	375	374	373	372	371	370
1030	393	386	383	379	378	377	376	375	374	373
1040	398	390	387	383	382	381	380	379	378	377
1050	402	395	391	387	386	385	384	383	382	381
1060	407	400	396	392	391	390	389	388	387	386
1070	410	404	400	396	395	394	393	392	391	390
1080	414	407	404	400	399	398	397	396	395	394
1090	419	412	408	404	393	392	391	390	389	388
1100	423	416	412	408	407	406	405	404	403	402
1110	428	421	417	412	411	410	409	408	407	406
1120	433	426	422	417	416	415	414	413	412	411
1130	437	429	426	421	420	419	418	417	416	415
1140	442	433	430	425	424	423	422	421	420	419
1150	446	437	434	429	418	417	416	415	414	413
1160	451	442	438	434	433	432	431	430	429	428
1170	456	447	440	438	437	436	435	434	433	432

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10.000
1180	460	451	447	442	441	440	439	438	437	436
1190	465	455	451	447	446	445	444	443	442	441
1200	469	460	456	450	449	448	447	446	445	444
1210	474	465	460	455	454	453	452	451	450	449
1220	478	469	464	460	459	458	457	456	455	454
1230	482	473	468	464	463	462	461	460	459	458
1240	487	478	473	468	467	466	465	464	463	462
1250	490	481	477	472	471	470	469	468	467	466
1260	497	486	481	477	476	475	474	473	472	471
1270	500	490	485	480	479	478	477	476	475	474
1280	505	494	489	484	483	482	481	480	479	478
1290	508	498	493	488	487	486	485	484	483	482
1300	513	503	498	492	491	490	489	488	487	486
1310	518	507	503	497	496	495	494	493	492	491
1320	523	512	507	501	500	499	498	497	498	495
1330	527	517	510	507	506	505	504	503	502	501
1340	532	520	517	512	511	510	509	508	507	506
1350	536	525	520	515	514	513	512	511	510	509
1360	541	529	525	520	519	518	517	516	515	514
1370	547	534	529	524	523	522	521	520	519	518
1380	550	538	534	528	527	526	525	524	523	522
1390	556	543	538	532	531	530	529	528	527	526
1400	560	547	542	537	536	535	534	533	532	531

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10,000
750	215	271	268	266	265	264	263	262	261	260
760	280	275	273	270	269	268	267	266	265	264
770	284	278	276	274	273	272	271	270	269	268
780	288	284	280	278	277	276	275	274	273	272
790	293	288	285	282	281	280	279	278	277	276
800	297	292	289	286	285	284	283	282	281	280
810	300	296	293	290	289	288	287	286	285	284
820	305	300	297	295	294	293	292	291	290	289
830	309	304	301	298	299	296	295	294	293	292
840	314	308	305	302	301	300	299	298	297	296
850	317	312	308	306	305	304	303	302	301	300
860	322	316	313	310	309	308	307	306	305	304
870	326	320	317	314	313	312	311	310	309	308
880	330	324	321	318	317	316	315	317	313	312
890	334	328	325	322	321	320	319	318	317	316
900	338	332	329	326	325	324	323	322	321	320
910	343	336	332	330	329	328	327	326	325	324
920	347	340	336	334	333	332	331	330	329	328
930	351	345	340	338	337	336	335	334	333	332
940	354	348	344	343	342	341	340	339	338	337
950	358	352	348	347	346	345	344	343	342	341
960	363	357	353	350	349	348	347	346	345	344

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10.000
970	367	360	357	354	353	352	351	350	347	348
980	370	364	360	358	357	356	355	354	353	352
990	375	368	364	362	361	360	359	358	357	356
1000	378	373	368	366	365	364	363	362	361	360
1010	383	377	373	370	369	368	367	366	365	364
1020	387	380	377	374	373	372	371	370	369	368
1030	392	384	380	377	376	375	374	373	372	371
1040	396	388	384	382	381	380	379	378	377	376
1050	400	393	388	385	384	383	382	381	380	379
1060	405	398	393	390	389	388	387	386	385	384
1070	408	402	397	394	393	392	391	390	387	388
1080	412	405	401	399	398	397	396	395	394	393
1090	417	409	405	403	402	401	400	399	398	397
1100	421	413	408	407	406	405	404	403	402	401
1110	427	419	414	411	410	409	408	407	406	405
1120	431	423	418	415	414	413	412	411	410	409
1130	436	427	422	420	419	418	417	416	415	414
1140	440	431	427	424	423	422	421	420	419	417
1150	443	435	430	428	427	426	425	424	423	422
1160	450	440	435	432	431	430	429	428	427	426
1170	453	445	440	437	436	435	434	433	432	431
1180	457	449	444	440	439	438	437	436	435	434

