

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**MODELO NUMÉRICO PARA SOLUÇÃO TERMO - HIDRÁULICA DE UM
TROCADOR DE CALOR DE CARÇAÇA E TUBOS "U" COM
CHICANAS SEGMENTAIS**

Benedito Dias Baptista Filho

**Dissertação apresentada ao Instituto de
Pesquisas Energéticas e Nucleares como
parte dos requisitos para obtenção do
grau de "Mestre - Área Reactores
Nucleares de Potência e Tecnologia do
Combustível Nuclear".**

Orientador: Ahmet Aydın Konuk

**São Paulo
1979**

MODELO NUMÉRICO PARA SOLUÇÃO TERMO -
HIDRÁULICA DE UM TROCADOR DE CALOR DE
CARCAÇA E TUBOS "U" COM CHICANAS SEG-
MENTAIS.

Autor: *BENEDITO DIAS BAPTISTA FILHO*

Dissertação apresentada ao
Instituto de Pesquisas Energéticas
e Nucleares como parte dos
requisitos para obtenção do
grau de "Mestre - Área Reato-
res Nucleares de Potência e
Tecnologia do Combustível Nucle-
ar"

Orientador: AHMET AYDIN KONUK



Aos meus pais
Benedicto Dias Baptista[†] e Ana Maria Moreno

Agradecimentos

Dr. Ahmet Aydin Konuk

Orientador

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Ao Pessoal do

Centro de Processamento de Dados do IPEN

A todos que direta ou in
diretamente contribuíram
na realização deste trabal
ho.

ABSTRACT

A numerical model has been developed to calculate the flow, pressure and temperature distribution of steady-state for the tube and shell-side fluids in a shell-and-U-tubes heat exchanger with segmental baffles. It was based on the Subchannel Analysis Method. The model, checked with experimental results from one heat exchanger, predicted with good accuracy outlet temperatures for both fluids. The method, implemented in a computer program of low cost and easy application, can be used in the design and performance evaluation of commercial units.

RESUMO

Foi desenvolvido um modelo numérico, baseado no método de Análise de Subcanais, que forneça as distribuições de fluxo, pressões e temperaturas de estado estacionário para os fluidos de carcaça e tubos escoando ao longo de um trocador de calor de carcaça e tubos "U" com chicanas segmentais. O modelo, testado com resultados experimentais de um trocador de calor, reproduziu com alta precisão a troca de calor entre os fluidos. O método, implementado de um programa em FORTRAN IV de alta eficiência e fácil utilização, pode ser utilizado para cálculos de projeto e avaliação de desempenho desses trocadores.

S U M Á R I O

	Pag.
1. INTRODUÇÃO	1
1.1- Trocadores de Calor	1
1.2- Métodos de Cálculo Fornecidos pela Literatura	1
1.3- Objetivos	8
1.4- Modelo e Método de Solução	11
2. ESCOAMENTO DO FLUIDO DE CARÇAÇA	16
2.1- Introdução	16
2.2- Modelo	16
2.3- Equacionamento	19
2.3.1- Conservação de Massa	19
2.3.2- Conservação da Quantidade de Movimento na Direção x	20
2.3.3- Equações de Aproximação para Fluxo Cruzado	24
2.3.4- Condições de Contorno	29
2.4- Método de Solução	31
2.4.1- Método de Linearização	31
2.4.2- Forma Linearizada das Equações	32
2.4.3- Programa e Método de Solução	35
2.5- Distribuição de Velocidades	38
3. ESCOAMENTO DO FLUIDO DOS TUBOS	43
3.1- Introdução	43
3.2- Modelo	43
3.3- Equacionamento	47
3.3.1- Perda de Carga nos Tubos	47
3.3.2- Perda de Carga no "by-pass"	48
3.3.3- Conservação de Massa	48
3.4- Método de Solução	49
3.4.1- Linearização	49

	pag.
3.4.2- Programa e Método de Solução	49
3.5- Distribuição das Velocidades	53
4. DISTRIBUIÇÕES DE TEMPERATURAS	54
4.1- Introdução	54
4.2- Modelo	54
4.3- Equacionamento	56
4.3.1- Conservação de Energia para o Fluido de Carcaça	56
4.3.2- Equação de Energia para o Fluido dos tubos	60
4.4- Método de Solução e Programa	61
4.4.1- Método de Solução	61
4.4.2- Intervalo de Integração Crítico	64
4.4.3- Programação	66
5. FATORES DE ATRITO	69
5.1- Introdução	69
5.2- Fatores de Atrito para Fluxo Cruzado à Tubos	69
5.3- Fatores de Atrito para Fluxo Paralelo à Tubos	70
5.4- Fatores de Atrito nos Orifícios das Chicanas	71
6.- COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	79
6.1- Coeficientes Locais de Transferência de Calor	79
6.2- Coeficientes de Película nos Tubos	80
6.3- Coeficientes de Película do Fluido de Carcaça	81
6.3.1- Níveis com Chicana	81
6.3.2- Níveis de Fluxo Oblíquo (paralelo + cruzado)	91
7. RESULTADOS E COMPARAÇÕES	94
7.1- Introdução	94
7.2- Escoamento do Fluido de Carcaça	94
7.3- Escoamento do Fluido dos Tubos	101
7.4- Coeficientes de Transferência de Calor	101
7.5- Distribuição de Temperaturas	105
7.6- Comparações	110

	Pag.
8. APLICAÇÕES DO MODELO	114
8.1- Introdução	114
8.2- Efeito das Folgas nas Chicanas	114
8.3- Efeito do Espaçamento das Chicanas	117
8.4- Variações no Número de Chicanas	119
8.5- Diagramas de Operação	121
8.5.1- Escoamento do Fluido dos Tubos	121
8.5.2- Escoamento do Fluido de Carçaça	121
8.5.3- Relações Adimensionais	125
9. ESTUDOS PARAMÉTRICOS	130
9.1- Introdução	130
9.2- Proporção de Fluxo (PRD)	130
9.3- Limite de Influência Turbulenta das Chicanas	132
9.4- Intervalo de Renovação dos Coeficientes de Transferência de Calor e das Velocidades do Fluido dos Tubos	133
9.5- Intervalo de Integração	135
9.6- Número de Níveis por Chicana	137
10- CONCLUSÕES	141
APÊNDICE I - Método Integral de Donohue /4/	144
APÊNDICE II- ETCHICAN - Programa para Análise Termo-Hidráulica em Regime Permanente de um Trocador de Calor de Carçaça e Tubos "U" com Chicanas Segmentais	149
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	213

LISTA DE FIGURAS

Pag.

FIG.1 - Trocador de Calor de Carcaça e Tubos com Chicanas	2
FIG.2 - Tipos de Chicana	2
FIG.3 - Feixes Ideais de Tubos	3
FIG.4 - Linhas de Fluxo para Equipamento "ideal"	4
FIG.5 - Correntes Principais de Fluxo	6
FIG.6 - Rede de Resistências Hidráulicas	9
FIG.7 - Resfriador de Hélio do CEH (IPEN)	12
FIG.8 - Modelo Geométrico	13
FIG.9 - Volumes de Controle	14
FIG.10- Região Modelada	17
FIG.11- Posicionamento de Variáveis	18
FIG.12- Volumes de Controle y e z	25
FIG.13- Esquema da Matriz de Coeficientes do Sistema Linear Gerado pelo Escoamento do Fluido de Carcaça	37
FIG.14- Escoamento entre Chicanas com a Ocorrência de Reversão de Fluxo	39
FIG.15- Nível de Entrada	40
FIG.16- Volume do Nível de Entrada (IV = 1)	41
FIG.17- Sistema "by-pass" do Resfriador de Hélio do IPEN	44
FIG.18- Rede de Tubos	45
FIG.19- Matriz de Coeficientes dos Tubos	50
FIG.20- Variação na Área Mínima de Fluxo na Comporta do "by-pass" com o Número de Voltas do Parafuso de Controle	52
FIG.21- Modelo para a Curva dos Tubos	55
FIG.22- Volume de Controle (COBRA)	56
FIG.23- Escoamento Típico entre Chicanas	73
FIG.24- Seção de Testes para Avaliação de Fatores de Atrito para Fluxo Oblíquo sobre Orifícios Anulares	75
FIG.25- Variações do Número de Nusselt para Regiões de Entrada	83
FIG.26- Seção de Testes para Estudos de Troca de Calor através de Chicanas	84

FIG.27 - Números de Nusselt na Região de Entrada de Subcanal seguinte à uma Chicana	85
FIG.28 - Componentes de Fluxo	92
FIG.29 - Distribuição de Velocidades do Fluido de Carcaça nos Planos Axiais de um Trecho entre Chicanas	96
FIG.30 - Distribuição de Velocidade do Fluido de Carcaça no Plano Transversal Indicado	97
FIG.31 - Porcentagens de Vazão através de uma Chicana	97
FIG.32 - Distribuição de Pressões ao longo dos Subcanais Indicados	98
FIG.33 - Distribuição de Pressões ao longo dos Subcanais Indicados	99
FIG.34 - Distribuição de Pressões nos Subcanais Indicados	100
FIG.35 - Distribuição de Velocidades em Função do Comprimento dos Tubos	102
FIG.36 - Variação nos Coeficientes de Transferência de Calor do Fluido de Carcaça ao longo dos Subcanais Indicados	103
FIG.37 - Variação nos Coeficientes de Transferência de Calor nos Subcanais Indicados	104
FIG.38 - Comparação dos Coeficientes de Transferência de Calor de Cada Fluido e Globais	106
FIG.39 - Distribuição de Temperaturas ao longo do Grupo de Tubos Indicados	107
FIG.40 - Distribuição de Temperaturas num Plano Transversal do Trocador	108
FIG.41 - Distribuição Espacial de Temperaturas do Fluido de Carcaça	109
FIG.42 - Variações na Perda de Carga no Lado dos Tubos com a Vazão	122
FIG.43 - Variações na Perda de Carga no Lado dos Tubos com Abertura do "by-pass"	123
FIG.44 - Potência de Atrito no Lado dos Tubos	124
FIG.45 - Perda de Carga e Potência de Atrito para um Intervalo entre Chicanas	126
FIG.46 - Perda de Carga por Chicana como Função do Regime de Escoamento	127
FIG.47 - Correlação do Número de Reynolds	128

	pag.
FIG.48- Regiões Médias de Fluxo na Carcaça	145
FIG.49- Fluxograma do Programa ETCHICAN	150
FIG.50- Seção Modelada	151
FIG.51- Característica dos subcanais e Junções	154
FIG.52- Seção dos Subcanais 1 e 2	157
FIG.53- Corte Axial do Trocador	159

1. INTRODUÇÃO

1.1- Trocadores de Calor

Trocadores de calor são utilizados, direta ou indiretamente, em todos os processos que envolvem a geração e o consumo da energia. Na área energética, os trocadores de maior importância são os de tipo Gerador de Vapor/Condensador. Os trocadores de tipo Resfriador/Aquecedor têm sua grande aplicação na área industrial e nos processos indiretos de geração, aonde se destaca o trocador de calor carcaça e tubos com chicanas (Figura 1). O alto desempenho desse tipo de trocadores é causado pelas chicanas, que têm o propósito de dirigir o chamado fluido de carcaça através do feixe de tubos de modo a que o fluxo principal seja perpendicular aos tubos, o que, tanto por considerações físicas como construtivas, é um dos mais eficientes meios de se promover a troca de calor entre dois fluidos. Utilizam-se chicanas de segmentos de placas (chicanas segmentais), de orifícios ou de anéis e discos (Figura 2). O lado dos tubos pode ser feito em uma ou mais passagens de tubos simples ou em tubos " U ".

1.2- Métodos de Cálculo Fornecidos pela Literatura

As primeiras tentativas em se fornecer técnicas para cálculos de projeto e operação desses trocadores foram baseadas em correlações experimentais de perda de carga (Δp)

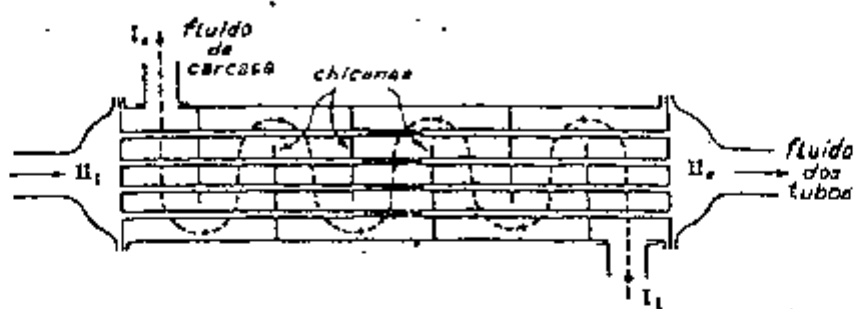
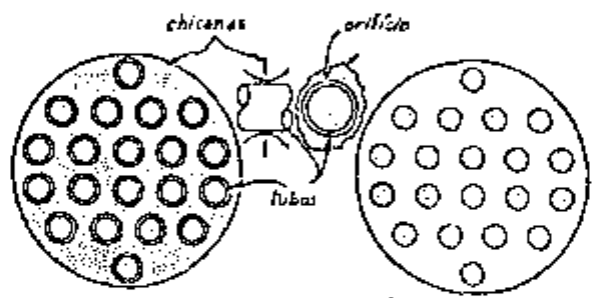
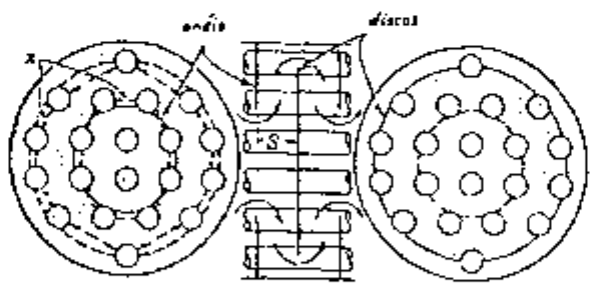


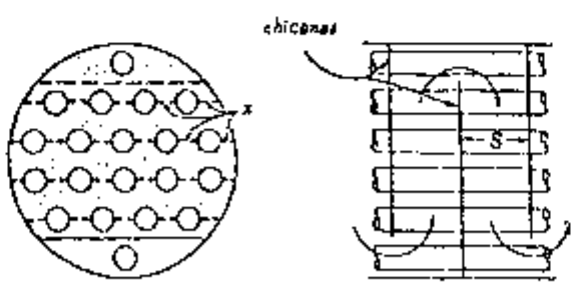
FIGURA 1 - Trocador de Calor de Carcaça e Tubos com Chicanas



a. chicanas de orifícios



b. chicanas de anéis e discos



c. chicanas segmentais

FIGURA 2 - Tipos de Chicana

e de transferência de calor para fluxo através de feixes ideais de tubos ou seja, sem folgas para fluxos de desvio (Figura 3). A Figura 4 mostra os tipos de escoamento que podem ocorrer em um equipamento experimental, construído com esses feixes ideais, como uma função apenas da largura da janela e do espaçamento das chicanas, de acordo com estudos fotográficos de C.F. Braun & Co. /1/ e Gupta /2/.

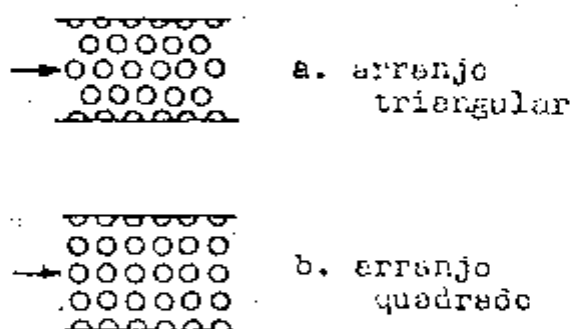


FIGURA 3 - Feixes Ideais de Tubos.

Na realidade, a distribuição de fluxo, a perda de carga e a transferência de calor, não dependem somente da geometria do feixe de tubos e das chicanas, mas também, das folgas entre tubos e furos das chicanas e entre as chicanas e a carcaça, decorrentes de considerações mecânicas de construção. Os orifícios anulares existentes, permitem que parte do fluido de carcaça escoe através deles, diminuindo a

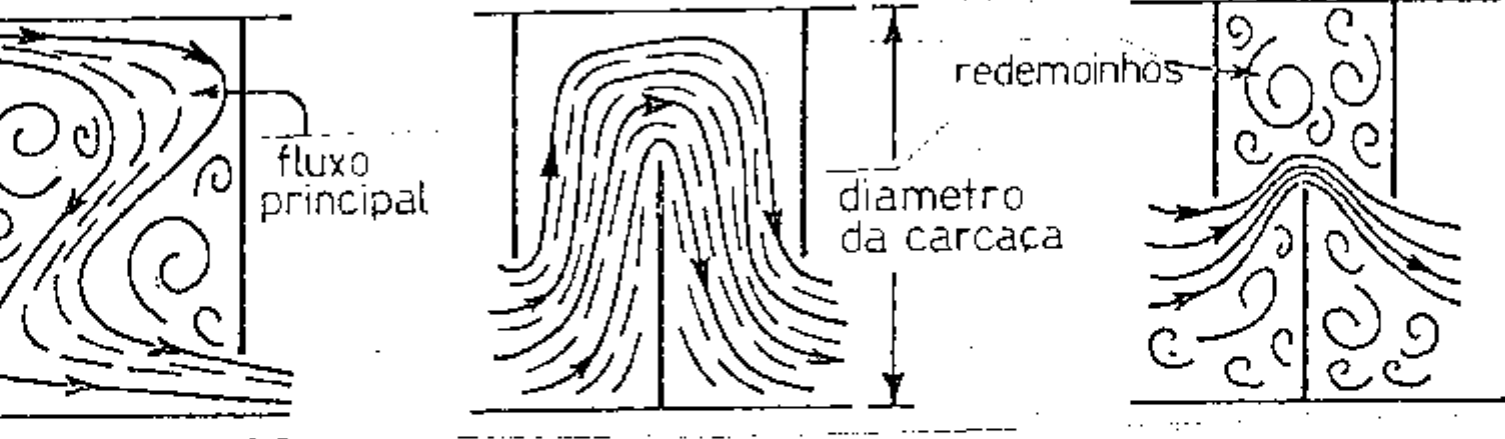


FIGURA 4 - Linhas de Fluxo para Equipamento "ideal"

perda de carga e a transferência de calor. A Figura 5 mostra as linhas de fluxo em um trecho de um trocador de calor com a indicação das correntes de fuga nas folgas existentes e o fluxo periférico entre o feixe de tubos e a carcaça.

Três tipos de métodos têm sido utilizados para a avaliação do desempenho desses trocadores: métodos integrais, analíticos e de análise de correntes.

Nos métodos integrais, todas as correlações utilizadas consideram o trocador de calor como um todo. O mais representativo trabalho sobre esse método foi feito por Kern /3/. Ele correlacionou dados experimentais de um trocador de calor com folgas internas típicas e 25% de abertura nas chicanas (janelas) para uma faixa de Reynolds entre 2×10^3 e 10^6 . Seu trabalho é representado pela Equação (1).

$$Nu = .36 Re^{.55} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{.14} \quad 1$$

onde a dimensão característica do Reynolds e Nusselt é o diâmetro hidráulico médio na carcaça para fluxo paralelo e, a velocidade de massa é calculada para a área nominal máxima de fluxo cruzado.

É evidente que a equação de Kern não considera os efeitos de diferentes janelas, espaços entre chicanas e correntes de fuga.

A aplicação de um método do tipo integral, desenvolvido

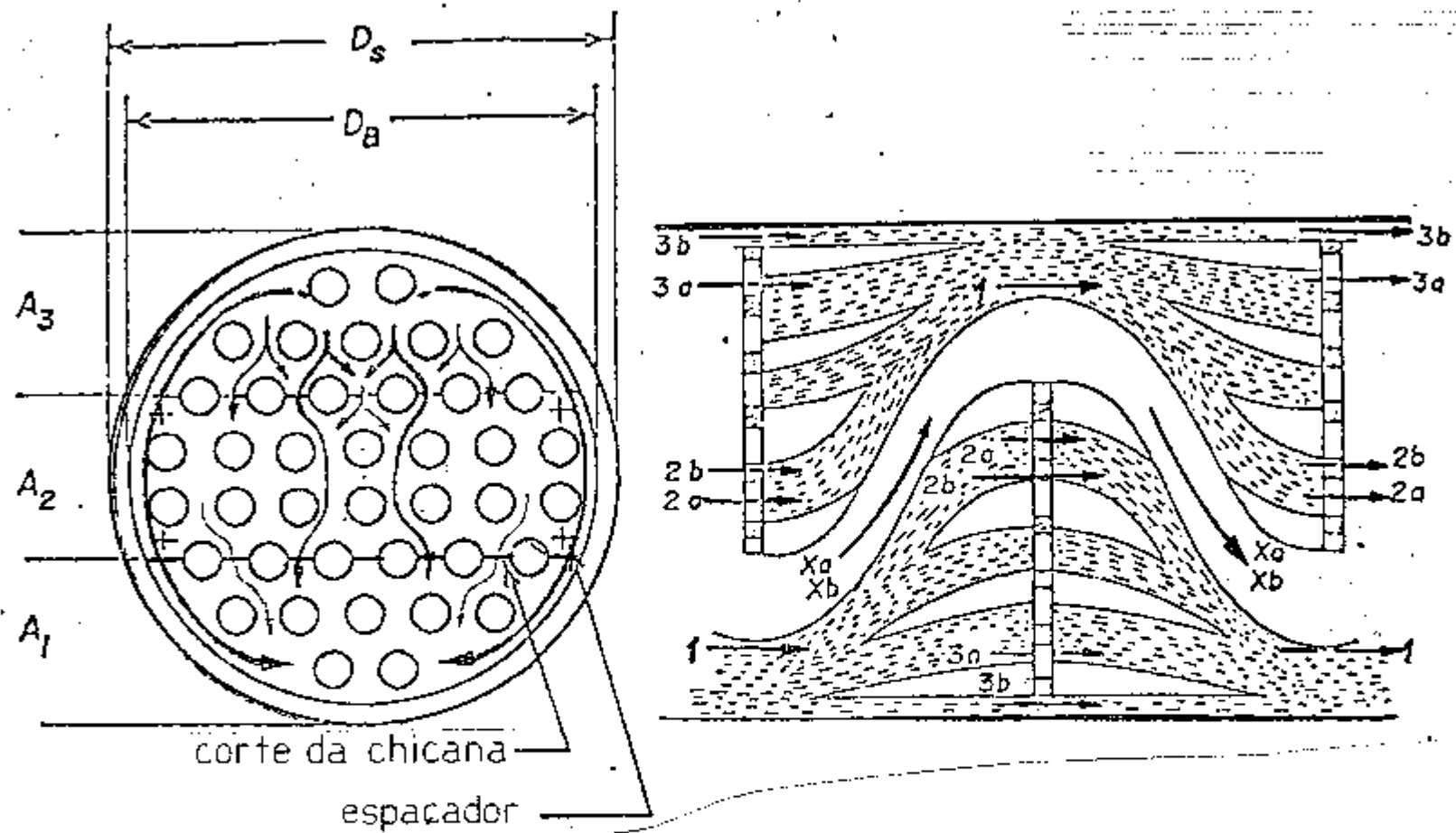


FIGURA 5 - Correntes Principais de Fluxo

por Donohue/4/, de simples utilização e baseado também em constantes otimizadas, é exemplificada no Apêndice I, com a comparação a dados experimentais disponíveis do trocador de calor modelado neste trabalho.