Excesso de ar de 30%

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10.000
1190	462	453	448	445	444	443	442	441	440	439
1200	466	457	452	449	448	447	446	445	444	443
1210	472	462	457	453	452	451	450	449	448	447
1220	476	466	461	458	457	456	455	456	455	454
1230	480	470	465	462	461	460	459	458	457	456
1240	484	474	470	467	466	465	464	463	462	461
1250	487	478	473	470	469	468	467	466	465	464
1260	492	483	477	475	474	473	472	471	470	469
1270	497	487	482	479	478	477	476	475	474	473
1280	501	491	486	483	482	481	480	479	478	477
1290	505	495	490	487	486	485	484	483	482	481
1300	509	500	493	490	489	488	487	486	485	484
1310	513	504	498	495	494	493	492	491	490	489
1320	518	508	503	500	499	498	497	496	495	494
1330	523	512	507	504	503	502	501	500	499	498
1340	527	517	510	508	507	506	505	504	503	502
1350	530	520	513	512	511	510	509	508	507	506
1360	535	524	518	516	515	514	513	512	511	510
1370	540	529	523	520	519	518	517	516	515	514
1380	545	534	527	524	523	522	521	520	519	518
1390	550	538	531	528	527	526	525	524	523	522
1400	553	542	535	532	531	530	529	528	527	526

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
750	274	270	267	264	263	262	261	260	259	258
760	278	274	272	268	267	266	265	264	263	262
770	282	278	275	272	271	270	269	268	267	266
780	287	282	279	276	275	274	273	272	271	270
790	292	287	284	280	279	278	279	276	275	274
800	295	290	287	284	283	282	281	280	279	278
810	300	294	292	288	287	286	285	284	283	282
820	304	299	296	292	291	290	289	288	287	286
830	308	303	300	296	295	294	293	292	291	290
840	312	307	304	300	299	298	297	296	295	294
850	316	310	307	304	303	302	301	300	299	298
860	320	315	312	308	307	306	305	304	303	302
870	324	319	316	312	311	310	309	308	307	306
880	328	323	320	316	315	314	313	312	311	310
890	332	327	323	319	318	317	316	315	314	313
900	336	330	327	323	322	321	320	319	318	317
910	340	334	330	327	326	325	324	323	322	321
920	346	338	334	332	331	330	329	328	327	326
930	350	343	338	336	335	334	333	332	331	330
940	353	347	343	339	338	337	336	335	334	333
950	357	350	347	347	342	341	340	339	338	337
960	361	355	350	348	347	346	345	344	343	342

Excesso de ar de 40%

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
970	365	358	354	352	351	350	349	348	347	346
980	368	362	358	355	354	353	352	351	350	349
990	373	367	362	359	358	357	356	355	354	353
1000	377	370	366	363	362	361	360	359	358	357
1010	381	374	370	367	366	365	364	363	362	361
1020	385	378	374	371	370	369	368	367	366	365
1030	389	383	377	376	375	374	373	372	371	370
1040	394	387	382	379	378	377	376	375	374	373
1050	398	390	385	383	382	381	380	379	378	377
1060	403	395	390	387	386	385	386	385	384	383
1070	407	399	394	390	389	388	387	386	385	384
1080	410	403	398	395	394	393	392	391	390	289
1090	414	407	403	399	398	397	396	395	394	393
1100	419	410	407	407	406	405	404	403	402	401
1110	424	416	411	408	407	406	405	404	403	402
1120	429	420	415	412	411	410	409	408	407	406
1130	433	425	420	417	416	415	414	413	412	411
1140	437	428	424	420	419	418	417	416	415	414
1150	440	433	428	424	423	422	421	420	419	418
1160	447	438	433	429	428	427	426	425	424	423
1170	450	442	437	433	432	431	430	429	428	427
1180	455	447	440	437	436	435	434	433	432	431