Nos métodos analíticos, são avaliados os efeitos individuais de diversas correntes de fluxo. Uma aplicação prática de um método analítico é dada por Bell /5/. Ele utilizou alguns fatores de correção para considerar o efeito das diferentes correntes de fluxo. Seu trabalho é sumarizado na Equação (2).

$$\frac{Nu}{Re Pr} = \frac{j(\psi \epsilon_H \lambda)}{x_t} Pr^{-.66} \left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{.14} \quad 2$$

aonde os termos definidos são:

- j : fator para fluxo cruzado em um feixe ideal de tubos
- ψ : fator de correção para a janela da chicana
- λ : fator de correção para as correntes de fuga entre chicana e carcaça e entre tubos e furos das chicanas.
- ϵ_H : fator de correção para correntes periféricas (entre feixe de tubos e carcaça)
- x_t : fator de correção para o número de fileiras de tubos.

Os valores desses fatores de correção foram obtidos de dados experimentais da "Delaware Research".

O método de análise de correntes foi introduzido por Tinker/6,7 / em 1951. Posteriormente refinado e completado por Short /8/, Parker /9/ e Palen e Taborck /10/. Esse método mostrou ser o mais preciso para a avaliação da perda de carga e transferência de calor nos trocadores com chicanas. O mais aperfeiçoado foi o desenvolvido por Palen e Taborck na NTRI ("Heat Transfer Research Inc.", Alhambra, California). Esse método, reduz o complicado escoamento do fluido de carcaça em uma rede de correntes com resistências hidráulicas associadas a cada uma (Figura 6). Essas correntes consideram o fluxo principal através da janela da chicana (fluxo paralelo) e depois perpendicular ao feixe de tubos entre duas chicanas (fluxo cruzado) e os fluxos de fuga principais. São calculados números de Reynolds corrigidos na janela e na região de fluxo cruzado. Para o cálculo dos coeficientes de transferência de calor do lado da carcaça, é utilizada uma média ponderada entre os dois números de Reynolds, multiplicada por um fator de correção, que considera o efeito dos fluxos de fuga. É considerada também, uma diferença média logarítmica corrigida de temperaturas entre os fluidos. As resistências hidráulicas e as correções mencionadas foram obtidas pela minimização de erros do método com os resultados experimentais de 64 trocadores de tipos comerciais e experimentais. O método forneceu previsões dentro de $\pm 30\%$ sobre os dados experimentais de perda de carga e troca de calor.

1.3- Objetivos

O objetivo deste trabalho foi a obtenção de um modelo termo-hidráulico tridimensional para um trocador de calor

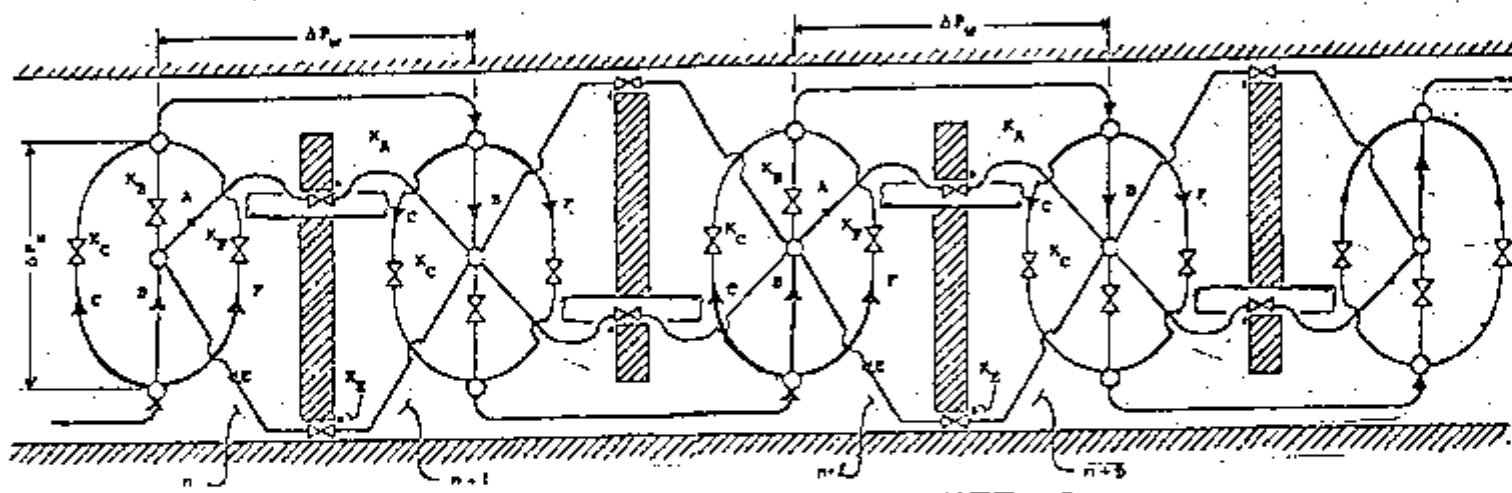


FIGURA 6 - Rede de Resistências Hidráulicas

de carcaça e tubos "U" com chicanas segmentais. Em regime permanente de escoamento, mais preciso e confiável que os demais existentes.

Diferente dos métodos de análise de correntes, baseados em dados experimentais específicos e constantes otimizadas, a alta precisão e confiabilidade requeridas neste método vai ser baseada na obtenção precisa das distribuições de fluxo, pressões e temperaturas dos fluidos de carcaça e tubos ao longo de todo o trocador. Isso possível - através da solução das equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia, escritas da maneira mais rigorosa possível através de balanços de massa, forças e energia e utilizando-se correlações gerais de perda de carga e transferência de calor, aplicadas a um modelo independente da geometria e condições de operação do trocador.

A viabilização do método para cálculos de projeto e operação desses trocadores, que envolvem a solução repetitiva de um grande número de equações, vai exigir a utilização de um programa de computador de alta eficiência e baixo custo operacional.

O método geral desenvolvido vai ser utilizado na avaliação do desempenho do resfriador de hélio do Circuito Experimental de Hélio do IPEN, utilizado na pesquisa de reatores nucleares refrigerados a gás (HTGR). Nesse trocador

(Figura 7), constituído de três chicanas segmentais e noventa e cinco tubos "U", o hélio à alta temperatura no lado dos tubos é resfriado por água na carcaça.

1.4- Modelo e Método de Solução

A forma de construção em geral simétrica dos trocadores, permite a sua modelação em apenas uma metade diametral. Essa metade é subdividida axialmente em subcanais com pequenos grupos de tubos associados. O trecho entre a primeira e a última chicana é dividido em níveis transversais (Figura 8) que, com os subcanais, geram os volumes de controle (Figura 9), tanto para o fluido de carcaça como para o dos tubos. Cada trecho entre duas chicanas considerada pelo menos dois níveis, com um deles contendo uma chicana. Dessa forma, o modelo resulta em uma matriz tridimensional de volumes interligados pelas faces entre subcanais adjacentes (junções) e pelas divisões transversais.

O equacionamento é baseado em balanços de massa, quantidade de movimento e energia em cada volume de controle. Esse método, denominado "análise de subcanais", é a base dos códigos para análise termo-hidráulica do núcleo de reatores /11, 12/ e permite a obtenção das distribuições de pressões, velocidades e temperaturas dos fluidos ao longo de todo o trocador.

Com a finalidade de se reduzir os requisitos de memória e tempo de processamento do programa elaborado para a

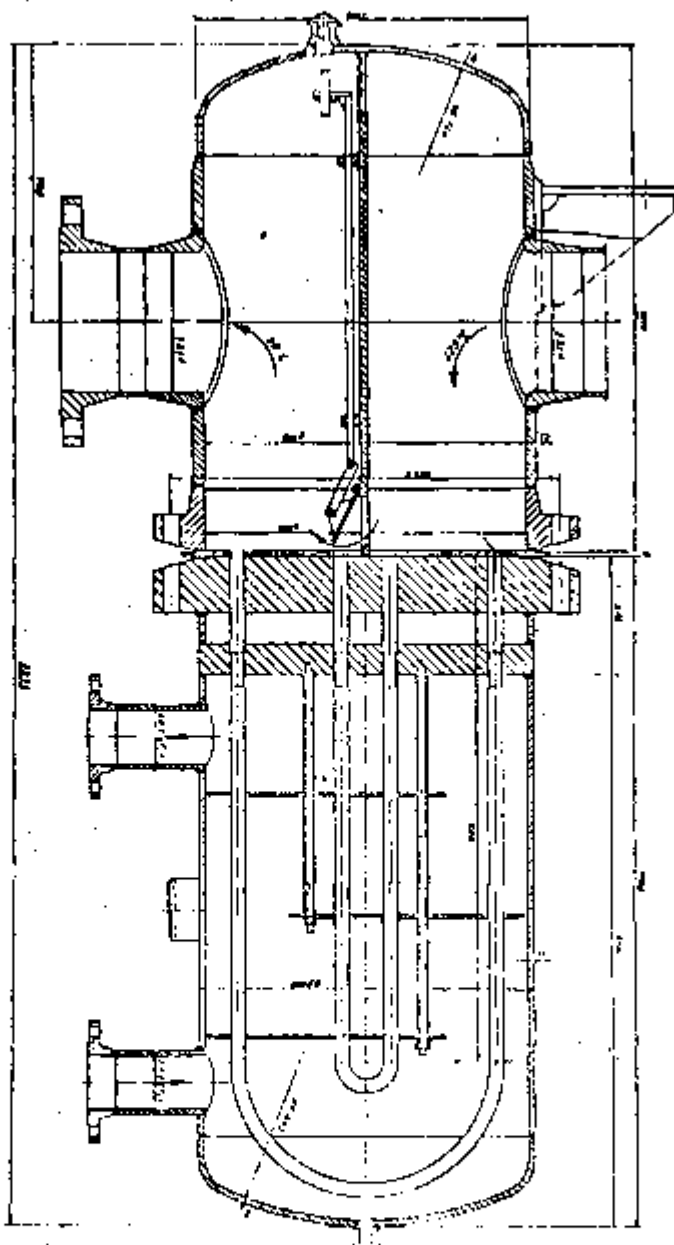


FIGURA 7 - Resfriador de Hélio do CEH (IPEN)

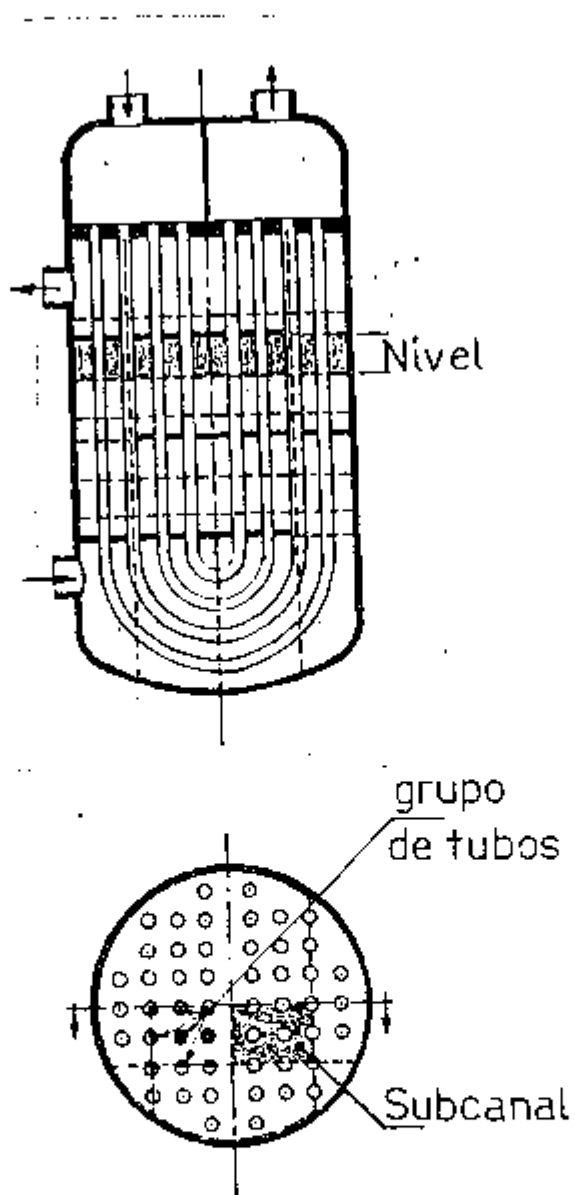


FIGURA 8 - Modelo Geométrico

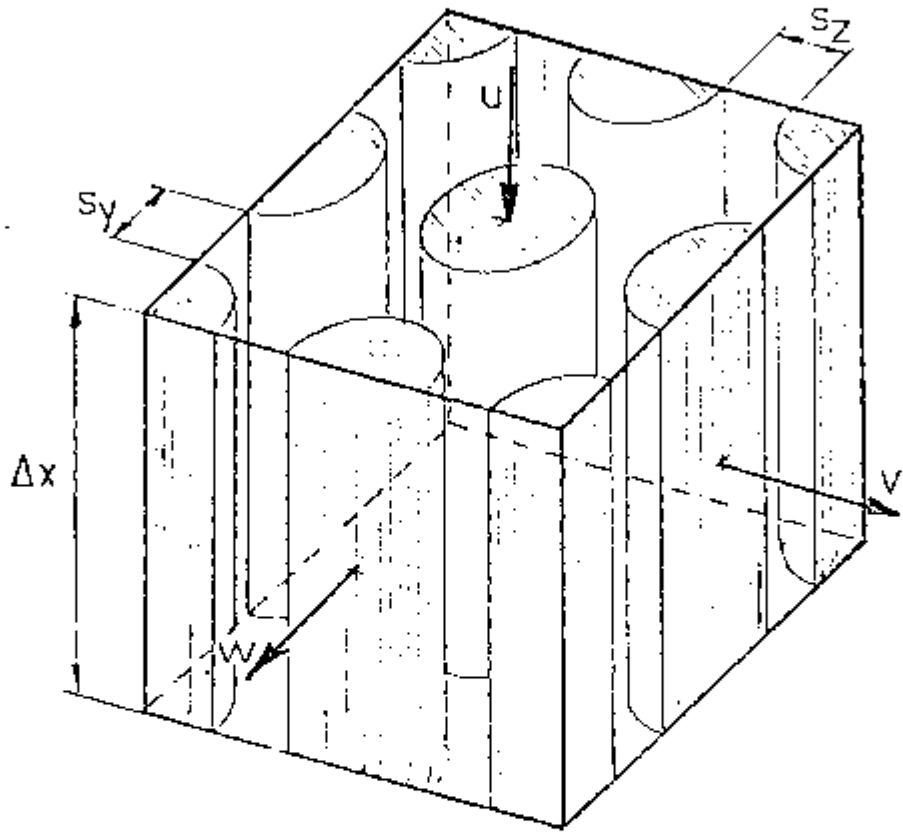


FIGURA 9 - Volúmenes de Control

solução do modelo, as equações de energia foram desacopladas das equações de conservação de massa e quantidade de movimento. O método resultou na solução sucessiva das seguintes partes:

PARTE 1 - Escoamento do fluido de carcaça:

São obtidas as distribuições de pressões e velocidades para escoamento isotérmico em regime permanente do fluido de carcaça.

PARTE 2 - Escoamento do fluido dos tubos:

São avaliadas velocidades para cada comprimento de tubo "U" do trocador e a perda de carga no lado dos tubos para regime permanente de escoamento.

PARTE 3 - Solução térmica do trocador:

São obtidas as distribuições das temperaturas de estado estacionário dos fluidos de carcaça e tubos através de um esquema iterativo de solução das equações de energia e avaliação de coeficientes locais de transferência de calor.

2. ESCOAMENTO DO FLUIDO DE CARÇAÇA

2.1- Introdução

As componentes de velocidade e a distribuição de pressões no fluido de carcaça são inicialmente obtidas para um intervalo entre duas chicanas consecutivas pela solução das equações de conservação de massa e quantidade de movimento, escritas para escoamento isotérmico em regime permanente de um fluido incompressível através de um feixe de tubos. Esses resultados são estendidos para os demais intervalos pois, o escoamento, se repete igualmente de chicana para chicana, principalmente após o primeiro intervalo como verificado experimentalmente por Konuk /13/. Essa simplificação não foge muito da realidade pois, geralmente, os trocadores de calor são constituídos de um grande número de chicanas, anulando-se portanto os efeitos de entrada e saída. O efeito dessa simplificação vai ser crítico justamente no trocador modelado neste trabalho que possui apenas três chicanas.

2.2- Modelo

Baseando-se nas condições de simetria e de escoamento repetitivo mencionadas, pode-se limitar a região modelada em um semi-cilindro iniciando em um ponto logo após uma chicana até um ponto após a próxima. A Figura 10 mostra a

região modelada com as divisões em subcanais e níveis e a indicação das pressões e das componentes de velocidade.

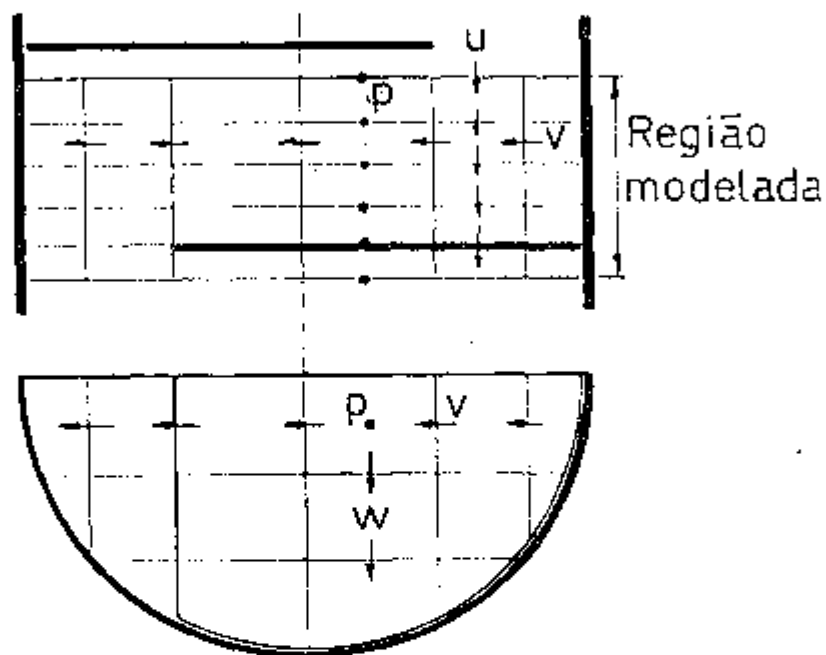


FIGURA 10 - Região Modelada

A altura de cada nível vai ser determinada pelo espaçamento entre chicanas, pelo número de níveis e pela altura do nível que contém a chicana que é estabelecida por um limite da influência turbulenta do fluido escoando através das folgas nas chicanas. O efeito dessa zona de influência é considerado nos coeficientes de transferência de calor e fatores de atrito e é discutido no Capítulo 6.

As equações de conservação, com as condições de contorno apropriadas, podem ser aplicadas a esse modelo. O posicionamento das variáveis que aparecem no equacionamento de um volume de controle regular é mostrado na Figura 11. A pressão p e a componente axial de velocidade u (direção x) são definidas como médias nas faces entre níveis de cada subcanal. As componentes laterais de velocidade, v (direção y) e w (direção z), são definidas como médias superficiais nas faces laterais de cada volume de controle (entre subcanais adjacentes) que, serão denominadas doravante de "junções- v " e "junções- w ". Para efeito didático, foram utilizados os índices i, j e k como coordenadas nos desenhos e equações elaborados. O modelo numérico porém, foi baseado em uma numeração contínua dos subcanais, uma numeração para cada tipo de junção (v ou w) e, uma numeração para os níveis, o que, facilita a solução numérica e a utilização do programa. Essa convenção é detalhada no Apêndice II.

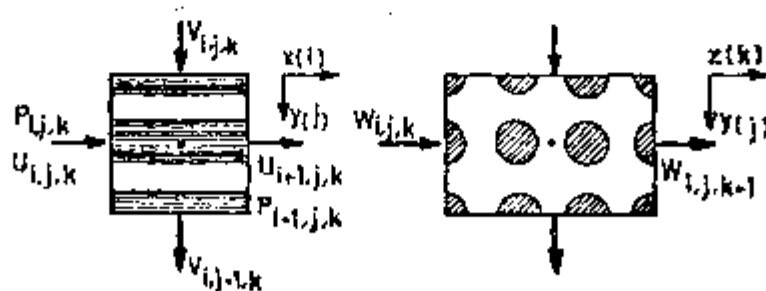


FIGURA 11 - Posicionamento de Variáveis.

O número de volumes de controle para este modelo é obtido pelo produto (II)(IIV) aonde II representa o número de níveis e IIV o número de subcanais modelados segundo a nomenclatura utilizada no programa. Na mesma nomenclatura, os números de junções-v e junções-w são, respectivamente, JJV e JJW. Assim, o número de variáveis, de acordo com as Figuras 10 e 11 é:

$$p : (IIV) (II + 1)$$

$$u : (IIV) (II)$$

$$v : (JJV) (II - 1)$$

$$w : (JJW) (II - 1)$$

$$\text{Total: } (II-1) (2 IIV+JJV+JJW) + 3 IIV$$

Assim, para IIV = 16, II = 5, JJV = 13 e JJW = 10, o número de pressões e velocidades envolvidas é 268, que é o caso do modelo apresentado neste trabalho.

2.3 - Equacionamento

Para o modelo geométrico descrito, pode ser aplicado o equacionamento como segue nos itens abaixo.

2.3.1 - Conservação de Massa

A equação de conservação de massa para um volume de controle regular (Figura 9) é representada pela Equação (3).

$$\begin{aligned}
 & A_x^{j,k} (u^{i,j,k} - u^{i+1,j,k}) + (A_y^{i,j,k} v^{i,j,k} - \\
 & A_y^{i,j+1,k} v^{i,j+1,k}) + (A_z^{i,j,k} w^{i,j,k} - \\
 & A_z^{i,j,k+1} w^{i,j,k+1}) = 0
 \end{aligned}$$

3

onde os termos são definidos como:

u	: componente axial de velocidade (direção x)	- m/s
v	: componente lateral principal de velocidade, perpendicular ao corte da chicana (direção y)	- m/s
w	: componente lateral de velocidade, perpendicular a v (direção z)	- m/s
A_x	: área transversal do subcanal	- m^2
A_y	: área de fluxo na junção- v	- m^2
A_z	: área de fluxo na junção- w	- m^2

2.3.2 - Conservação da Quantidade de Movimento na Direção x

Para regime permanente de escoamento, a somatória das forças mais a somatória das variações de quantidade de movimento na direção x é igual a zero.

$$\sum F_x + \sum Q_x = 0$$

4

a. Somatória de forças:

A somatória de forças é:

$\Sigma F_x =$ forças de pressão + peso + perdas de atrito.