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
1190	459	450	445	441	440	439	438	437	436	435
1200	463	454	449	445	444	443	442	441	440	439
1210	469	458	454	450	449	448	447	446	445	444
1220	473	463	458	454	453	452	451	450	449	448
1230	477	468	462	458	457	456	455	454	453	452
1240	481	472	467	463	462	461	466	459	458	457
1250	485	475	470	466	465	464	463	462	461	460
1260	489	480	475	470	469	468	467	466	465	464
1270	494	484	479	474	473	472	471	470	469	468
1280	498	488	483	479	478	477	476	475	474	473
1290	503	492	483	483	482	481	480	479	478	477
1300	507	497	490	485	484	483	482	481	480	479
1310	512	503	494	493	492	491	490	489	488	487
1320	517	507	500	497	496	495	494	493	492	491
1330	521	510	504	502	501	500	499	498	497	496
1340	525	514	508	506	505	504	503	502	501	500
1350	529	518	512	509	508	507	506	505	504	503
1360	533	523	517	513	512	511	510	509	508	507
1370	539	528	521	518	517	516	515	514	513	512
1380	543	532	521	521	520	519	518	517	516	515
1390	547	537	529	526	525	524	523	522	521	520
1400	552	540	533	529	528	527	526	525	524	523

Excessode ar de 50%

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
750	274	268	266	263	362	261	360	359	358	357
760	277	272	270	267	266	265	264	263	262	261
770	282	276	274	271	270	269	268	267	266	265
780	286	280	278	275	274	273	272	271	270	264
790	291	284	282	279	278	277	276	275	274	273
800	295	288	286	283	282	281	280	279	278	277
810	299	292	290	287	286	285	284	283	282	284
820	304	297	294	290	289	288	287	286	285	284
830	307	300	298	295	294	293	292	291	290	289
840	311	304	302	298	297	296	295	294	293	292
850	315	308	306	302	301	300	299	298	297	296
860	319	312	310	307	306	305	304	303	302	301
870	324	317	314	310	309	308	307	306	305	304
880	327	320	318	314	313	312	311	310	309	308
890	331	324	322	318	317	316	315	314	313	312
900	335	328	326	322	321	320	319	318	317	316
910	338	333	329	327	326	325	324	323	322	321
920	343	338	333	330	329	328	327	326	325	324
930	347	340	337	334	333	332	331	330	329	328
940	350	344	340	336	337	336	335	334	333	332
950	354	348	345	342	341	340	339	338	337	336
960	359	353	349	347	346	345	344	343	342	341

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
970	363	357	353	350	349	348	347	346	345	344
980	367	360	357	354	353	352	351	350	349	348
990	370	364	360	357	356	355	354	353	352	351
1000	375	368	364	361	360	359	358	357	356	355
1010	379	373	368	365	364	363	362	361	360	359
1020	383	377	372	370	369	368	367	366	365	364
1030	387	380	376	374	373	372	371	370	369	368
1040	391	384	379	377	376	375	374	373	372	371
1050	395	388	383	380	379	378	377	376	375	374
1060	400	392	387	385	384	383	382	381	380	379
1070	404	397	393	389	388	387	386	385	384	383
1080	408	400	397	393	392	391	390	389	388	387
1090	417	404	400	398	397	396	395	394	393	392
1100	421	408	404	402	401	400	399	398	397	396
1110	421	413	408	407	406	405	404	403	402	401
1120	427	418	413	410	409	408	407	406	405	404
1130	430	422	417	414	413	412	411	410	409	408
1140	434	426	421	418	417	416	415	414	413	412
1150	438	429	424	422	421	420	419	418	417	416
1160	444	434	429	427	426	425	424	423	422	421
1170	448	439	434	431	430	429	428	427	426	425
1180	453	443	438	435	434	433	432	431	430	429

Excesso de ar de 50%

	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
1190	457	447	442	439	438	437	436	435	434	433
1200	460	451	447	443	442	441	440	439	438	437
1210	467	457	450	448	447	446	445	444	443	442
1220	470	460	454	451	450	449	448	447	446	445
1230	474	464	456	455	454	453	452	451	449	448
1240	478	468	463	460	459	458	457	456	455	454
1250	482	473	466	463	462	461	460	459	458	457
1260	487	477	471	468	467	466	465	464	463	462
1279	490	481	475	473	472	471	470	469	468	467
1280	495	485	479	477	476	475	474	473	472	471
1290	500	488	483	480	479	478	477	476	475	474
1300	503	493	487	484	483	482	481	480	479	478
1310	507	497	491	489	488	487	486	485	484	483
1230	510	500	497	493	492	491	490	489	488	487
1330	515	505	500	498	497	496	495	494	493	492
1340	519	508	505	503	502	501	500	499	498	497
1350	523	512	508	506	505	504	503	502	501	500
1360	528	517	513	510	509	508	507	506	505	504
1370	533	521	517	514	513	512	511	510	509	508
1380	537	526	521	518	517	516	515	514	513	512
1390	541	530	526	522	521	520	519	518	517	516
1400	546	534	529	526	525	524	523	522	521	520