É assumido que as perdas de atrito na direção x podem ser calculadas independentes das outras direções, com a utilização da componente axial de velocidade u e uma correlação para escoamento paralelo a um feixe de tubos. Essa hipótese é baseada no fato de não existirem dados sobre perda de carga para fluxo oblíquo a feixes de tubos como ocorre nos trocadores com chicanas. Assim, podemos escrever:

$$\Sigma F_x = A_x^{j,k} [(p^{i,j,k} - p^{i+1,j,k}) g_c + \Delta x \rho g_x - f_x^{i,j,k} \frac{\Delta x}{D_H^{j,k}} \frac{(u^{i,j,k})^2}{2}]$$

5

aonde os termos são definidos como:

- p : pressão média superficial no subcanal j,k , nível i - bar
- g_c : fator de conversão de unidades ($g_c = 10^5$) - $N/m^2 \text{ bar}$
- Δx : altura do nível (comprimento - m
- ρ : densidade média do fluido, avaliada na temperatura média do trecho entre chicanas - kg/m^3
- g_x : componente da aceleração da gravidade na direção x - m/s^2
- f_x : fator de atrito na direção x (Capítulo 5)
- D_H : diâmetro hidráulico do subcanal - m

b. Variações na quantidade de movimento:

A variação na quantidade de movimento na direção x é

avaliada através das contribuições de fluxo de massa em cada face dos volumes de controle.

A contribuição da componente axial de fluxo de massa é:

$$\dot{m}^{i,j,k} u^{i,j,k} - \dot{m}^{i+1,j,k} u^{i+1,j,k} \quad 6$$

ou

$$\rho A_x^{j,k} [(u^{i,j,k})^2 - (u^{i+1,j,k})^2] \quad 7$$

Analogamente, a contribuição da componente lateral v é:

$$\rho \left[A_y^{i,j,k} v^{i,j,k} \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j-1,k})}{2} - A_y^{i,j+1,k} v^{i,j+1,k} \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j+1,k})}{2} \right] \quad 8$$

A contribuição da componente lateral w é:

$$\rho \left[A_z^{i,j,k} w^{i,j,k} \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j,k-1})}{2} - A_z^{i,j,k+1} w^{i,j,k+1} \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j,k-1})}{2} \right] \quad 9$$

c. Equação de conservação da quantidade de movimento x

A forma final da equação é:

$$\begin{aligned}
& (p^{i+1,j,k} - p^{i,j,k}) \frac{g_c}{\rho} + [(u^{i+1,j,k})^2 - (u^{i,j,k})^2] \\
& - \frac{1}{A_x^{j,k}} \left[A_Y^{i,j+1,k} v^{i,j+1,k} \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j-1,k})}{2} \right. \\
& \quad A_Y^{i,j,k} v^{i,j,k} \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j-1,k})}{2} + \\
& \quad A_Z^{i,j,k+1} w^{i,j,k+1} \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j,k-1})}{2} - \\
& \quad \left. A_Z^{i,j,k} w^{i,j,k} \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j,k+1})}{2} \right] + \\
& f_x^{i,j,k} \frac{\Delta x^i}{D_H^{j,k}} \frac{(u^{i,j,k})^2}{2} + \Delta x^i g_x = 0 \quad 10.
\end{aligned}$$

com $i = 1, i_{i-1}, j = 2, j_{j-1}, k = 2, k_{k-1}$.

Foi observado que nos trocadores de calor de carcaça e tubos com chicanas com folgas entre os tubos e os furos das chicanas, o fluxo é praticamente paralelo aos tubos imediatamente abaixo da chicana. Para $i = i_1$, o nível contém uma chicana, desaparecendo portanto as componentes laterais de velocidade. Assim, a equação de conservação da quantidade de movimento na direção x , reduz-se para:

$$\begin{aligned}
& (p^{i+1,j,k} - p^{i,j,k}) \frac{g_c}{\rho} + \frac{f_{ch}^{j,k}}{2} \left(\frac{A_x^{j,k}}{A_{ch}^{j,k}} u^{i,j,k} \right)^2 + \\
& \Delta x^{i_1} g_x = 0 \quad 11.
\end{aligned}$$

onde os novos termos definidos são:

f_{ch} : fator de atrito através das folgas na chicana

$A_{ch}^{j,k}$: área de fluxo através das folgas da chicana - m^2 .

2.3.3 - Equações de Aproximação para Fluxo Cruzado

O equacionamento da conservação das quantidades de movimento laterais (fluxo cruzado) é de muito mais difícil dedução que na direção axial pois, enquanto nessa direção, as áreas dos subcanais são constantes e a componente de velocidade u varia lenta e continuamente, nas direções laterais a área de fluxo varia periodicamente, de uma fileira para a próxima. Essas variações de velocidade não serão modeladas. As velocidades utilizadas serão baseadas na área mínima de fluxo e, as correlações utilizadas para cálculo dos fatores de atrito serão baseadas em perda de carga para feixes de tubos como função do arranjo dos tubos e do número de fileiras consideradas (Capítulo 5). Para isso são definidos novos volumes de controle nas direções laterais, que vão estabelecer a ligação entre subcanais adjacentes (Figura 12).

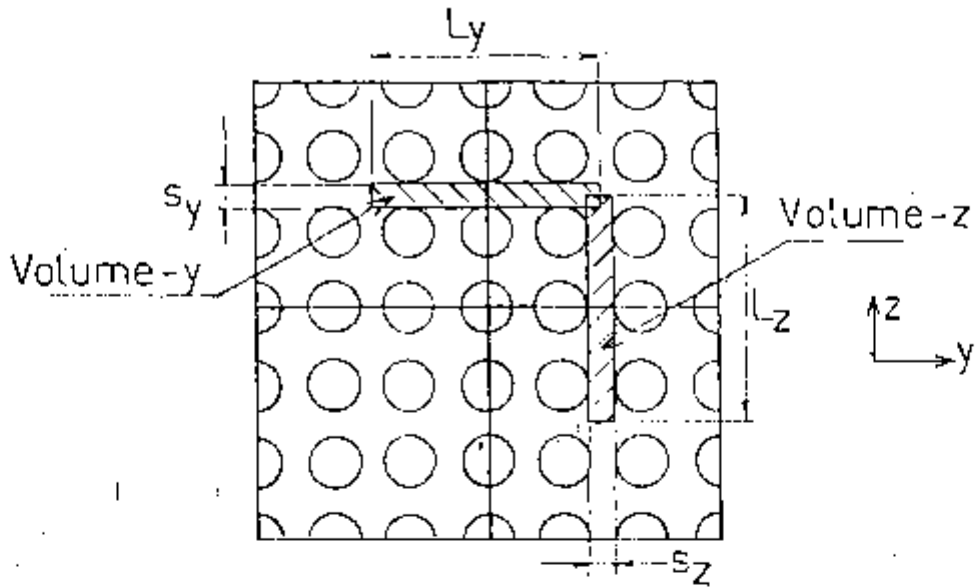


FIGURA 12 - Volumes de Controle y e z .

a. Somatória de forças:

Para os volumes de controle da Figura 12, as somatórias de forças nas direções y e z são:

$$\begin{aligned} \Sigma F_y = & (p^{i,j,k} - p^{i,j-1,k}) g_c \Delta x^i s_y + \\ & L_y^{j,k} \rho \Delta x^i g_y + \text{perdas de atrito} \end{aligned} \quad 12.$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_z = & (p^{i,j,k} - p^{i,j,k-1}) g_c \Delta x^i s_z + \\ & L_z^{j,k} \rho \Delta x^i g_z + \text{perdas de atrito} \end{aligned} \quad 13.$$

aonde os termos definidos são:

s_y e s_z : as larguras dos volumes y e z respectivamente - m

L_y e L_z : o comprimento dos volumes - m

g_y e g_z : as componentes y e z da aceleração da gravidade - m/s²

Assume-se, como na dedução da equação de conservação da quantidade de movimento na direção x, que a perda de carga em uma direção não é influenciada pelas outras, as perdas de atrito laterais podem ser calculadas na forma da Equação (14).

$$\Delta p = N f_c \frac{\rho v^2}{2 g_c} \quad 14.$$

onde os novos termos definidos são:

N : número de fileiras de tubos consideradas ao longo do volume de controle (y ou z);

f_c : fator de atrito para fluxo cruzado a feixes de tubos, f_y na direção y ou f_z na direção z ;

v : componente de velocidade baseada na área mínima de fluxo, v ou w para as direções y ou z respectivamente.

b. Variações na quantidade de movimento na direção y :

A contribuição da componente axial de fluxo de massa - através da seção transversal do novo volume de controle ($s_y L_y$) é:

$$\rho s_y L_y^{j,k} \left[\frac{(u^{i+1,j,k} + u^{i+1,j-1,k}) v^{i,j,k}}{2} - \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j-1,k}) v^{i-1,j,k}}{2} \right] \quad 15.$$

A contribuição da componente lateral da direção y, através da área lateral ($s_y \Delta x^i$) é :

$$\rho s_y \Delta x^i \left[\frac{(v^{i,j+1,k} + v^{i,j,k})^2}{2} - \frac{(v^{i,j,k} + v^{i,j-1,k})^2}{2} \right] \quad 16.$$

A contribuição da outra componente de fluxo de massa lateral (direção z) não é incluída no modelo pois, em um trocador de calor com chicanas segmentais, o principal fluxo cruzado é na direção y e a contribuição de w é desprezível. Esse fato já foi comprovado anteriormente por Konuk /13/ através de um modelo semelhante a este.

c. Variações na quantidade de movimento na direção z :

A contribuição da componente axial de fluxo de massa - através da seção transversal do volume de controle z ($s_z L_z$) é:

$$\rho s_z L_z^{j,k} \left[\frac{(u^{i+1,j,k} + u^{i+1,j,k-1})}{2} w^{i,j,k} - \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j,k-1})}{2} w^{i-1,j,k} \right] \quad 17.$$

A contribuição da componente lateral de fluxo de massa da direção z, através da área lateral ($s_z \Delta x^i$) é:

$$\rho s_z \Delta x^i \left[\frac{(w^{i,j,k+1} + w^{i,j,k})^2}{2} - \frac{(w^{i,j,k} + w^{i,j,k-1})^2}{2} \right] \quad 18.$$

Novamente a contribuição da outra componente lateral de velocidade através da área ($L_z \Delta x$) não é incluída no modelo. Essa contribuição foi desprezada analogamente aos códigos COBRA IV /12/ e TH13D /14/.

d. Equações para fluxo cruzado:

A forma final das equações de conservação da quantidade de movimento para fluxo cruzado é:

Direção y:

$$(p^{i,j,k} - p^{i,j+1,k}) \frac{g_c}{\rho} + \left[\frac{(v^{i,j+1,k} + v^{i,j,k})^2}{2} - \frac{(v^{i,j,k} + v^{i,j-1,k})^2}{2} \right] +$$

$$\frac{L_y^{j,k}}{\Delta x^i} \left[\frac{(u^{i+1,j,k} + u^{i+1,j-1,k})}{2} v^{i,j,k} - \frac{(u^{i,j,k} + u^{i,j-1,k})}{2} v^{i-1,j,k} \right] +$$

$$N_y^{j,k} f_y^{i,j,k} \frac{(v^{i,j,k})^2}{2} + \frac{L_y^{j,k}}{Y} g_y = 0 \quad 19.$$

Direção z:

$$(p^{1,j,k} - p^{1,j,k-1}) \frac{g_c}{\rho} +$$

$$\left[\frac{(w^{1,j,k+1} + w^{1,j,k})^2}{2} - \frac{(w^{1,j,k} - w^{1,j,k-1})^2}{2} \right] +$$

$$\frac{L_z^{j,k}}{\Delta x^1} \left[\left(\frac{u^{1+1,j,k} + u^{1+1,j,k-1}}{2} \right) w^{1,j,k} - \right.$$

$$\left. \left(\frac{u^{1,j,k} + u^{1,j,k-1}}{2} \right) w^{1-1,j,k} \right] +$$

$$N_z^{j,k} f_z^{1,j,k} \frac{(w^{1,j,k})^2}{2} + L_z^{j,k} g_z = 0 \quad 20.$$

2.3.4- Condições de Contorno

O número de equações geradas pelas Equações (3), (10), (11), (19) e (20) é:

Eq. (3) : (IIV) (II-1)

Eq. (10) : (IIV) (II-1)

Eq. (11) : (IIV)

Eq. (19) : (JJV) (II-1)

Eq. (20) : (JJW) (II-1)

TOTAL : (II-1) (2 IIV + JJV + JJW) + IIV

Desde que o número de pressões e componentes de velocidades desconhecidas é (II-1) (2 IVV+JJV+JJW); 3 IVV, temos 2 IIV mais incôgnitas que equações. Devem portanto ser

fornecidas 2 IVV equações pelas condições de contorno.

A hipótese de fluxo repetitivo pode fornecer (IIV) equações :

$$u^{1,j,k} = u^{ii,jj+1-j,k} \quad 21.$$

com $j = 1, jj$, $k = 1, kk$ exceto para jj, kk ; $1, kk$ e $1, 1$.

As pressões para os níveis imediatos às chicanas - não são iguais para subcanais simétricos como as velocidades pois, o nível de pressão na chicana anterior é mais alto (devido à perda de carga na direção de fluxo), contudo, as quedas de pressão nesses níveis, de subcanal a subcanal, são simétricas. Essa simetria vai fornecer (IIV-1) equações:

$$p^{1,j+1,k} - p^{1,j,k} = p^{ii+1,jj-j,k} - p^{ii+1,jj-j+1,k} \quad 22.$$

com $j = 1, jj - 1$ e $k = 1, kk$

$$p^{1,j,k+1} - p^{1,j,k} = p^{ii+1,jj-j+1,k+1} - p^{ii+1,jj-j+1,k} \quad 23.$$

com $j = 1, jj$ e $k = 1, kk - 1$.

A fixação de uma pressão de saída, que vai determinar o nível de pressões no sistema vai fornecer outra equação:

$$p^{ii+1,jj,1} = p_0 \quad 24.$$

Para se fixar a vazão do fluido no sistema, uma das equações de fluxo repetitivo (Equação 20) vai ser substituída por um balanço de massa no nível da chicana:

$$\sum_{j=1}^{jj} \sum_{k=1}^{kk} (A_{x,j,k} u_{1,j,k}) = G \quad 25.$$

onde G é a vazão volumétrica do fluido na metade do trocador.

Assim, o sistema está completo e compatível com as condições de contorno.

2.4- Método de Solução

2.4.1- Método de Linearização

As Equações (3), (10), (11), (19), (20), (21), (22), (23), (24) e (25), escritas para todos os volumes de controle, constituem um sistema de equações algébricas não lineares que deve ser resolvido para se obter as distribuições de pressão e velocidade do fluido de carcaça no trecho modelado.

Os termos não lineares são u^2, v^2, w^2, uv , e uw , considerando-se também os fatores de atrito ($f = f(u, v$ ou w). Se, inicialmente, forem avaliados os valores u_0, v_0 e w_0 , esses termos podem ser escritos como: $u^2 = u_0 u_1, v^2 = v_0 v_1, w_0 w_1, uv = u_0 v_1$ ou $uv = u_1 v_0$ etc. Sendo também calculados os fatores de atrito na forma de $f = f(u_0, v_0$ ou $w_0)$.

O sistema, agora linearizado, pode ser resolvido por qualquer método, como Eliminação de Gauss, Fatorização ou outro. Assim são obtidos os novos valores u_1, v_1 e w_1 . O processo se repete até à convergência na tolerância estipulada. Bending e Hutchison /15/ utilizaram esse método para a solução de um sistema formado por uma rede de tubos, aonde as equações são da forma: $\Delta p = K u^2$. Eles observaram que a convergência é obtida mais rapidamente se as novas velocidades utilizadas para a linearização forem as médias entre os valores de entrada e saída, isto é:

$$u_0^{k+1} = \frac{u_0^k + u_1^k}{2} \quad 26.$$

aonde k é o número da iteração.

Esse método foi também utilizado neste trabalho. Na equação de conservação de movimento na direção x , quando aparecem os termos uv e uw , u é tomado como incôgnita e v e w como coeficientes. Por outro lado, quando uv aparece na equação de conservação da quantidade de movimento na direção y e uw na direção z , u é tomado como coeficiente e v ou w incôgnitas. Os coeficientes de atrito são renovados à cada iteração com a utilização das velocidades médias de entrada de cada linearização.

2.4.2- Forma Linearizada das Equações

As tres equações de conservação da quantidade de movimento (Equações 10, 11, 19 e 20) , que contém termos não lineares, foram linearizadas de acordo com o método acima. As equações resultantes, já na forma desenvolvida são:

a. Conservação da quantidade de movimento na direção x

$$\begin{aligned}
 & \frac{g_c}{\rho} \left(p^{i+1,j,k} \right) - \frac{g_c}{\rho} \left(p^{i,j,k} \right) - \frac{A_y^{i,j,k} v^{i,j,k}}{2 A_x^{j,k}} \left(u^{i,j-1,k} \right) + \\
 & \frac{A_y^{i,j+1,k} v^{i,j+1,k}}{2 A_x^{j,k}} \left(u^{i,j+1,k} \right) + \frac{A_z^{i,j,k+1} w^{i,j,k+1}}{2 A_x^{j,k}} \left(u^{i,j,k+1} \right) - \\
 & \frac{A_z^{i,j,k} w^{i,j,k}}{2 A_x^{j,k}} \left(u^{i,j,k-1} \right) + (u^{i+1,j,k}) \left(u^{i+1,j,k} \right) + \\
 & + \left[\frac{f_x^{i,j,k}}{2} \frac{\Delta x^i}{D_{ii}^{j,k}} |u^{i,j,k}|^{-1} + \frac{1}{2 A_x^{j,k}} (A_y^{i,j+1,k} v^{i,j+1,k} - \right. \\
 & \left. A_y^{i,j,k} v^{i,j,k} + A_z^{i,j,k+1} w^{i,j,k+1} - A_z^{i,j,k} w^{i,j,k}) \right] \left(u^{i,j,k} \right) \\
 & = - g_x \Delta x^i \quad 27.
 \end{aligned}$$

Para $i = ii$ temos:

$$\begin{aligned}
 & \left(p^{ii+1,j,k} \right) - \left(p^{ii,j,k} \right) + \\
 & \frac{\rho}{2 g_c} f_{ch}^{j,k} \left(\frac{A_x^{j,k}}{A_{ch}^{j,k}} \right)^2 |u^{ii,j,k}| \left(u^{ii,j,k} \right) = \frac{g_x \Delta x^{ii} \rho}{g_c} \quad 28.
 \end{aligned}$$

com $j = 1,jj$ e $k = 1,kk$.

b. Conservação da quantidade de movimento na direção y

$$\begin{aligned}
 & \frac{g_c}{\rho} \left(p^{i,j,k} - \frac{g_c}{\rho} p^{i,j-1,k} + .25 (v^{i,j+1,k}) v^{i,j+1,k} - \right. \\
 & \left. .25 (v^{i,j-1,k}) v^{i,j-1,k} + [.5 (v^{i,j+1,k} - v^{i,j-1,k}) + \right. \\
 & \left. \frac{L_y^{j,k}}{2 \Delta x^i} (u^{i+1,j,k} - u^{i+1,j-1,k}) + \frac{N_y^{j,k} f_y^{i,j,k}}{2} |v^{i,j,k}| \right) v^{i,j,k} - \\
 & \frac{L_y^{j,k}}{2 \Delta x^i} (u^{i,j,k} + u^{i,j-1,k}) v^{i-1,j,k} = - L_y^{j,k} g_y \quad 29.
 \end{aligned}$$

com $i = 1, i_{i-1}$; $j = 2, j_{j-1}$ e $k = 1, k_k$

c. Conservação da quantidade de movimento na direção z

$$\begin{aligned}
 & \frac{g_c}{\rho} \left(p^{i,j,k} - \frac{g_c}{\rho} p^{i,j,k-1} + .25 (w^{i,j,k+1}) w^{i,j,k+1} - \right. \\
 & \left. .25 (w^{i,j,k-1}) w^{i,j,k-1} + [.5 (x^{i,j,k+1} - w^{i,j,k-1}) + \right. \\
 & \left. \frac{L_z^{j,k}}{2 \Delta x^i} (u^{i+1,j,k} + u^{i+1,j,k-1}) + \frac{N_z^{j,k} f_z^{i,j,k}}{2} |w^{i,j,k}| \right) w^{i,j,k} - \\
 & \frac{L_z^{j,k}}{2 \Delta x^i} (u^{i,j,k} + u^{i,j,k-1}) w^{i-1,j,k} = - L_z^{j,k} g_z \quad 30.
 \end{aligned}$$

com $i = 1, i_{i-1}$; $j = 1, j_j$ e $k = 2, k_{k-1}$.

Nas Equações (27), (28), (29) e (30), as variáveis do sistema de equações lineares são as circuladas, os demais termos são tomados como coeficientes e, vêm da iteração anterior ou são valores iniciais. Os valores absolutos nos termos de atrito foram utilizados para se preservar a direção da queda de pressão.

2.4.3- Programa e Método de Solução

A técnica de linearização utilizada, requer a solução repetida de um grande sistema de equações algébricas lineares (268 equações para $II = 5$ níveis, $IVV = 16$ subcanais , $JJV = 13$ junções v e $JJW = 10$ junções w). A matriz de coeficientes desse sistema é montada a cada iteração pela subrotina CHICAN (Apêndice II), responsável pelo esquema iterativo de solução do sistema não-linear. A ordem de montagem dessa matriz, responsável pela maior eficiência na solução do sistema, foi baseada na idéia de se manter sempre um elemento diagonal não nulo e, uma faixa de coeficientes o mais compacta possível. Assim, as equações são escritas para os volumes de controle da seguinte forma:

lv Do primeiro ao penúltimo nível ($i = 1, \dots, ii-1$)

a. Equação (27) - IIV equações

b. Equação (3) - IIV equações

c. Equação (29) - JJV equações

d. Equação (30) - JJW equações

29 No último nível ($i = ii$)

- a. Equação (28) - IIV equações
- b. Equação (21) - IIV - 1 equações
- c. Equação (25) - 1 equação

39 No plano inferior ao último nível ($i = ii + 1$)

- a. Equação (22) - JJV equações
- b. Equação (23) - 2 equações
- c. Equação (24) - 1 equação

A forma final dessa matriz, com a indicação da variável correspondente à coluna é mostrada na Figura 13.

Para a solução desse sistema de equações lineares, montado para cada iteração, foram testadas diversas subrotinas, baseadas em métodos diretos e indiretos de solução. A maior eficiência foi obtida na utilização da subrotina MASPI, desenvolvida por Rodriguez /16/ para a solução de sistemas - grandes de equações lineares com matrizes esparsas. Essa subrotina, baseada no método de Fatorização de Crout, possibilita a solução do sistema de 268 equações em 10. segundos de processamento no IBM/370 modelo 155 do IPEN. Esse tempo pode ser reduzido para aproximadamente 2. segundos se o objetivo for unicamente a obtenção das temperaturas de saída dos fluidos, não interessando as distribuições de velocidades, pressões e temperaturas. Isso é possível com a especificação de somente dois níveis por chicana ($II = 2$), e que

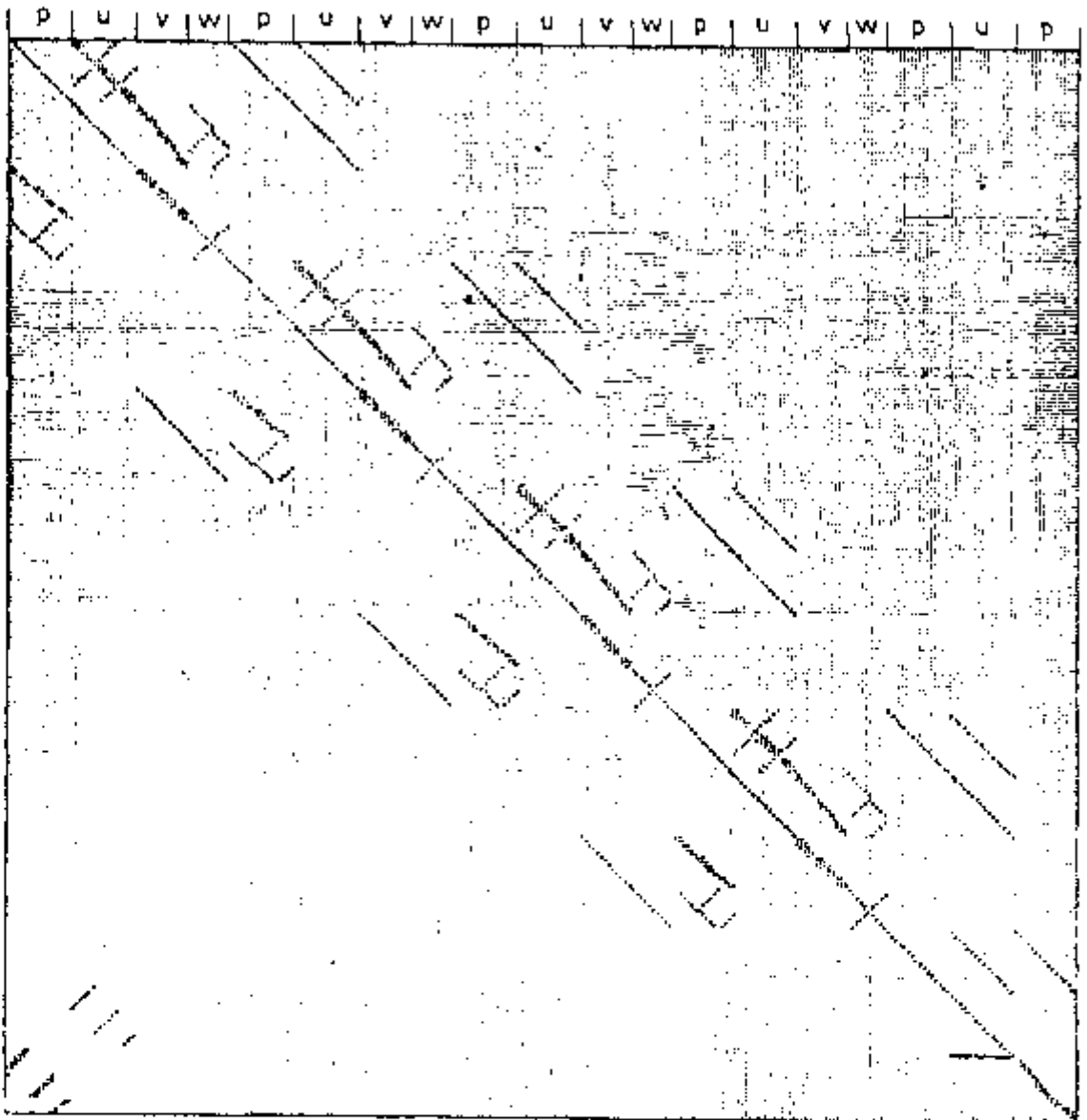


FIGURA 13 - Esquema da Matriz de Coeficientes do Sistema Linear Gerado pelo escoamento do fluido de carcaça

reduz o sistema à apenas 103 equações.

O critério utilizado na averiguação da convergência da solução do sistema não-linear é baseado na comparação de uma certa porcentagem de componentes de velocidade axiais (u) (poderia ser v também ou u e v) de uma iteração com as componentes utilizadas na linearização dessa mesma iteração. Nessa verificação, não são comparadas as componentes laterais (w) que, devido serem normalmente muito menores que as axiais (u) e as laterais (v), podem oscilar indefinidamente. Para o trocador apresentado neste trabalho, essa convergência não é atingida para o maior número de níveis pois, devido à sua construção, para qualquer regime de escoamento há a formação de redemoinhos (reversão de fluxo - Figura 14) o que provoca uma grande instabilidade no sistema. Assim, não satisfazendo o critério de convergência, foi limitado o número de iterações em apenas 11, o que é suficiente para uma convergência em torno de 1% sobre as velocidades axiais (u) para o mesmo trocador com um aumento de 30% nas folgas das chicanas, o que elimina a formação dos redemoinhos. Essa reversão de fluxo pode também ser eliminada do modelo utilizando-se comprimentos maiores de níveis. Para este trocador, isso só ocorre na utilização de dois níveis por chicana (II=2) quando então, o sistema converge na sexta (6ª) iteração.

2.5- Distribuição de Velocidades

A distribuição de velocidades ao longo de todo o trocador é feita pela subrotina DISVEL (Apêndice II). Os resultados, obtidos pela solução das equações de conservação escritas pa

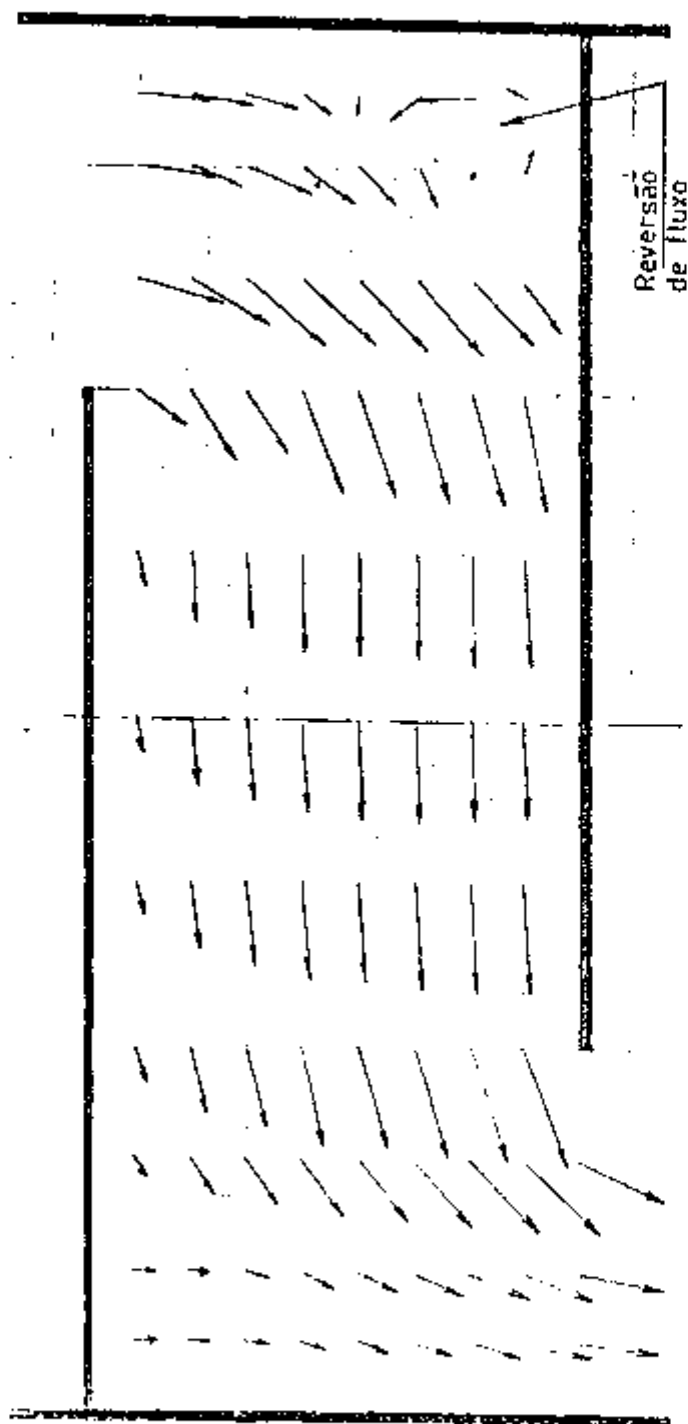


FIGURA 14 - Escoamento entre Chicanas com a Ocorrência de Reversão de Fluxo.

ra o trecho entre duas chicanas modelado, são estendidos para os demais intervalos (hipótese de fluxo repetitivo). As velocidades nos níveis de entrada e saída são avaliadas através de balanços de massa nos seus volumes de controle que, devem satisfazer as vazões através da chicana. A simplificação mais importante neste trabalho está no fato de se considerar que não há fluxo na direção z para os volumes centrais nesses níveis, isto é, as junções w centrais são ficticiamente bloqueadas de tal modo que uma distribuição aproximada de velocidades pode ser obtida sem a solução das equações de conservação da quantidade de movimento para essas regiões. Para alguns dos volumes externos (encostados à carcaça) é assumida uma proporção entre os fluxos laterais (direções y e z) que possibilita a obtenção das velocidades nos canais formados pelos bloqueios (Figura 15).

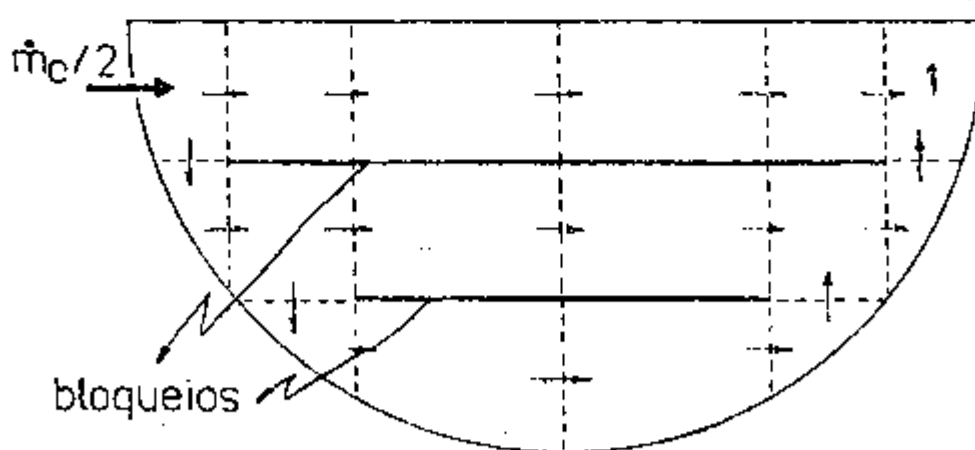


FIGURA 15 - Nível de Entrada.

A Equação (31) representa o balanço realizado para o volume mostrado na Figura 16 (IV = 1), o qual se encaixa nessa simplificação. A proporção de fluxo é assumida na forma da variável "PRD", utilizando-se a mesma notação do programa.

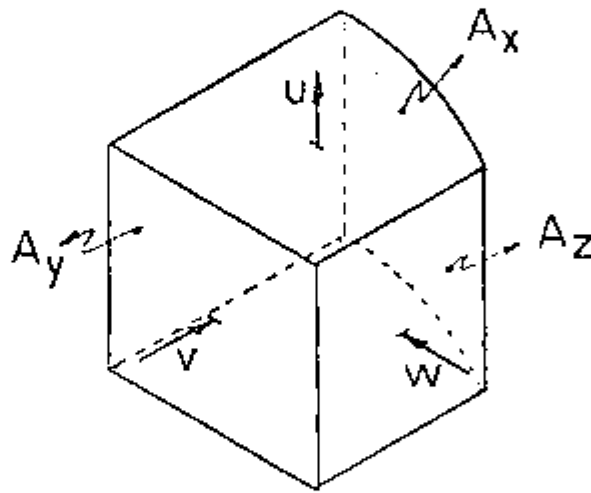


FIGURA 16 - Volume do Nível de Entrada (IV = 1).

$$u A_x = v A_y + w A_z \quad 31.$$

$$\text{com } v.A_y = \text{PRD}.u.A_x \text{ ou } w.A_z = (1-\text{PRD}).u.A_x$$

aonde u é a componente axial de velocidade através da chicana, A_x , A_y e A_z são as áreas do subcanal, da junção- v e da junção- w respectivamente, v e w as componentes laterais de velocidade a serem determinadas e PRD a proporção de fluxo admitida, que deve oscilar entre 70 e 80%.

Essa simplificação vai ser de maior influência justamente neste modelo apresentado, com apenas três chicanas e, portanto, as regiões de entrada e saída são responsáveis por grande parte do calor trocado. Nos trocadores mais comuns, o número de chicanas é bem mais elevado, tendo os níveis de entrada e saída pouca influência na troca de calor. A influência dessa simplificação é verificada no Capítulo 9 através de uma análise paramétrica.

3. ESCOAMENTO DO FLUIDO DOS TUBOS

3.1 - Introdução

Através da solução das equações de conservação de massa e da perda de carga para um fluido em escoamento isotérmico e regime permanente, escritas para uma rede de tubos com resistências hidráulicas diferentes e interligados por pressões de entrada e saída, são calculadas velocidades para cada comprimento de tubo "U", a vazão para um sistema "by-pass" (desvio) complementar e a perda de pressão no lado dos tubos. Para cada grupo de tubos, é avaliada uma velocidade média em função do número de tubos e da velocidade em cada tubo do grupo. O sistema "by-pass" no lado dos tubos, comum a todos os trocadores, foi considerado no modelo de uma forma genérica, independente do seu tipo. No resfriador apresentado neste trabalho, o sistema "by-pass" foi construído interno ao trocador devido à impossibilidade técnica de outro sistema e se apresenta como forma inédita no controle desse tipo de trocadores (Figura 17).

3.2 - Modelo

Assumindo-se que todos os tubos estão submetidos às mesmas pressões de entrada e saída, é possível a simulação da rede de tubos da Figura 18, aonde cada ramo representa um grupo de tubos de mesma resistência hidráulica (determinada pelo comprimento do tubo) e, o número de ramos é o número de comprimentos de tubos diferentes. Assim, podem ser

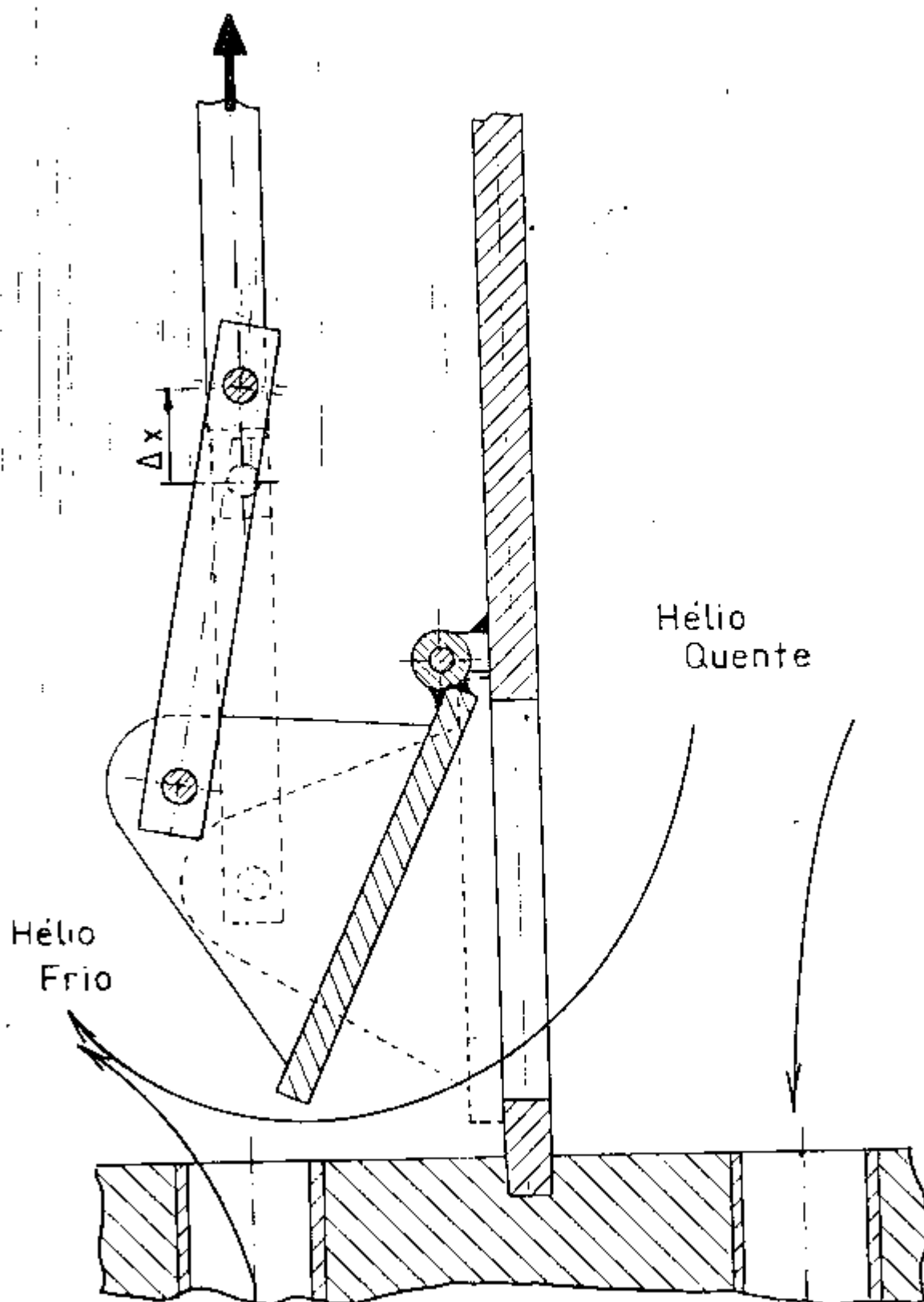


FIGURA 17 - Sistema "by-pass" do Resfriador de Hélio do IPEN.

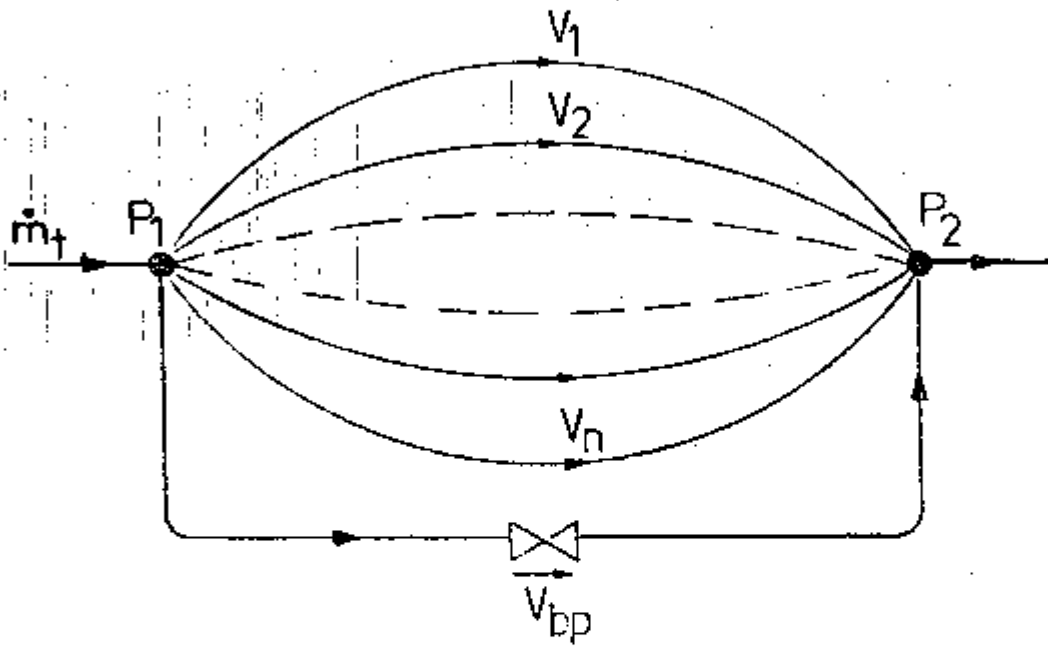


FIGURA 18 - Rede de Tubos

escritas as equações para a perda de carga distribuída ao longo dos tubos e para a perda de carga localizada na válvula do "by-pass". O nível de pressões é estabelecido pela pressão de entrada no sistema. O balanço de massa, aplicado a um dos nós com o fornecimento da vazão do fluido, vai completar o sistema. Para a rede de tubos da Figura 18, são definidos:

v_t	: velocidade em cada ramo	- m/s
P_1	: pressão na entrada do sistema	- bar
P_2	: pressão na saída do sistema	- bar
v_{bp}	: velocidade baseada na área mínima de fluxo através da válvula do "by-pass"	- m/s
NL	: número de comprimentos diferentes de tubos.	

Assim, o número de variáveis envolvidas no sistema é:

a. Válvula do "by-pass" fechada:

$$v_t : NL$$

$$P_2 : 1$$

$$\text{Total: } NL + 1$$

b. Válvula do "by-pass" aberta:

$$v_t : NL$$

$$v_{bp} : 1$$

$$P_2 : 1$$

$$\text{Total: NL} + 2$$

Dessa forma, para um sistema com $N = 95$ tubos mas, com apenas $NL = 7$ diferentes comprimentos (caso do resfriador - modelado), temos um máximo de 9 variáveis a serem determinadas ("by-pass" aberto).

O equacionamento para esse modelo segue nos itens abaixo.

||

3.3 - Equacionamento

3.3.1- Perda de Carga nos Tubos

A equação que representa a perda de pressão distribuída ao longo de um tubo é:

$$P_1 - P_2 = f^i \frac{L^i}{d_i} \frac{\rho_t (v_t^i)^2}{2 g_c}, \quad i = 1, NL \quad 32.$$

aonde os termos definidos são:

- L : comprimento do tubo - m
- d_i : diâmetro interno do tubo - m
- ρ_t : densidade média do fluido - kg/m^3
- g_c : fator de conversão de unidades ($g_c = 10^5$) - $\text{N/m}^2 \text{ bar}$
- f : fator de atrito no tubo (Capítulo 5).

3.3.2 - Perda de Carga no "by-pass"

Para a queda de pressão localizada na válvula do "by-pass", a equação é:

$$p_1 - p_2 = f_{bp} \rho_{bp} \frac{v_{bp}^2}{2 g_c} \quad 33.$$

aonde os termos definidos são:

ρ_{bp} : densidade de entrada do fluido - kg/m^3

f_{bp} : fator de atrito na válvula do "by-pass"

3.3.3 - Conservação de Massa

Para um dos nós da rede, o balanço de massa é dado pela Equação (34).

$$\rho_{bp} A_{bp} v_{bp} + A_t \rho_t \sum_{i=1}^{NL} n^i v_t^i = \dot{m}_t \quad 34.$$

aonde os termos definidos são:

A_t : área interna de um tubo dada por

$$A_t = \pi d_i^2 / 4 \quad - \text{m}^2$$

A_{bp} : área mínima de fluxo na válvula do "by-pass" - m^2

n^i : número de tubos de cada comprimento L^i

\dot{m}_t : vazão em massa do fluido dos tubos - kg/s

3.4 - Método de Solução

3.4.1- Linearização

As equações de perda de carga nos tubos e "by-pass" , são linearizadas da mesma forma que as equações de conservação de quantidade de movimento para o fluido de carcaça. A forma final dessas equações, desenvolvidas e linearizadas é dada nas Equações (35) e (36) , respectivamente para os tubos e "by-pass".

$$f^i |v_t^i| L^i \left(v_t^i \right) + \frac{2 g_c d_i}{\rho_t} \left(P_2 \right) = \frac{2 g_c d_i}{\rho_t} P_1 \quad 35.$$

$$f_{bp} \rho_{bp} v_{bp} \left(v_{bp} \right) + 2 g_c \left(P_2 \right) = 2 g_c P_1 \quad 36.$$

onde as variáveis do sistema linear estão envolvidas pelos círculos, os demais termos são tomados como coeficientes e, vêm da iteração anterior ou são valores iniciais . Da mesma forma que para o fluido de carcaça, os valores absolutos nos termos de atrito são para se preservar a direção da queda de pressão.

3.4.2 - Programa e Método de Solução

Da mesma maneira que para o fluido de carcaça, a solução do sistema não-linear de equações é baseada na solução repetida do sistema de equações algébricas linearizadas (9 equações para 7 tamanhos de tubos e sistema "by-pass" aberto), geradas pelas equações de perda de carga e conser-

vação de massa. O esquema iterativo e a montagem das matrizes de coeficientes (Figura 19) são executados pela subrotina BYPASS (Apêndice II). A solução do sistema linear é obtida pela mesma subrotina MASPI utilizada para a solução do escoamento do fluido de carcaça.

V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	P_2	V_{bp}
X							X	
	X						X	
		X					X	
			X				X	
				X			X	
					X		X	
						X	X	
							X	X
X	X	X	X	X	X	X		X

FIGURA 19 - Matriz de Coeficientes dos Tubos.

Os fatores de atrito e as propriedades do fluido, avaliados para condições médias de pressão e temperatura, são renovados a cada iteração, acompanhando as variações de pressão e velocidades na solução do sistema. No esquema geral de solução termo-hidráulica do trocador, existe uma opção para reavaliação das velocidades nos tubos com a variação das temperaturas ao longo do trocador. Essa opção é detalhada no Capítulo 5 e, sua influência é analisada no Capítulo 9.

O critério de verificação de convergência da solução do sistema não-linear é baseado também na comparação das velocidades de uma iteração com aquelas utilizadas na linearização dessa mesma iteração. São comparadas todas as velocidades. Não se utiliza a pressão nessa comparação. Foi observado que são necessárias apenas 11 iterações para uma convergência em torno de 1%.

A utilização do sistema "by-pass" complementar neste modelo, requer o fornecimento de dados sobre o coeficiente de atrito na válvula do mesmo. O programa elaborado para este modelo considera os dados necessários através das "FUNCTIONS" PATRIA e AREABP. Para a válvula tipo comporta utilizada no resfriador modelado neste trabalho (Figura 17), foi considerado um fator de atrito igual a um ($f_{bp} = 1.$), ou seja, todo o aumento de velocidade na abertura é transformado em perda de pressão: $\Delta p = \rho_{bp} v_{bp}^2 / 2 g_c$. Isso é válido em se tratando de altos valores de Reynolds, como ocorre na comporta. A abertura da comporta do "by-pass" foi equacionada e, fornece a área mínima de fluxo em função do número de voltas do parafuso de controle (Figura 20). Essa função é fornecida no programa pela FUNCTION AREABP, detalhada no

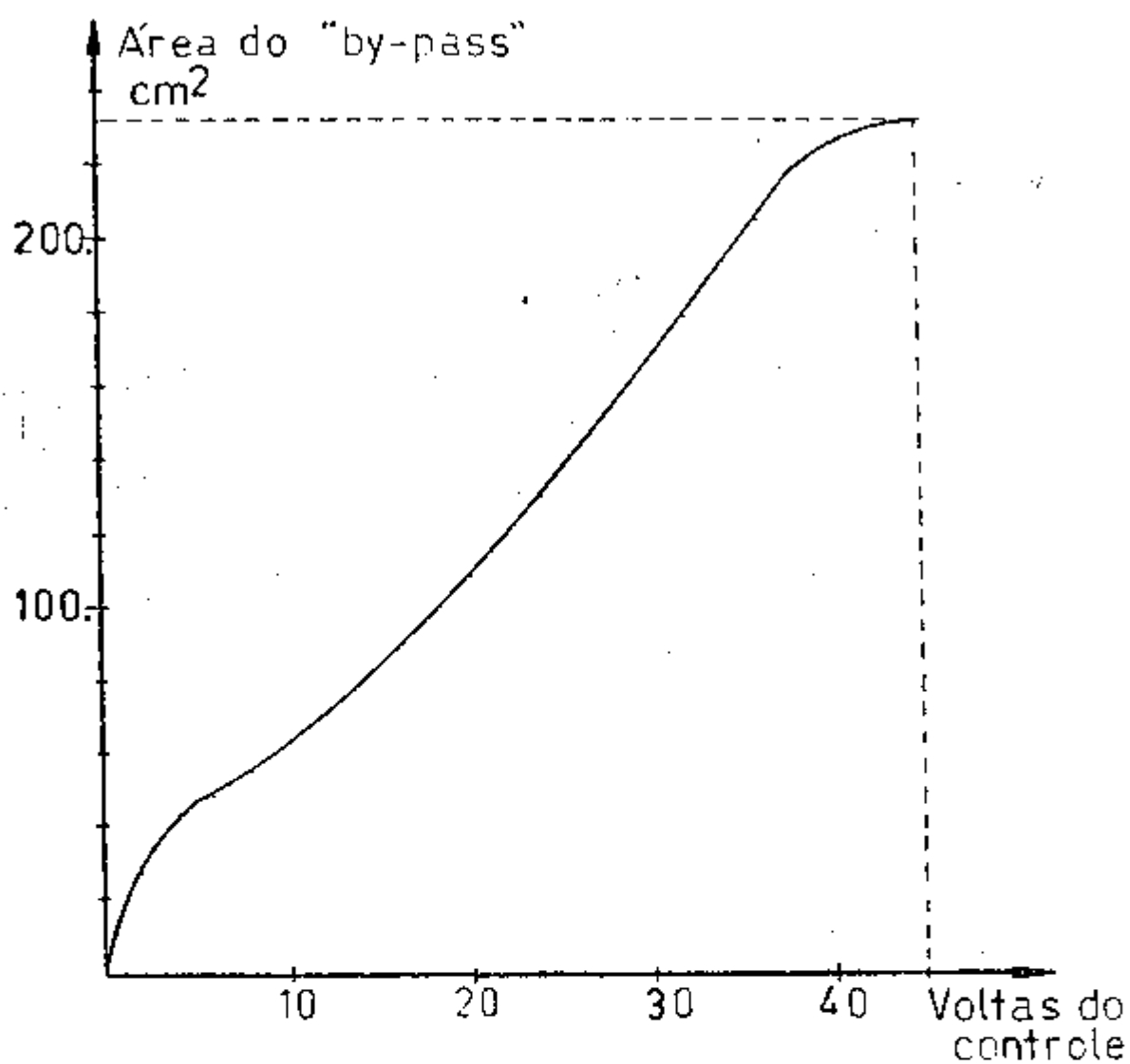


FIGURA 20 - Variação na Área Mínima de Fluxo na Comporta do "by-pass" com o Número de Voltas do Parafuso de Controle.

Apêndice II.

3.5 - Distribuição das Velocidades

A distribuição das velocidades para cada grupo de tubos associados a um subcanal, feita também pela subrotina BYPASS, é baseada na média ponderada definida pela Equação (37).

$$u_{j,k}^t = \frac{\sum_{i=1}^{NL} v_t^i (n^i)_{j,k}}{\sum_{i=1}^{NL} (n^i)_{j,k}} \quad 37.$$

onde $(n^i)_{j,k}$ representa o número de tubos de comprimento L^i que pertence ao grupo j,k .

Assim, fica considerada uma velocidade média no grupo de tubos associados ao subcanal j,k constante em todo o comprimento do grupo.

4. DISTRIBUIÇÕES DE TEMPERATURAS

4.1- Introdução

As distribuições das temperaturas dos fluidos dos tubos e carcaça são obtidas pela solução das equações de energia, escritas para todos os volumes de controle do modelo da Figura 8. Essas equações, desacopladas das de conservação de massa e quantidade de movimento pela simplificação de escoamento isotérmico dos fluidos de carcaça e tubos, são não-lineares em todas as propriedades dos fluidos, exceto nas densidades (para consistência com a avaliação das velocidades) e, portanto nos coeficientes de transferência de calor. Através do esquema iterativo de solução porém, podem ser consideradas não-lineares nas velocidades do fluido dos tubos que, podem ser reavaliadas periodicamente. A reavaliação das velocidades do fluido de carcaça não é viável pois a solução do sistema necessário para sua obtenção demanda um grande tempo de processamento e, não se justifica em se tratando de um fluido não muito viscoso (água).

4.2- Modelo

As temperaturas dos fluidos de carcaça (T_c) e tubos (T_t) são definidas como médias nos volumes de controle de todo o modelo. A consideração de somente um nível para a região de entrada e, a associação intrínseca entre subcanal e grupo de tubos, forçou uma separação dos

tubos na parte curva ("U"). Foi considerado que cada grupo de tubos sã troca calor com o fluido de carcaça nos volumes de controle a ele associados, não se considerando os demais volumes por ele interceptados. Essa simplificação tem influência somente no cálculo da troca de calor nesse nível e, não deve afetar o comúto geral pois, representa apenas uma pequena parte do trocador, principalmente se o número de chicanas for mais elevado. A Figura 21 apresenta essa simplificação na forma de uma retificação da parte curva dos tubos.

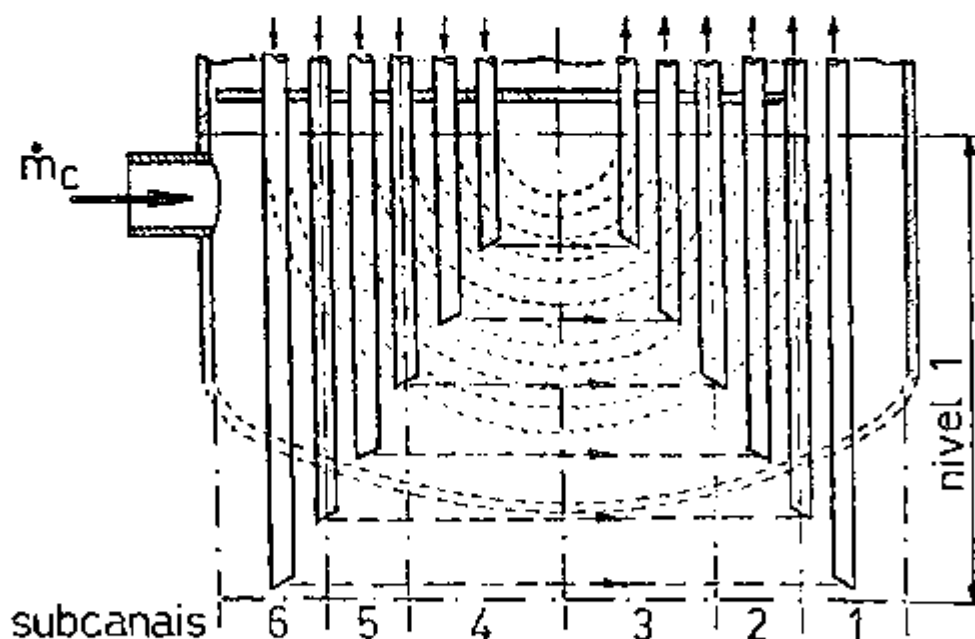


FIGURA 21- Modelo para a Curva dos Tubos.

Com essa simplificação e, dispondo-se das distribuições de velocidades dos fluidos, podem ser escritas as equações de energia, obtidas por meio de balanços térmicos em cada volume de controle. Segue-se o equacionamento para estado estacionário.

4.3- Equacionamento

4.3.1- Conservação de Energia para o Fluido de Carcaça

No Código Nuclear COBRA IIIC/11/, a equação de energia em estado estacionário, para um volume de controle de um subcanal i adjacente a um único subcanal j (Figura 22) é da forma da Equação (38).

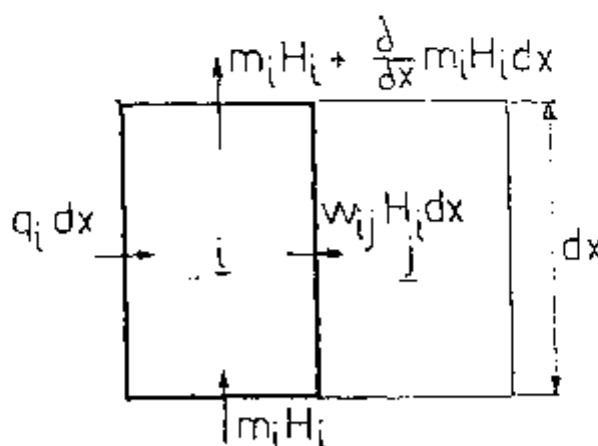


FIGURA 22 - Volume de Controle (COBRA)

$$\frac{\partial m_i H_i}{\partial x} = q_i + (H_j - H_i) W'_{i,j} - W_{i,j} H_i - c_{i,j} (t_i - t_j) \quad 38.$$

aonde os termos definidos são:

m : fluxo de massa

H : entalpia

q : fluxo de calor

W' : componente de mistura turbulenta

W : componente de fluxo cruzado

$$c_{i,j} = \left(\frac{c}{2} \right) \frac{k_i - k_j}{2} \quad 39.$$

aonde k é a condutividade térmica do fluido e c a folga na interface dos subcanais, provocada pela mistura turbulenta.

O lado direito dessa equação de energia contém quatro termos de transporte de energia para fluxo através de um feixe de barras de um elemento combustível. O primeiro termo representa o calor trocado entre o combustível e o fluido e é dado pelo calor gerado nas barras do subcanal. O segundo termo considera o transporte turbulento de entalpia entre todos os subcanais interligados. O terceiro representa a entalpia transportada pelas componentes de fluxo cruzado e o quarto termo, considera a condutividade térmica entre os subcanais.

Ao contrário dos reatores nucleares, aonde é conhe-

cido o calor gerado nas barras combustíveis, neste modelo, esse termo é substituído por um termo de troca de calor. Também não são considerados os termos de mistura turbulenta que, além de já serem incluídos nas correlações para coeficientes de transferência de calor, não se conhece seu efeito separadamente dos demais, que só deve ser significativo em subcanais longos e com pouco fluxo cruzado.

Assim, a equação de energia para este modelo resume-se na soma das entalpias transportadas pelas diversas componentes de fluxo, isto é, os termos convectivos, com o termo de transferência de calor no volume (Equação 40).

$$(\dot{\Delta m} H)_x + (\dot{\Delta m} H)_y + (\dot{\Delta m} H)_z + Q = 0 \quad 40.$$

aonde $\dot{\Delta m} H$ representa a diferença das entalpias transportadas na direção considerada e Q o calor trocado no volume:

Dessa forma, os termos da Equação (40) são:

a. Calor trocado no volume:

$$Q^{i,j,k} = A_{tr}^{i,j,k} U^{i,j,k} (T_t^{i,j,k} - T_c^{i,j,k}) \quad 41.$$

aonde os índices c e t referem-se respectivamente aos fluidos de carcaça e tubos e os termos definidos são:

A_{tr} : área de transferência de calor no volume - m^2

U : coeficiente global de transferência de calor no volume (Capítulo 5) - $w/m^2 \cdot ^\circ C$

T : temperatura do fluido, média no volume - °C

b. Termos Conservativos:

Para o volume de controle da Figura 9 , as contribuições das entalpias transportadas pelas componentes de fluxo são:

$$(\Delta \dot{m} H)_x = \rho_c C_{p_c} A_x^{j,k} (u^{i,j,k} T_c^{i-1,j,k} - u^{i+1,j,k} T_c^{i,j-1,k}) \quad 42.$$

$$(\Delta \dot{m} H)_y = \rho_c C_{p_c} (A_y^{i,j,k} v^{i,j,k} T_c^{i,j-1,k} - A_y^{i,j+1,k} v^{i,j+1,k} T_c^{i,j,k}) \quad 43.$$

$$(\Delta \dot{m} H)_z = \rho_c C_{p_c} (A_z^{i,j,k} w^{i,j,k} T_c^{i,j,k-1} - A_z^{i,j,k+1} w^{i,j,k+1} T_c^{i,j,k}) \quad 44.$$

aonde os novos termos definidos são:

ρ_c : densidade do fluido de carcaça - kg/m³

C_{p_c} : calor específico à pressão constante - j/kg.°C

c. Equação da energia para o fluido de carcaça :

A forma final da equação é:

$$\begin{aligned}
 & \rho_c C_{Pc} [A_x^{j,k} (u^{i,j,k} T_c^{i,j,k} - u^{i+1,j,k} T_c^{i,j,k}) + \\
 & (A_y^{i,j,k} v^{i,j,k} T_c^{i,j-1,k} - A_y^{i,j+1,k} v^{i,j+1,k} T_c^{i,j,k}) + \\
 & (A_z^{i,j,k} w^{i,j,k} T_c^{i,j,k-1} - A_z^{i,j,k+1} w^{i,j,k+1} T_c^{i,j,k})] + \\
 & A_{tr}^{i,j,k} u^{i,j,k} (T_t^{i,j,k} - T_c^{i,j,k}) = 0 \quad 45.
 \end{aligned}$$

4.3.2- Equação de Energia para o Fluido dos tubos

Neste modelo, aonde as velocidades do fluido dos tubos são constantes ao longo de todo o comprimento de cada grupo de tubos, a equação de energia vai se resumir - na soma da entalpia transportada pela velocidade média no grupo de tubos (u_t) com o calor trocado:

$$\Delta \dot{m}_t H_t + Q = 0 \quad 46.$$

aonde os termos definidos são:

a. Transporte de entalpia:

$$\Delta \dot{m}_t H_t = \rho_t u_t^{j,k} A_t^{j,k} C_{Pt} (T_t^{i-1,j,k} - T_t^{i,j,k}) \quad 47.$$

aonde $A_t^{j,k}$ é definida como a soma das áreas internas dos tubos do grupo correspondente ao subcanal j,k (m^2).

b. Calor trocado:

$$Q^{i,j,k} = A_{tr}^{i,j,k} u^{i,j,k} (T_c^{i,j,k} - T_t^{i,j,k}) \quad 48.$$

c. Equação da energia para o fluido dos tubos :

A forma final dessa equação é:

$$\rho_t A_t^{j,k} u_t^{j,k} C_{p_t} (T_t^{i-1,j,k} - T_t^{i,j,k}) + A_{tr}^{i,j,k} U^{i,j,k} (T_c^{i,j,k} - T_t^{i,j,k}) = 0 \quad 49.$$

4.4- Método de Solução e Programa

4.4.1- Método de Solução

As Equações (45) e (49), se escritas para todos os volumes de controle do trocador, constituem um sistema de equações algébricas não-lineares que deve ser resolvido para a obtenção das distribuições de temperaturas ao longo do trocador. Esse sistema de equações algébricas (416 equações para 3 chicanas, 5 níveis por chicana e 16 subcanais), inviável de solução por métodos indiretos, foi transformado em um sistema de equações diferenciais ordinárias de 1ª ordem que, resolvido pelo método de Euler, reduziu os requisitos de memória e tempo de processamento em computador. Essa transformação foi feita pela introdução de um termo fictício de transiente nas Equações (45) e (49). A forma final das equações de energia fica como representado nas Equações (50) e (51), respectivamente para os fluidos de carcaça e tubos.

$$C^{i,j,k} \left(\frac{T_c^{i,j,k} - T_c^{i,j,k}}{\Delta t} \right) = Q^{i,j,k} + \Sigma (\Delta \dot{m}_{c,H_c})_{k,j,k} \quad 50.$$

$$C^{i,j,k} \left(\frac{\bar{T}_t^{i,j,k} - T_t^{i,j,k}}{\Delta t} \right) = Q^{i,j,k} + (\dot{m}_t \bar{h}_t)^{i,j,k} \quad 51.$$

aonde Δt representa o intervalo de integração correspondente a um intervalo de tempo do transiente fictício e a barra colocada acima das temperaturas indica as incógnitas sendo as demais tomadas do passo anterior ou de valores iniciais. A constante C , foi tomada como sendo o termo de acumulação de energia do transiente real para o fluido mais denso, no caso o fluido de carcaça (água). Ela é definida por:

$$C^{i,j,k} = \rho_c V_c^{i,j,k} C_{v_c} \quad 52.$$

aonde V_c é o volume de fluido de carcaça no volume de controle i, j, k e C_{v_c} o calor específico a volume constante. Foi utilizada a mesma constante C na equação de energia do fluido dos tubos, daí a denominação de "transiente fictício". A solução desse transiente conduz a um regime permanente que é a solução do sistema original. A solução do transiente real, fora do objetivo deste trabalho e, inviável neste modelo aonde, a diferença acentuada nas densidades dos fluidos ocasiona a formação de um sistema rígido, requer a utilização de um intervalo de integração muito pequeno. A rigidez dessa equação poderia ser relaxada retirando-se o termo de transiente da equação do fluido de carcaça para intervalos de integração maiores. Isso poderia aproximar a solução desse sistema ao transiente real mas, no momento, essa alternativa não foi utilizada.

deixando-a para trabalhos posteriores.

O transiente fictício é iniciado a partir de uma distribuição aproximada das temperaturas, estimada das condições de entrada dos fluidos. Essa inicialização é detalhada no programa principal do código ETCHICAN (Apêndice II) e, contribui na eficiência computacional, reduzindo o número de passos até o regime permanente. O transiente é iniciado com a solução da equação de energia do fluido de carcaça escrita para o primeiro volume de controle do primeiro nível. Segue-se a solução da equação do fluido dos tubos para o volume correspondente. Assim, são resolvidas alternadamente as equações de energia (primeiro para o fluido de carcaça em seguida para o dos tubos) para todos os volumes de controle do nível quando segue-se para o nível seguinte. O esquema é repetido até o último nível, quando, é verificado o critério de convergência que é satisfeito quando a diferença percentual entre o calor ganho por um dos fluidos e o perdido pelo outro está dentro de uma dada tolerância. O número de passos até a convergência vai ser função do intervalo de integração, das vazões e temperaturas dos fluidos e da tolerância estipulada. Observou-se que para condições normais de operação, o sistema atinge o regime em aproximadamente 120 passos, utilizando-se uma tolerância de 1% e um intervalo de integração limite para que não haja instabilidade. O tempo de processamento necessário para um passo (solução das 416 equações de energia) foi estimado em torno de .08 segundos de "CPU".

4.4.2 - Intervalo de Integração Crítico

Infelizmente não há um modo preciso de se determinar esse intervalo máximo de integração o que, reduziria o número de passos até a estabilização em regime. O código nuclear COBRA IV, para análise termo-hidráulica do núcleo de reatores nucleares, que utiliza um método numérico parecido mas que considera basicamente fluxo paralelo uniforme (v pequena e u uniforme), avalia o intervalo de integração crítico através da relação $\Delta t_c = \Delta x/u$. Neste modelo porém, as condições são bem mais complicadas - pois, além da componente axial de velocidade (u) não ser uniforme (existem as chicanas), a componente lateral (v) é da mesma ordem de grandeza. Outra diferença reside no fato de ser utilizado o método de Euler para a solução das equações de energia neste modelo. Assim, para se avaliar pelo menos a ordem de grandeza desse intervalo crítico de integração, pode-se fazer analogia à uma equação diferencial linear ordinária de 1ª. ordem da forma de:

$$\frac{dy}{dt} = a y \quad 53.$$

cuja solução é dada por

$$y = c e^{-at} \quad 54.$$

Sabe-se que o intervalo crítico de integração dessa equação, utilizando-se o método de Euler é dado por $\Delta t_c = 2\tau$, com τ definido por $\tau = 1/a$.

Dessa forma, após algumas simplificações nas equações de energia (Equações 50 e 51) podemos definir uma constante a na forma da Equação (55).

$$a = \frac{Cp_c}{Cv_c} \left[\frac{u}{\Delta x} + \frac{v}{p} \right] \quad 55.$$

aonde u pode ser considerada como a velocidade axial na janela da chicana supondo toda a vazão passar através dela (área S_p) e v a velocidade para fluxo cruzado na região média do trocador entre duas chicanas (área S_c). Pode-se considerar Δx o maior intervalo aonde ocorre uma variação de u , sendo pois a maior altura de nível Δx e p a distância entre duas fileiras consecutivas de tubos. Assim, para o trocador modelado, com uma área na janela $S_p = .0397 \text{ m}^2$, uma área média de fluxo cruzado $S_c = .0326 \text{ m}^2$ e uma distância entre centros de tubos $p = .031 \text{ m}$, em uma operação cuja vazão em massa do fluido de carcaça é $\dot{m}_c = 2.09 \text{ kg/s}$, com uma densidade $\rho_c = 985. \text{ kg/m}^3$ e calores específicos iguais a $Cp_c = 4180.$ e $Cv_c = 3180. \text{ j/kg.}^\circ\text{C}$ e, para cinco níveis por chicana com um Δx máximo igual a $.048 \text{ m}$, chegamos à um intervalo crítico dado por $\Delta t_c = 2/a$ igual a $.48$ segundos. Considerando-se somente dois níveis por chicana, o comprimento máximo de um nível passa a ser $\Delta x = .162 \text{ m}$, chegando-se à um intervalo $\Delta t_c = .63$ segundos. Para essas condições, neste modelo, foi observado que a convergência só é atingida para um intervalo $\Delta t \leq .69$ segundos com cinco divisões e $\Delta t \leq .75$ segundos com duas divisões por chicana, o que parece justificar a estimativa da ordem de grandeza do intervalo de integração crítico pela aproximação mencionada.

Nota-se que não foi considerada influência do fluido dos tubos nessa avaliação, isso justifica-se pois neste modelo, a densidade do fluido dos tubos é muito menor que a do fluido de carcaça e, foi utilizado o termo fictício de transiente baseado na densidade do fluido de carcaça, nas duas equações de energia.

4.4.3- Programação

O programa principal do Código ETCHICAN, elaborado para a solução numérica deste modelo, é responsável pela solução das equações de energia e pelo estabelecimento das ligações entre todas as subrotinas utilizadas. Esse programa, detalhado no Apêndice II, foi equipado para resolver as equações de energia, com as seguintes opções:

1. Intervalo de reavaliação dos coeficientes de transferência de calor.

No decorrer do transiente fictício de temperaturas, os coeficientes de transferência de calor são reavaliados a cada intervalo de tempo. Esse intervalo é determinado pela variável ITL (mesma notação do programa) que, especifica o número de iterações entre cada reavaliação. A influência dessa variável é estudada no Capítulo 9.

2. Reavaliação do intervalo de integração

As variações de temperaturas, de iteração a iteração, vão diminuindo com o desenvolvimento do transiente, principalmente nas proximidades do estado estacionário. Dessa

forma, aquele intervalo de integração crítico inicial pode perder a sua validade. Assim, com o decorrer do transiente, é possível o aumento desse intervalo sem causar divergência na solução. O programa foi elaborado com duas opções, definidas pela variável ITIME (mesma notação do programa):

ITIME = 0 - sem reavaliação

ITIME > 0 - com reavaliação.

Na opção de reavaliação do intervalo de integração, é registrada a variação máxima de temperaturas da primeira para a segunda iteração, o intervalo Δt é compensado à cada iteração para manter essa variação desde que esse novo intervalo não ultrapasse um valor máximo estipulado. A influência dessas opções é analisada detalhadamente no Capítulo 9.

3. Reavaliação das velocidades nos tubos

Para se verificar a influência da reavaliação das velocidades do fluido dos tubos, o programa foi preparado com uma opção que permite essa reavaliação paralelamente com a dos coeficientes de transferência de calor, portanto, à cada ITL iterações. Essa opção é selecionada através da variável IOPT.

IOPT = 0 - sem reavaliação

IOPT > 0 - com reavaliação.

A influência dessa opção é verificada no Capítulo 9.

4. Sistema "by-pass" do fluido de carcaça

Neste modelo há a possibilidade de se considerar também o desvio de parte do fluido de carcaça, através de um sistema (adiabático) externo ao trocador. Isso é possível mediante o fornecimento da vazão em massa nesse sistema na forma da variável G , além da vazão em massa na carcaça, através da variável VAT . Na ausência desse sistema, deve ser associado o valor zero (0) à variável G .

5. FATORES DE ATRITO

5.1- Introdução

Como já discutido nos Capítulos 2 e 3, o modelo numérico requer dados sobre fatores de atrito para fluxo interno à tubos, cruzado e paralelo à feixes de tubos e , através dos orifícios das chicanas.

Todos os dados sobre fatores de atrito utilizados neste modelo foram tomados da literatura, baseando-se principalmente nos estudos de Konuk /13/ que pesquisou correlações para os fatores de atrito nas chicanas e, verificou a influência paramétrica de outros fatores de atrito do fluido de carcaça nos resultados obtidos em um modelo semelhante à este.

5.2- Fatores de Atrito para Fluxo Cruzado à Tubos

Os fatores de atrito para fluxo cruzado à feixes de tubos são definidos na forma da Equação (14),

$$\Delta p = \frac{\rho}{2 g_c} N f_{cr} v^2 \quad (14')$$

aonde N é o número de fileiras na direção do fluxo e v a velocidade baseada na área mínima de fluxo. O número de Reynolds, Re, é baseado no diâmetro dos tubos (d_e).

As correlações para f_{cr} , extraídas de curvas experimentais de perda de carga, são dadas como função do arranjo geométrico dos tubos (triangular ou quadrado) e da relação p/d (distância entre centros/diâmetro).

Para arranjo triangular dos tubos, deve-se utilizar correlações diferentes para as direções y e z . Konuk apresenta estudos detalhados para esse arranjo utilizados em seu modelo /13/. No modelo apresentado neste trabalho, como os tubos estão colocados em arranjo quadrado, foi utilizada a mesma correlação para o cálculo de f_{cr} nas duas direções ($f_y = f_z$). As correlações utilizadas, baseadas em uma recomendação de Eckert /17/ foram extraídas dos diagramas de Zhukauskas /18/. Para a geometria deste modelo, com uma relação $p/d = 1.24$, foram utilizadas as expressões das Equações (56), (57), (58) e (59), aproximadas da curva para $p/d = 1.25$.

$$f_{cr} = 200/Re \quad , \quad Re \leq 200 \quad 56.$$

$$f_{cr} = 38.26 Re^{-.678} \quad , \quad 200 < Re \leq 600 \quad 57.$$

$$f_{cr} = .5 \quad , \quad 600 < Re \leq 1000 \quad 58.$$

$$f_{cr} = 1.1 Re^{-.111} \quad , \quad Re > 1000 \quad 59.$$

Essas correlações são fornecidas ao programa através da função "FUNCTION CROSSF" (Apêndice II).

5.3- Fatores de Atrito para Fluxo Paralelo à Tubos

O fator de atrito para fluxo paralelo, utilizado tan

to para o fluido de carcaça como para o fluido dos tubos é definido pela Equação (60).

$$\Delta p = f_p \frac{L}{D_H} \frac{\rho v^2}{2 g_c} \quad 60.$$

onde L é o comprimento do tubo ou a altura do nível (Δx) considerado, v a velocidade do fluido (u ou u_t) e D_H o diâmetro hidráulico do subcanal para o fluido de carcaça.

Foi utilizada a correlação de Rehme /19/, obtida para escoamento paralelo externo à feixes de tubos (Equação 61) mas que, também atende escoamento interno à dutos na comparação com a equação de Blasius.

$$f_p = .3 Re^{-.243} \quad , \quad Re > 2400 \quad 61.$$

Para regime laminar de escoamento ($Re \leq 2400$), foi utilizada a equação de Poiseuille dada pela Equação (62).

$$f_p = 64/Re \quad , \quad Re \leq 2400 \quad 62.$$

Esses fatores de atrito são fornecidos ao modelo numérico através da função "FUNCTION FABRIC" (Apêndice II).

5.4 - Fatores de Atrito nos Orifícios das Chicanas

Na literatura podemos encontrar alguns trabalhos para casos gerais desse tipo de escoamento. Sullivan e Bergelin /20/ correlacionaram coeficientes de perda de carga para orifícios anulares formados por um tubo passando através de um furo, analogamente à uma chicana. Em outro traba

lho, Bell e Bergelin /21/ avaliaram esses coeficientes para orifícios formados por um disco inserido em um tubo , para cerca de 21 geometrias de orifícios que, também, apresentaram resultados utilizáveis na avaliação da perda de carga das folgas entre tubos e furos das chicanas. Porém , todos esses trabalhos foram baseados em escoamento perpendicular aos orifícios. No caso de um trocador com chicanas, esse fluxo é muito mais complexo e segue, basicamente, dois moldes. Na parte da chicana imediatamente abaixo da janela da chicana anterior, o fluxo é paralelo aos tubos e a atinge quase perpendicularmente enquanto que na sua parte central, o fluxo é bastante inclinado. A Figura 23 mostra um exemplo típico de escoamento entre duas chicanas, através de vetores indicativos das velocidades em cada ponto . A mesma figura mostra também a separação da chicana em três regiões. A configuração desse fluxo é basicamente uma função da geometria do trocador e da taxa de fluxo. Nenhuma correlação pode ser utilizada para o cálculo dos fatores de atrito na chicana que considere esses efeitos de inclinação. Konuk foi quem pesquisou essa separação em regiões de atrito distintas na chicana. Utilizando-se de uma seção de testes apropriada, simulou o escoamento sobre uma chicana, medindo as proporções de vazão e as quedas de pressão através da mesma, para vários ângulos de incidência do fluxo. Konuk obteve correlação representativas para fatores de atrito nas regiões 2 e 3 (Figura 23) e para escoamento direto sobre a chicana, isolado por um tubo guia, que se aproxima mais das experiências de Sullivan Bell e Bergelin. Mediante estudos paramétricos em seu modelo ,

Konuk verificou que a utilização do fator de atrito para o tubo guia como sendo o único fator de atrito em toda a extensão da chicana, causa um acréscimo nos desvios de + 0.2% na perda de carga e cerca de - 6.5% na distribuição de fluxo em relação à utilização dos outros fatores. Ainda, verificou que uma variação em torno de + 20% e - 20% nesse fator de atrito, causa uma variação de \pm 12% na perda de carga e, até, + 14.2% na distribuição de fluxo. Para fins do projeto, esses desvios podem ser importantes, sendo recomendada a utilização de dois fatores de atrito distintos e obtidos para uma geometria o mais próxima possível do real.

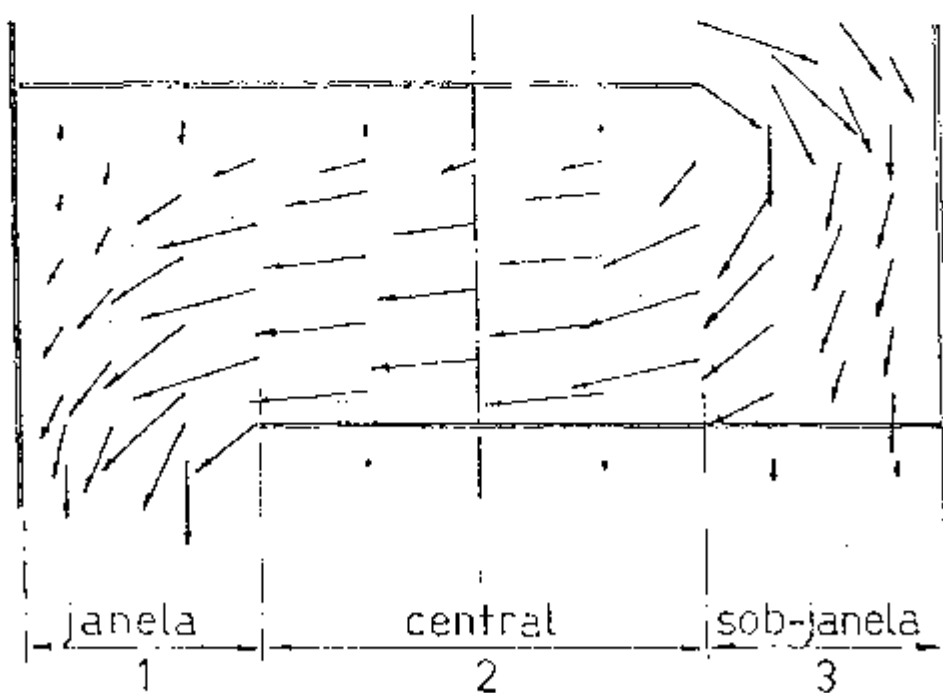


FIGURA 23 - Escoamento Típico entre Chicanas.

Diferente da geometria das chicanas do trocador modelado neste trabalho, a chicana da seção de testes de Konuk era constituída de um grupo de espaçadores soldados à uma chapa (Figura 24). Essa diferença geométrica, associada à uma chapa muito delgada, torna impossível o uso das correlações desenvolvidas por Konuk, neste modelo. Porém, na comparação de seu fator de atrito para o tubo guia (f_G) (Equação 63), que se assemelha aos trabalhos experimentais da literatura mencionados, com as suas correlações para as regiões 2 e 3 da Figura 23, representadas pelas Equações (64) e (65) respectivamente, pode-se estimar as variações necessárias a se impor aos dados experimentais de outro autor.

$$f_G = 1.692 Re^{-.049} \quad 63.$$

$$f_2 = 1.132 Re^{-.0041} \quad 64.$$

$$f_3 = 1.561 Re^{-.0488} \quad 65.$$

A Tabela I apresenta a comparação desses fatores de atrito, desenvolvidos por Konuk, para a faixa de Reynolds de seu interesse (10,000 - 50,000).

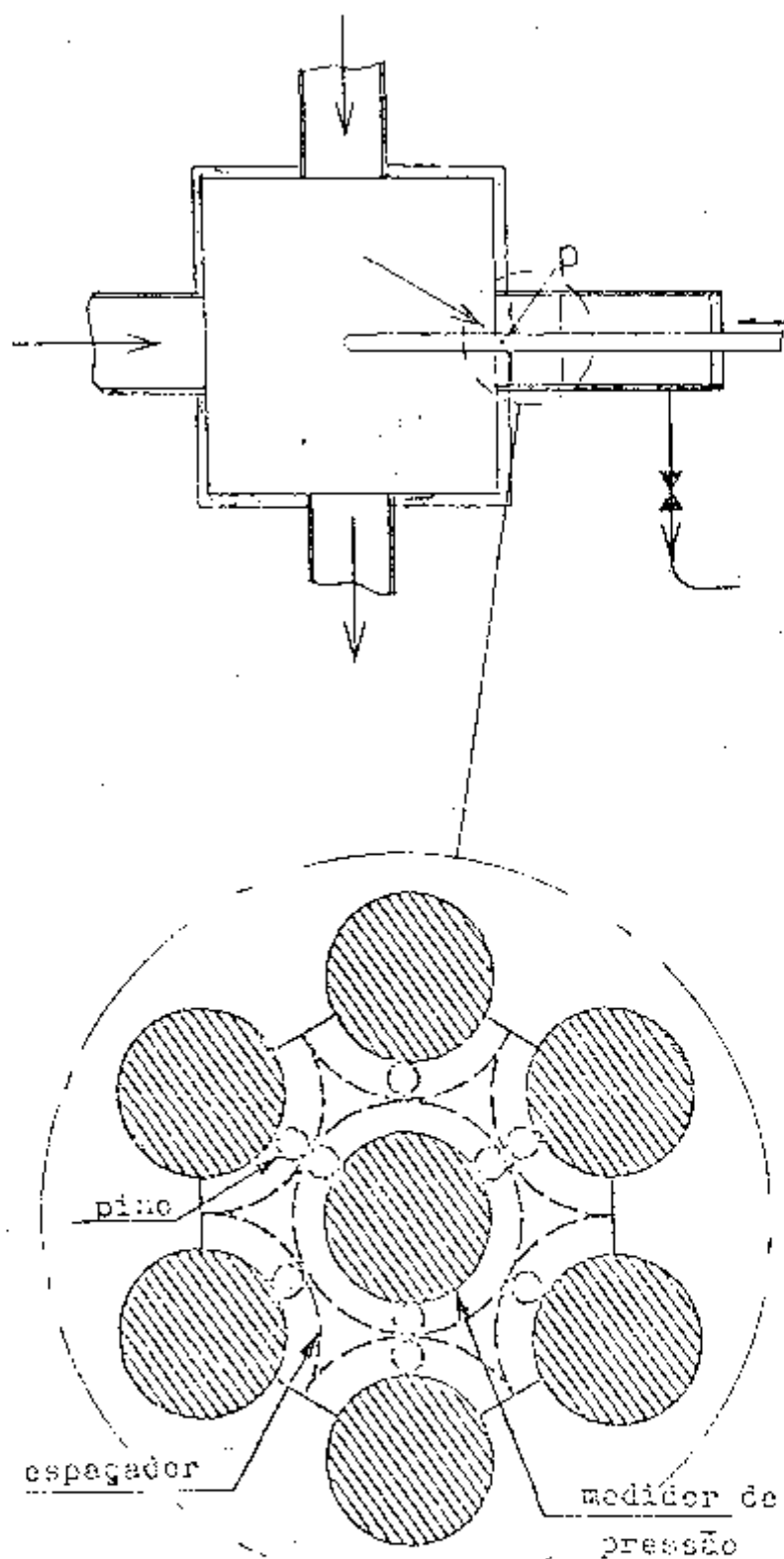


FIGURA 24 - Seção de Testes para Avaliação de Fatores de Atrito para Fluxo Oblíquo sobre Orifícios Anulares.

Tabela I - Comparação de Fatores de Atrito

Re	f_G	f_2	f_3	f_2/f_G	f_3/f_G
10,000	1.077	1.090	0.9959	1.012	0.925
20,000	1.041	1.087	0.9627	1.044	0.925
30,000	1.021	1.085	0.9439	1.063	0.924
40,000	1.007	1.084	0.9307	1.076	0.924
50,000	0.9958	1.083	0.9206	1.088	0.924

Nota-se que o fator de atrito, desenvolvido para o tubo guia (f_G) assume valores intermediários aos outros dois.

Neste trabalho, foi utilizado o fator de atrito (f_a) para orifícios anulares de Sullivan e Bergelin /20/, que foi desenvolvido para uma geometria mais semelhante à geometria das chicanas do trocador modelado neste trabalho - que os demais. É considerado um acréscimo de 5% nesse fator para a região 2 ($f_2 = 1.05 f_a$) e um decréscimo de 5% para a região 3 ($f_3 = .95 f_a$). O diâmetro hidráulico dos orifícios das chicanas do resfriador de hélio modelado, definido por $D_H = d_f - d_e$, aonde d_f é o diâmetro de furo e d_e o diâmetro dos tubos, é $D_H = (25.7 - 25.)\text{mm}$, que equivale à 1/36". Para representar o fator de atrito nesses orifícios, foram aproximadas de um diagrama de Sullivan e Bergelin para $D_H = 1/32"$, as relações das Equações (66), (67) e (68).

$$f_a = 44.3 \text{ Re}^{-.551}, \quad 20 < \text{Re} < 100$$

$$f_a = 16.75 \text{ Re}^{-.34} \quad , \quad 100 < \text{Re} \leq 1000 \quad 67.$$

$$f_z = 2.98 \text{ Re}^{-.09} \quad , \quad 1000 < \text{Re} < 100,000 \quad 68.$$

com f_a definido por

$$\Delta p = f_a \frac{\rho v^2}{2 g_c} \quad 69.$$

onde v é a velocidade na área mínima de fluxo (folgas) e a dimensão característica do número de Reynolds, Re , é o diâmetro hidráulico nas folgas das chicanas, dado por:

$D_H = d_f - d_e$, para as folgas entre os tubos e os furos da chicana.

$D_H = d_c - d_b$, para as folgas entre as chicanas e a carcaça;

onde d_f é o diâmetro dos furos, d_e e dos tubos, d_c o diâmetro interno da carcaça e d_b o diâmetro da chicana.

Dessa forma, as correlações para fatores de atrito no nível com chicana, para cada uma das regiões definidas na Figura 23 são:

Região 1 - Janela

Aonde só ocorre fluxo paralelo aos tubos e, a perda de carga é devida somente ao atrito com os mesmos, fo-

ram utilizadas as correlações definidas no item 4.3, Equações (61) e (62).

Região 2 - Central

Foram utilizadas as correlações de Sullivan e Bergelin, acrescidas de 5%.

$$f_2 = 46.52 \text{ Re}^{-.551} , 20 < \text{Re} \leq 100 \quad 70.$$

$$f_2 = 17.59 \text{ Re}^{-.34} , 100 < \text{Re} \leq 1,000 \quad 71.$$

$$f_2 = 3.13 \text{ Re}^{-.09} , 1,0000 \leq \text{Re} < 100,000 \quad 72.$$

Região 3 - Sob-Janela

Foram utilizados as correlações de Sullivan e Bergelin, diminuídas em cerca de 5%.

$$f_3 = 42.09 \text{ Re}^{-.551} , 20 < \text{Re} \leq 100 \quad 73.$$

$$f_3 = 15.91 \text{ Re}^{-.34} , 100 < \text{Re} \leq 1,000 \quad 74.$$

$$f_3 = 2.83 \text{ Re}^{-.09} , 1,000 < \text{Re} \leq 100,000 \quad 75.$$

As correlações para a Região 1, como já comentado no item 4.3, são fornecidas ao modelo numérico através da função "FUNCTION FAFRIC". As correlações para as Regiões 2 e 3 são fornecidas pela função "FUNCTION FAFRCH" (Apêndice II):

6. COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

6.1- Coeficientes Locais de Transferência de Calor

Dispondo-se das distribuições de velocidades dos fluidos de carcaça e tubos, ao longo de todo o trocador, são calculados coeficientes locais de transferência de calor, avaliados na temperatura de cada volume de controle. Esses coeficientes são renovados periodicamente com a evolução do transiente fictício de temperaturas comentado no Capítulo 4. O cálculo desses coeficientes, globais em cada volume e, baseados na área externa dos tubos, considera a convecção dos fluidos de carcaça e tubos e a condutividade térmica do metal dos tubos (Equação 76).

$$\frac{1}{U^{i,j,k}} = \frac{d_e}{d_i h_t^{i,j,k}} + \frac{1}{h_c^{i,j,k}} + \frac{d_e (d_e - d_i)}{k_t (d_e + d_i)} \quad 76.$$

onde os índices c e t referem-se respectivamente aos fluidos de carcaça e tubos e, os termos definidos são:

- d_c : diâmetro externo dos tubos - m
- d_i : diâmetro interno dos tubos - m
- h : coeficiente de película (convecção) - $W/m^2 \cdot ^\circ C$
- k_t : condutividade térmica do metal dos tubos - $W/m \cdot ^\circ C$
- U : coeficiente global de transferência de calor - $W/m^2 \cdot ^\circ C$

No cálculo do coeficiente de película (h) do fluido dos tubos foi utilizada uma correlação para escoamento interno à dutos, não se considerando variações na parte curva dos tubos "U". Para o fluido de carcaça, foram consideradas duas regiões distintas:

- a. Pontos com influência turbulenta das chicanas;
- b. Pontos de fluxo misto (paralelo -cruzado).

6.2 - Coeficientes de Película nos Tubos

Foi utilizada a correlação de Mc Adams /22/, definida na Equação (77) .

$$Nu = .023 Re^{.8} Pr^n \quad 77.$$

com $n = .4$ para fluido em aquecimento
 $n = .3$ para fluido resfriando .

A dimensão característica dos números de Reynolds , Re , e Nusselt, Nu , é o diâmetro interno dos tubos (d_i). O Re é avaliado com a velocidade média dos tubos que passam pelo volume , u_t definida na Equação (37). As propriedades dos fluidos são: a densidade ρ definida como a média no trocador (para consistência com a avaliação das velocidades); a viscosidade dinâmica μ , avaliada na temperatura do volume; o calor específico à pressão constante C_p , constante com a temperatura neste trabalho (gás hélio) e a condutividade térmica do fluido k , avaliada na

temperatura do volume.

6.3- Coeficientes de Película do Fluido de Carcaça

6.3.1- Níveis com Chicana

A passagem do fluido de carcaça através das folgas nas chicanas, provoca turbulência no seu regime de escoamento, imediatamente após os efeitos de contração e expansão (estrangulamento). Esse fenômeno causa o início de um novo regime de comportamento térmico e hidráulico - ("Entrance Effect") altamente influenciado pelas características da chicana e, impossível de ser equacionado. Observa-se que o coeficiente de transferência de calor aumenta rapidamente e atinge um valor máximo à uma distância do ponto de contração equivalente à um (1) diâmetro hidráulico do subcanal. Já foi também observado que, o desenvolvimento da camada limite, após os distúrbios causados pelas chicanas, é similar ao desenvolvimento da camada limite para uma contração abrupta como referido por Soelter, Young e Iversen /23/ (figura 25).

A variação do número de Nusselt após essa contração, foi expressa por Kays /24/ na forma da Equação (78).

$$\frac{Nu_x}{Nu_\infty} = 1 + \frac{C}{x/D_{j1}} \quad 78.$$

onde Nu_∞ é o número de Nusselt para o regime plenamente

desenvolvido ("Fully developed"), x/D_{H1} a posição relativa à contração e C uma constante.

Mashemi /25/ avaliou os números de Nusselt para escoamento através de orifícios anulares, formados por um tubo passando através de uma chapa; na seção de testes esquematizada na Figura 26. A variação desses adimensionais ao longo dessa seção é mostrada na figura (27).

A linha vertical na posição .75 polegadas, representa o fim de um anel espaçador existente naquela seção. Os diagramas da Figura (27) confirmam a configuração do desenvolvimento da camada limite já mencionada.

Esse comportamento térmico e hidráulico não será equacionado em detalhes neste trabalho. Será utilizada uma simplificação, que consiste na limitação de uma zona de influência turbulenta da chicana e na avaliação de um Nusselt médio para essa região.

a. Delimitação da zona de influência:

O limite de influência turbulenta, que vai determinar a altura do nível da chicana (Δx), deve ser compatível não só com a avaliação do coeficiente de transferência de calor como também com a da perda de carga, considerada pelas correlações de atrito nas chicanas. Konuk /13/ verificou que para o subcanal de sua seção de testes (Figura 24) com um diâmetro hidráulico $D_{H1} = .312$ polegadas, era necessária uma distância $x = .55$ polegadas para a estabilização em regime de pressão após o orifício o que, resulta em uma

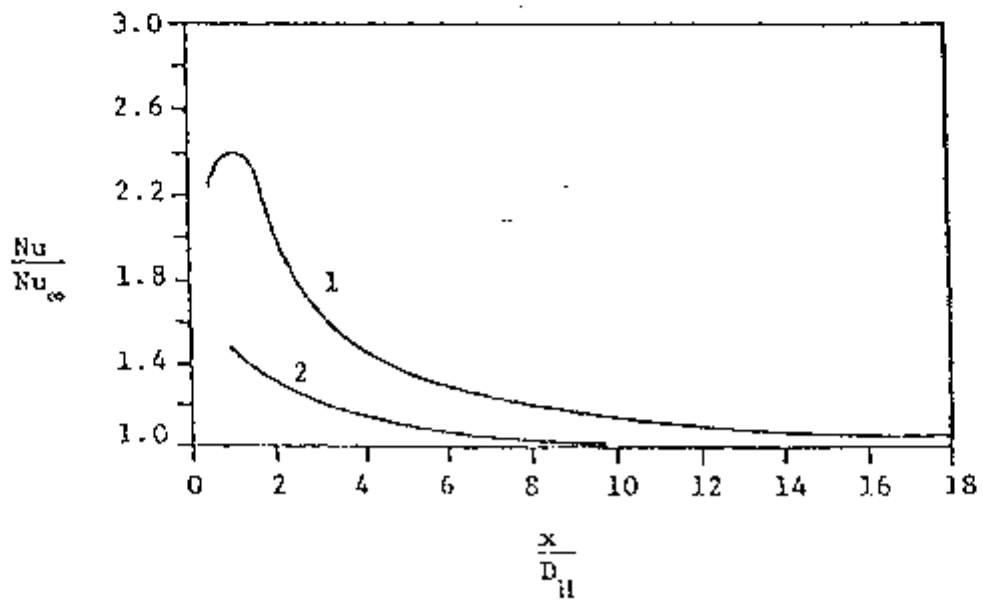
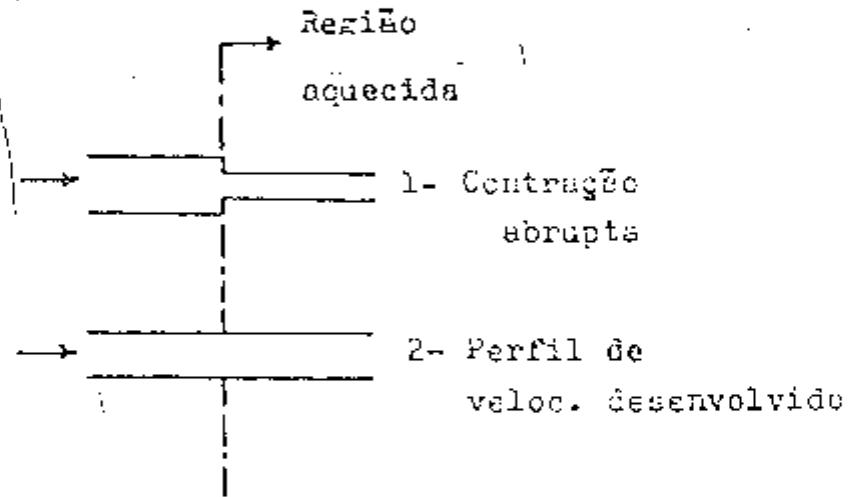


FIGURA 25 - Variações do Número de Nusselt para Regiões de Entrada.

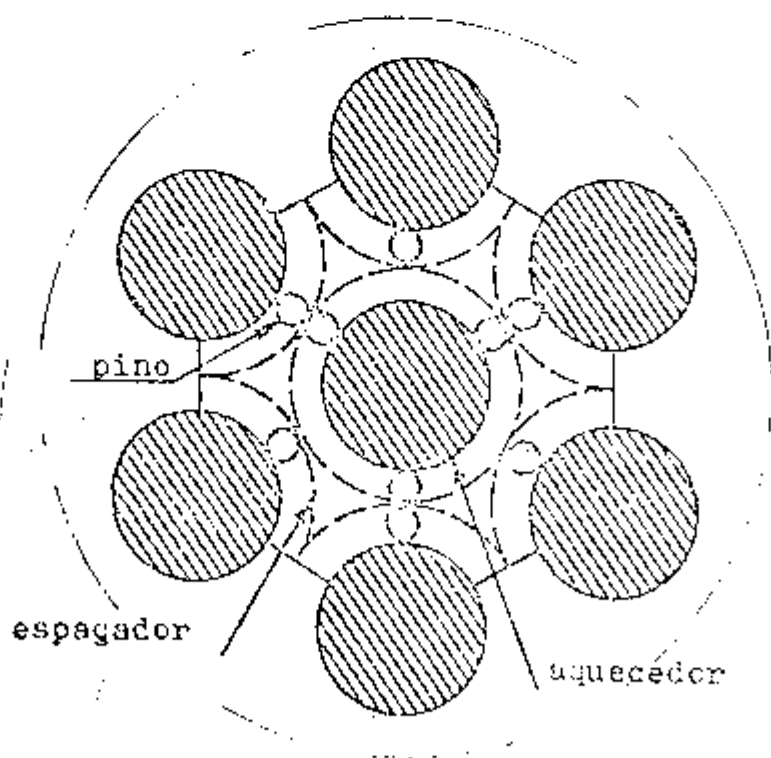
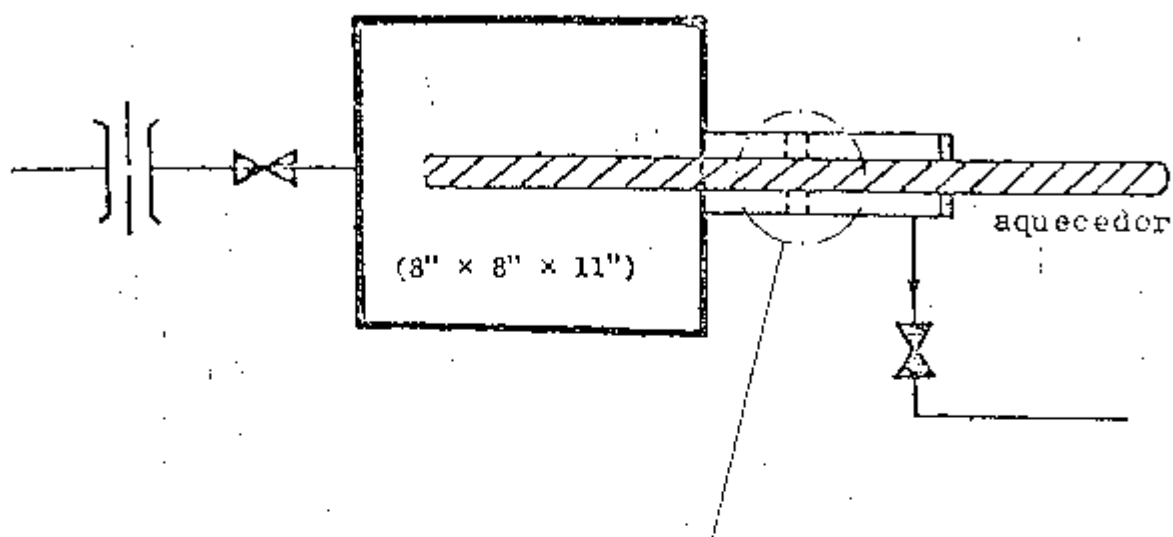


FIGURA 26 - Seção de Testes para Estudos de Troca de Calor através de Chicanas.

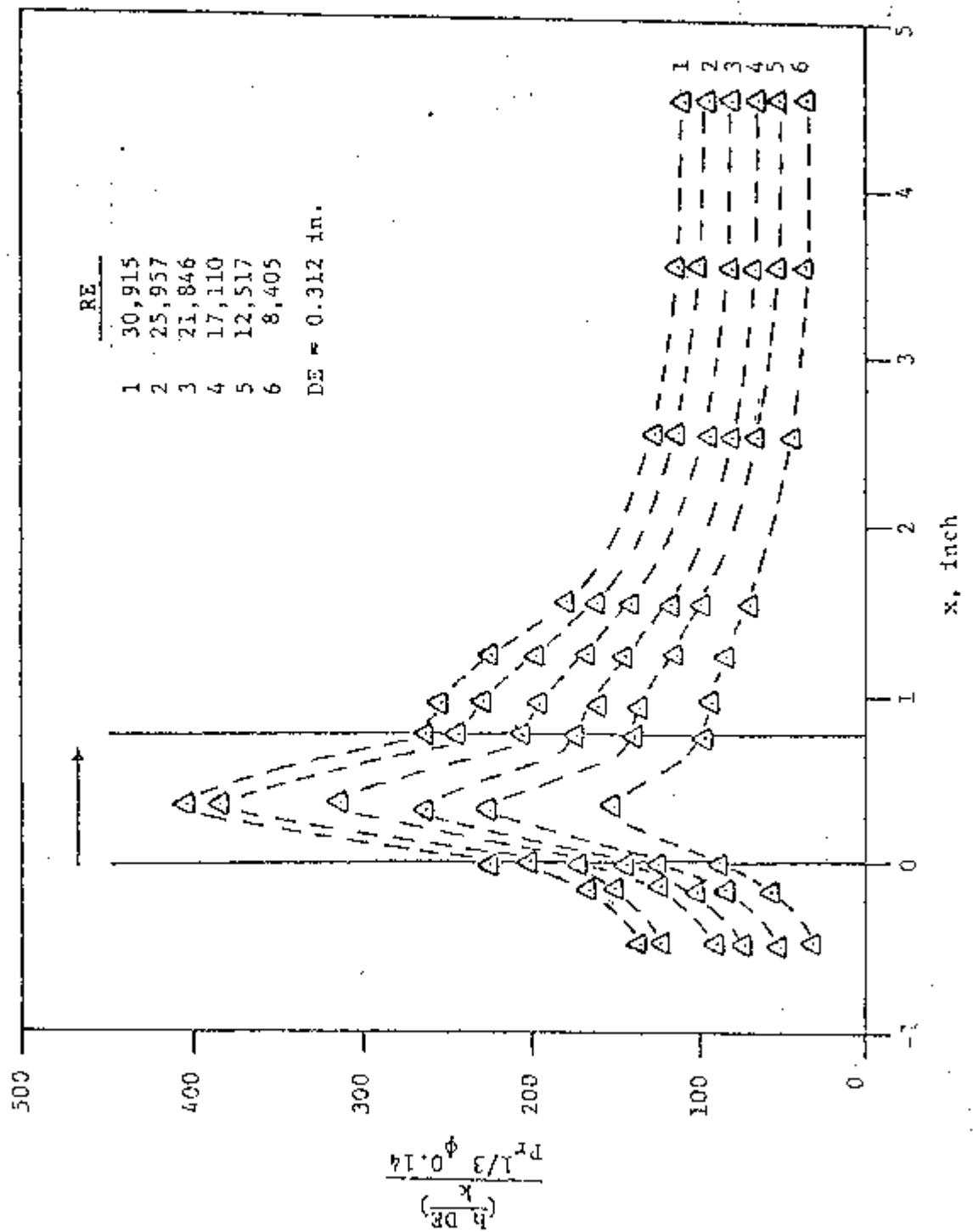


FIGURA 27- Números de Nusselt na Região de Entrada de Subcanal seguinte à uma Chicana.

relação $x/D_H = 1.76$ para se compensar o efeito de perda de carga fornecido pelas suas correlações. Os trabalhos de Hishani, sobre a avaliação dos números de Nusselt, sugerem uma expressão na forma da Equação (78) para representar a queda na transferência de calor após a chicana para uma distância relativa $x/D_H > 3$. Nota-se também que a chicana não tem mais nenhuma influência no coeficiente de transferência de calor a partir de $x/D_H = 10$. (Figura 27). Para um trocador com chicanas segmentais porém, essa relação não tem significado pois, logo abaixo da chicana, o fluxo passa a ser predominantemente cruzado, substituindo-se então o efeito da contração/expansão pela transferência de calor para fluxo cruzado a feixes de tubos. Na falta de maiores dados experimentais e, baseando-se apenas no limite considerado pelas correlações de perda de carga nas chicanas, a influência turbulenta da chicana, neste modelo, vai ser limitada a uma distância relativa $x/D_H = 2$, possível de verificação. No Capítulo 9, será verificada a influência desse limite, na variação da relação x/D_H , representada pela variável XLIMIT (mesma notação do programa).

Assim, a altura dos níveis com chicana vai ser determinada por $\Delta x = 2.D_H$ sendo, D_H o diâmetro hidráulico de um subcanal regular (afastado da carcaça).

b. Correlações para transferência de calor nas chicanas:

A variação dos coeficientes de transferência de ca -

nível mas sim, os valores limites máximo e de regime. Isso permite então, a utilização de um valor médio, determinado apenas pela relação entre as geometrias do subcanal e das folgas nas chicanas.

A investigação de correlações para a avaliação dos coeficientes de transferência de calor nesses pontos, revelou que as mais representativas são:

b.1 - Nusselt máximo

A mais representativa é a correlação de Mc Adams/22/, representada pela Equação (79).

$$Nu = .023 Re^{.8} Pr^n \quad 79.$$

com $n = .4$ para fluido em aquecimento;

$n = .3$ para fluido resfriado.

A dimensão característica dos números de Reynolds e Nusselt é o diâmetro hidráulico nas folgas das chicanas, definido no Capítulo 5, ítem 5.4. O Re é avaliado com a velocidade mínima das folgas. As propriedades do fluido são: a densidade ρ , média no trocador (para consistência com a avaliação das velocidades), a viscosidade dinâmica, avaliada na temperatura de cada volume, o calor específico à pressão constante C_p , considerado constante ao longo do trocador e, a condutividade térmica do fluido k , avaliada na temperatura do volume.

Na comparação dos resultados experimentais de Hashe mi para Nusselt máximo, com a correlação de Mc Adams, foi construída a Tabela 3. Nota-se a boa concordância entre os valores experimentais e os calculados, o que justifica a utilização da correlação de Mc Adams, na forma da Equação (79) para o cálculo dos Nusselt.

Tabela 3 - Comparações Analíticas /Experimentais

Re	(Nu/Pr ^{1/3}) máximo		ε %
	Experimental	calculado	
14,927	405.	432.	6.7
12,533	385.	376.	-2.3
10,548	310.	327.	5.5
8,262	260.	269.	3.5
6,044	215.	210.	-2.3
4,058	150.	152.	1.3

b.2 - Nusselt de regime

A mais representativa correlação para escoamento paralelo a feixes de tubos é fornecida por Weismann/26/. A Equação (80) representa essa correlação com a correção de viscosidade de Mc Adams.

$$Nu = C Re^{.8} Pr^{\frac{n}{4}}$$

com $n = .4$ para fluido em aquecimento;

$n = .3$ para fluido resfriado.

A constante C , função de arranjo geométrico dos tubos é dada por:

arranjo triangular: $C = .026(p/d) - .026, 1.1 \leq 1.5$

arranjo quadrado : $C = .042(p/d) - .024, 1.1 \leq 1.3$

onde p é a distância entre centros de tubos ("pitch") e d o diâmetro externo dos tubos (d_e). A dimensão característica dos números de Reynolds e Nusselt é o diâmetro hidráulico do subcanal e , o Re é avaliado com a velocidade de subcanal. As propriedades do fluido avaliadas da mesma forma que no item anterior.

A comparação dos valores experimentais de Hashemi , obtidos para uma distância relativa aproximada de $x/D_H=10$, com os valores calculados por essa correlação (Equação 80), é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4.- Comparações Analíticas/ Experimentais

Re	Nu/Pr ^{1/3} regime		E %
	Experimentais	Calculado	
30,915	105.	100.	-4.8
25,957	95.	87.	-8.4
21,846	80.	76.	-5.0
17,110	65.	62.	-4.6
12,517	50.	48.	-4.0
8,405	35.	35.	. 0

Nota-se a boa concordância entre os valores experimentais e calculados, justificando-se a utilização da correlação de Weismann, definida na Equação (80).

c. Coeficiente de transferência de calor médio:

Com os valores de Nusselt máximo e de regime, pode ser avaliado um coeficiente médio nos níveis com chicana. Na falta de maiores dados experimentais foi adotada uma média aritmética, definida pela Equação (81).

$$h_c^{ic,j,k} = .5 (h_w^{ic,j,k} + h_a^{ic,j,k}) \quad 81.$$

onde os índices w e a referem-se respectivamente às correlações de Weismann (Equação 80) e Mc Adams (Equação 79). O índice ic representa um nível com chicana.

6.3.2 - Níveis de Fluxo Oblíquo (Paralelo + Cruzado)

Poucos trabalhos foram desenvolvidos para avaliação da troca de calor em feixes de tubos inclinados em relação ao fluxo. Os poucos estudos foram desenvolvidos para fluxo de metais líquidos /27,28/, cujo mecanismo de transferência de calor é quase que exclusivamente a condução, o que impede a aproximação para outros fluidos. Na falta de melhores dados, foi assumida uma simplificação neste trabalho, baseada em médias angulares diretas entre coeficientes de transferência de calor para fluxo cruzado-puro (90°) e para fluxo paralelo. As componentes de fluxo utilizadas para os cálculos são mostradas na Figura 28.

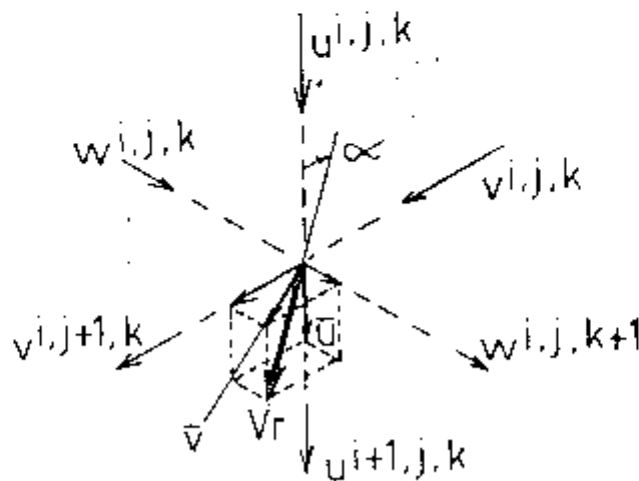


FIGURA 28 - Componentes de Fluxo.

A média utilizada é representada pela Equação (82).

$$h_c^{i,j,k} = \frac{\alpha}{\pi/2} h_{cr}^{i,j,k} + \frac{\pi/2 - \alpha}{\pi/2} h_p^{i,j,k} \quad 82.$$

aonde α é o ângulo formado entre a velocidade resultante no volume e a direção axial (direção dos tubos), h_{cr} o coeficiente de transferência de calor para fluxo cruzado e h_p para fluxo paralelo.

O coeficiente de transferência de calor para fluxo paralelo, h_p , é baseado na correlação de Weismann, definida no item anterior (Equação 80). É utilizada a componente axial de velocidade média no volume, definida por:

$$\bar{u}^{i,j,k} = .5 (u^{i,j,k} + u^{i-1,j,k}) \quad 83.$$

Para o coeficiente de transferência de calor de flu-

xo cruzado, h_{cr} , é utilizada uma correlação de Mc Adams, de finida na Equação (84).

$$Nu = C Re^{.6} Pr^n \quad 84.$$

com $n = .4$ para fluido em aquecimento

$n = .3$ para fluido resfriando.

A constante C, função do arranjo geométrico dos tubos é dada por:

arranjo triangular : $C = .33$

arranjo quadrado : $C = .26$

A dimensão característica dos números de Reynolds e Nusselt é o diâmetro dos tubos (d_e). O número de Reynolds é baseado em uma velocidade transversal média, definida na Equação (85).

$$\bar{v}^{i,j,k} = \sqrt{\left(\frac{v^{i,j-1,k} + v^{i,j,k}}{2}\right)^2 + \left(\frac{w^{i,j,k-1} + w^{i,j,k}}{2}\right)^2} \quad 85.$$

As propriedades do fluido são avaliadas da mesma forma que definido nos itens anteriores.

Dessa forma, pode ser calculado o coeficiente de transferência de calor global (U) em cada volume de controle, como definido na Equação (76).

Todos esses cálculos são executados pela subrotina -

7. RESULTADOS E COMPARAÇÕES

7.1- Introdução

A forma de apresentação dos resultados obtidos na simulação do resfriador de hélio do Circuito Experimental de Hélio do IPEN (Figura 7) com o modelo numérico desenvolvido, é exemplificada neste Capítulo para a seguinte operação:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| - vazão do fluido dos tubos (hélio) | - $\dot{m}_t = 1.57 \text{ kg/s}$ |
| - vazão do fluido de carcaça (água) | - $\dot{m}_c = 2.09 \text{ kg/s}$ |
| - temperatura de entrada do hélio | - $T_{o_c} = 221.9\text{C}$ |
| - temperatura de entrada da água | - $T_{o_c} = 18.9\text{C}$ |
| - pressão do fluido dos tubos | - $p = 16.5 \text{ bar}$ |

As comparações são feitas finalmente com os dados experimentais de temperaturas disponíveis, para diversas operações em regime permanente.

7.2- Escoamento do Fluido de Carcaça

A distribuição de fluxo no trecho modelado entre duas chicanas é representada por diagramas que indicam a composição dos vetores de velocidade (u , v e w), obtidas pela solução das equações de conservação de massa e quantidade de movimento, em cada ponto do modelo. A Figura 29 apre -

ta a distribuição de velocidades, nos planos axiais indicados, calculadas para a vazão em massa do fluido referida, escoando à uma temperatura média $\bar{T}_f = 50,90^\circ\text{C}$. Os vetores indicados nos planos axiais, representam a composição em escala das velocidades u e v, devidamente transportadas à cada ponto.

A distribuição de velocidades nos planos transversais do trocador é exemplificada na Figura 30 para as mesmas condições de escoamento. Os vetores nessa figura, representam a composição das velocidades v e w, transportadas aos pontos indicados.

Nota-se na Figura 29, a ocorrência de reversão de fluxo (redemoinhos). Foi observado que essa reversão não ocorre se houver um aumento em torno de 30% nas folgas das chicanas. Pode-se concluir que, a geometria das chicanas é responsável por esse fenômeno e que, sendo representativos os fatores de atrito utilizados nos níveis com chicana, essa reversão realmente ocorre no trocador, sendo consequência de sua própria construção.

As porcentagens de fluxo através de uma chicana, para cada subcanal e, para cada uma de suas regiões (janela, central e sub-janela), são apresentadas na Figura 31.

As Figuras 32, 33 e 34 mostram as distribuições das pressões normalizadas do fluido de carga para os subcanais indicados. As linhas pontilhadas nos níveis com chicana ilustram idealmente a queda da pressão até um valor mínimo (máxima aceleração do fluido) e a recuperação até

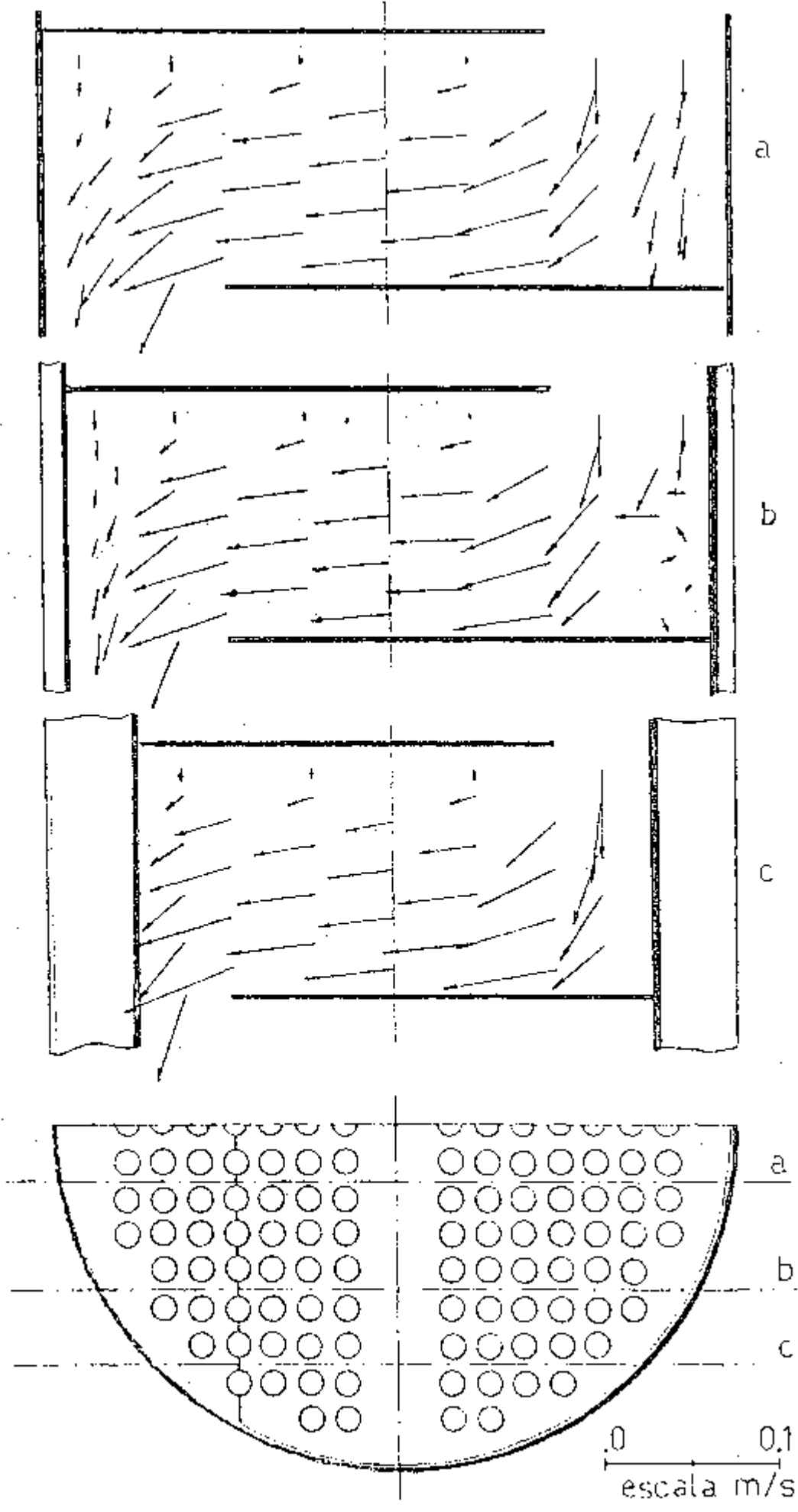


FIGURA 29 - Distribuição de Velocidades do Fluido de Car-
caça nos Planos Axiais de um Trecho entre Chi-
canas.

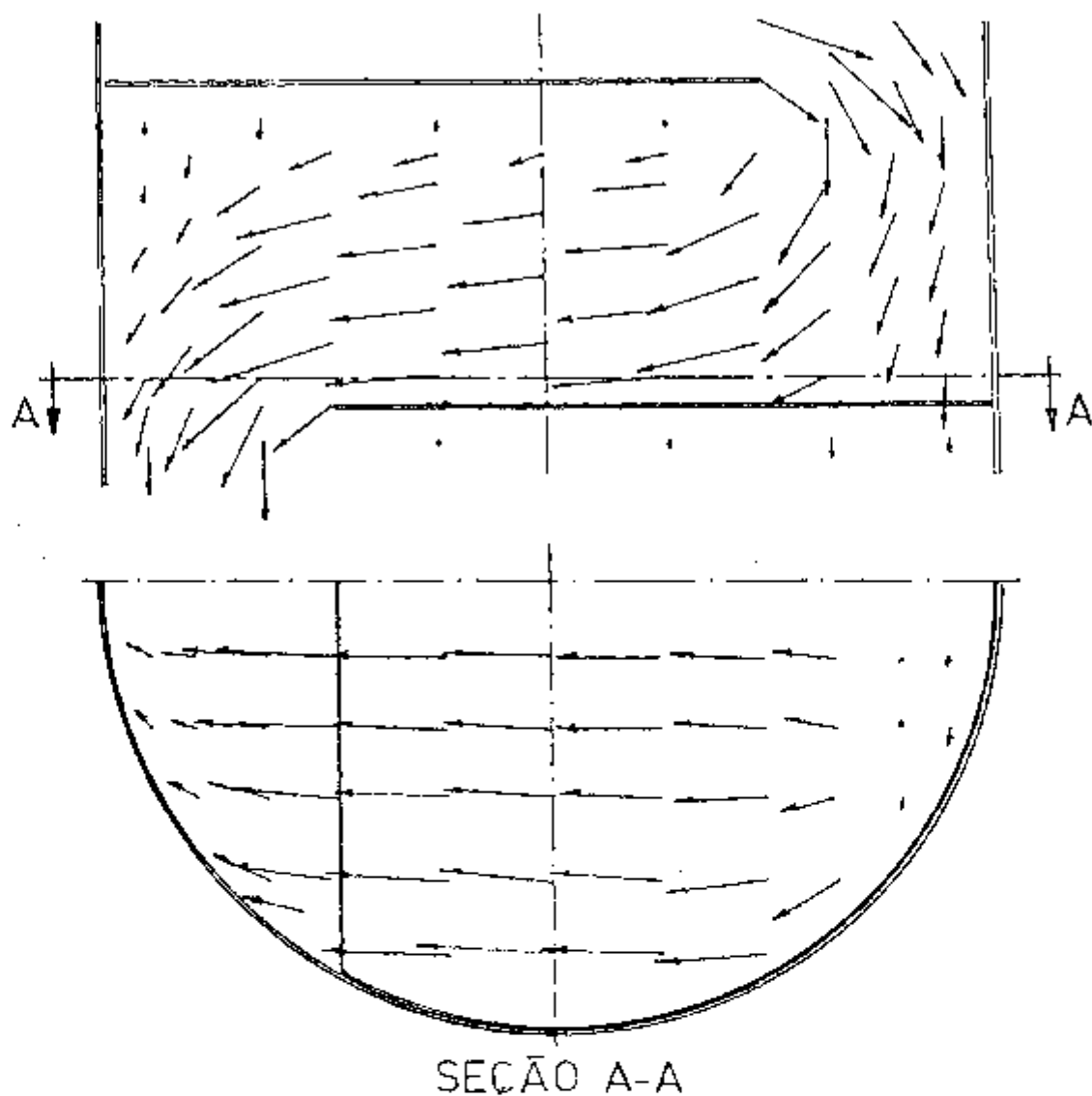


FIGURA 30- Distribuição de Velocidades do Fluido de Carcaça no Plano Transversal Indicado.

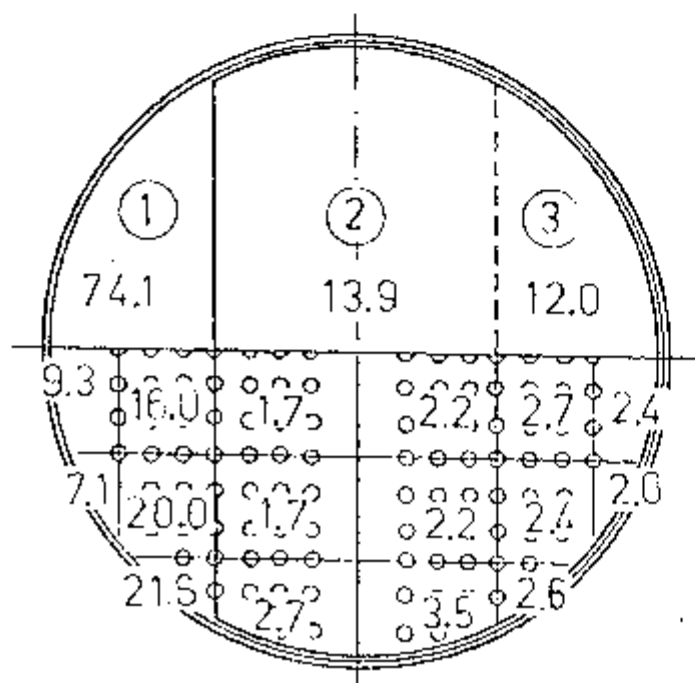


FIGURA 31 - Percentagens de ...

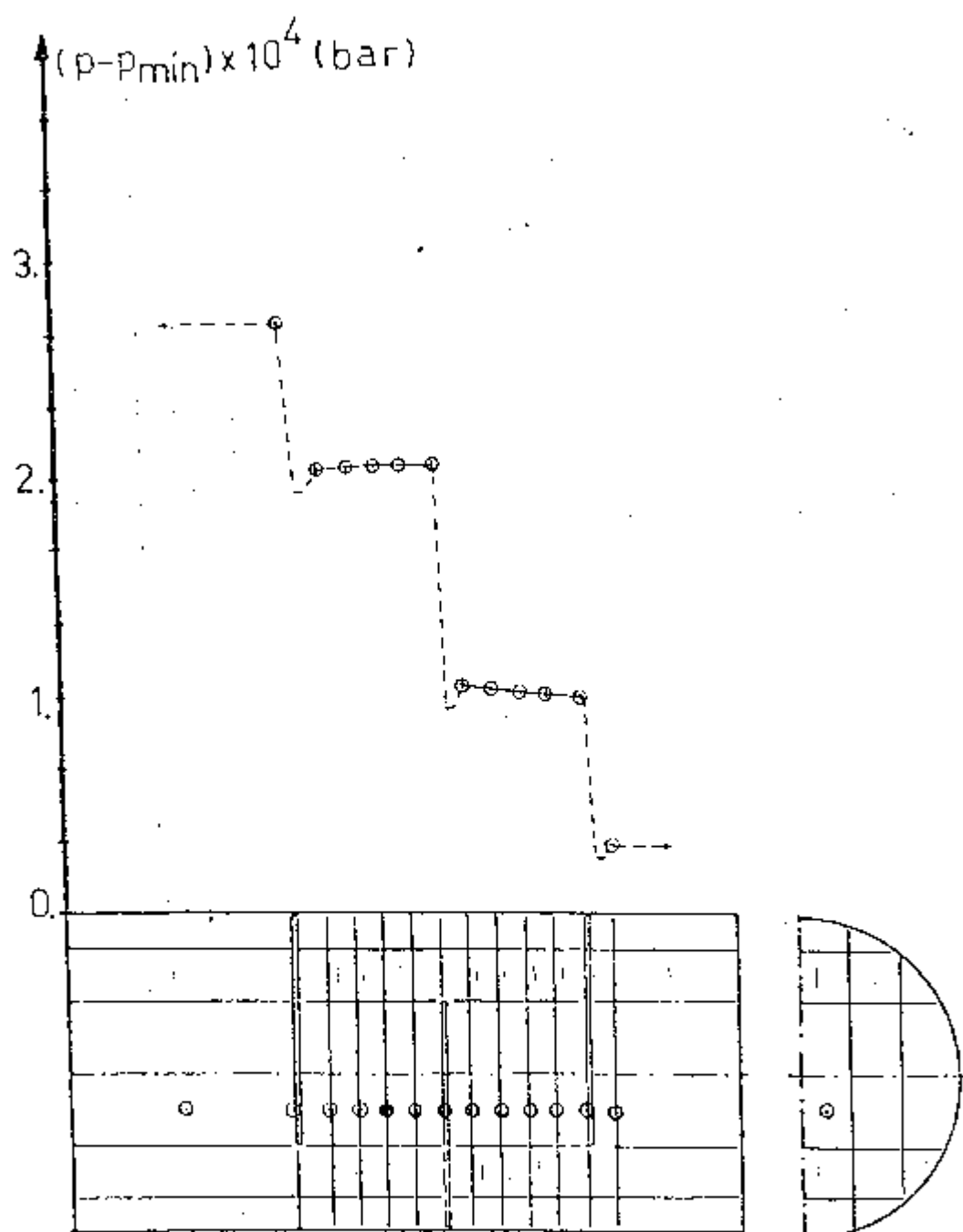


FIGURA 32 - Distribuição de Pressões ao longo dos Subcanais Indicados.

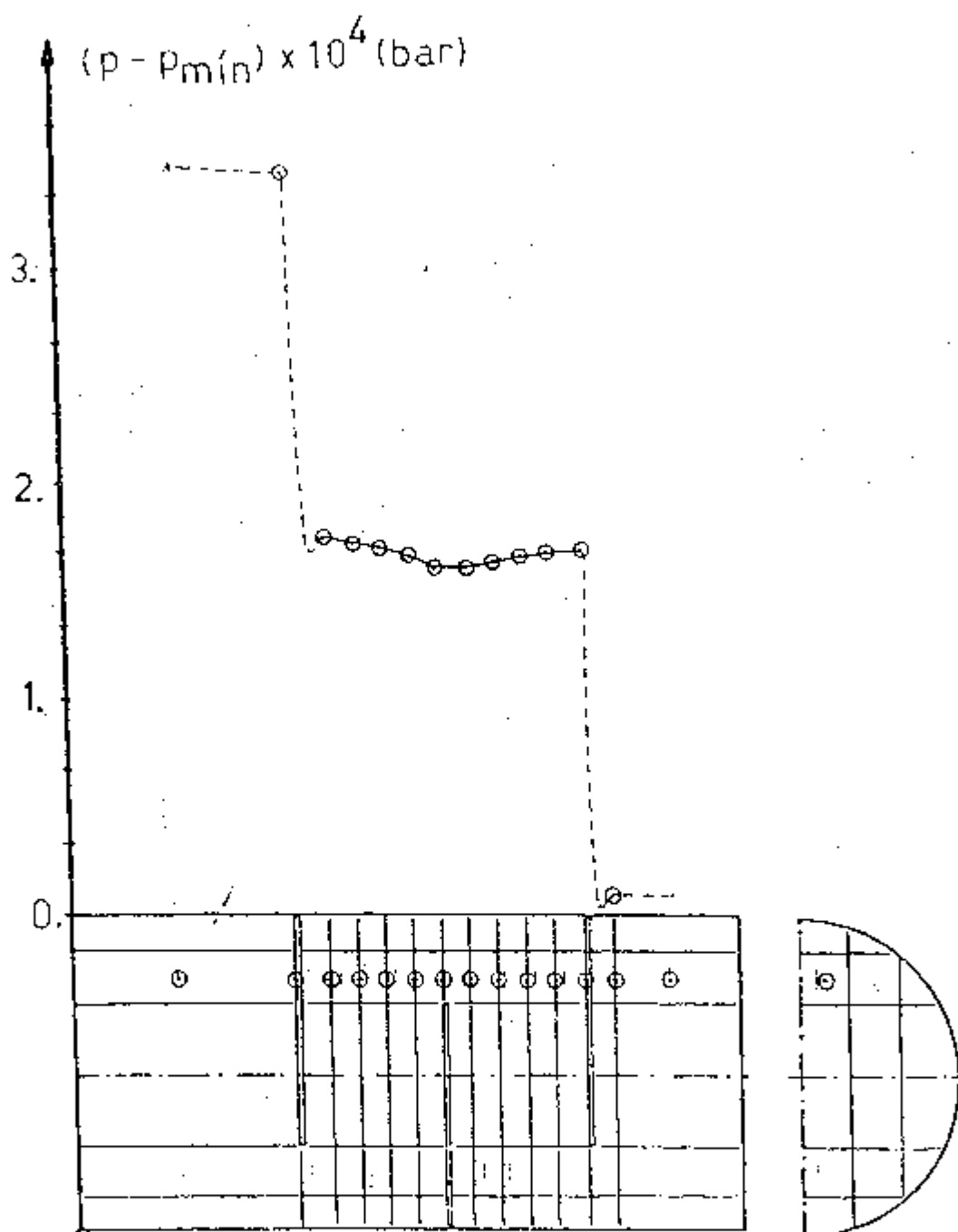


FIGURA 33 - Distribuição de Pressões ao longo dos Subcanais Indicados.

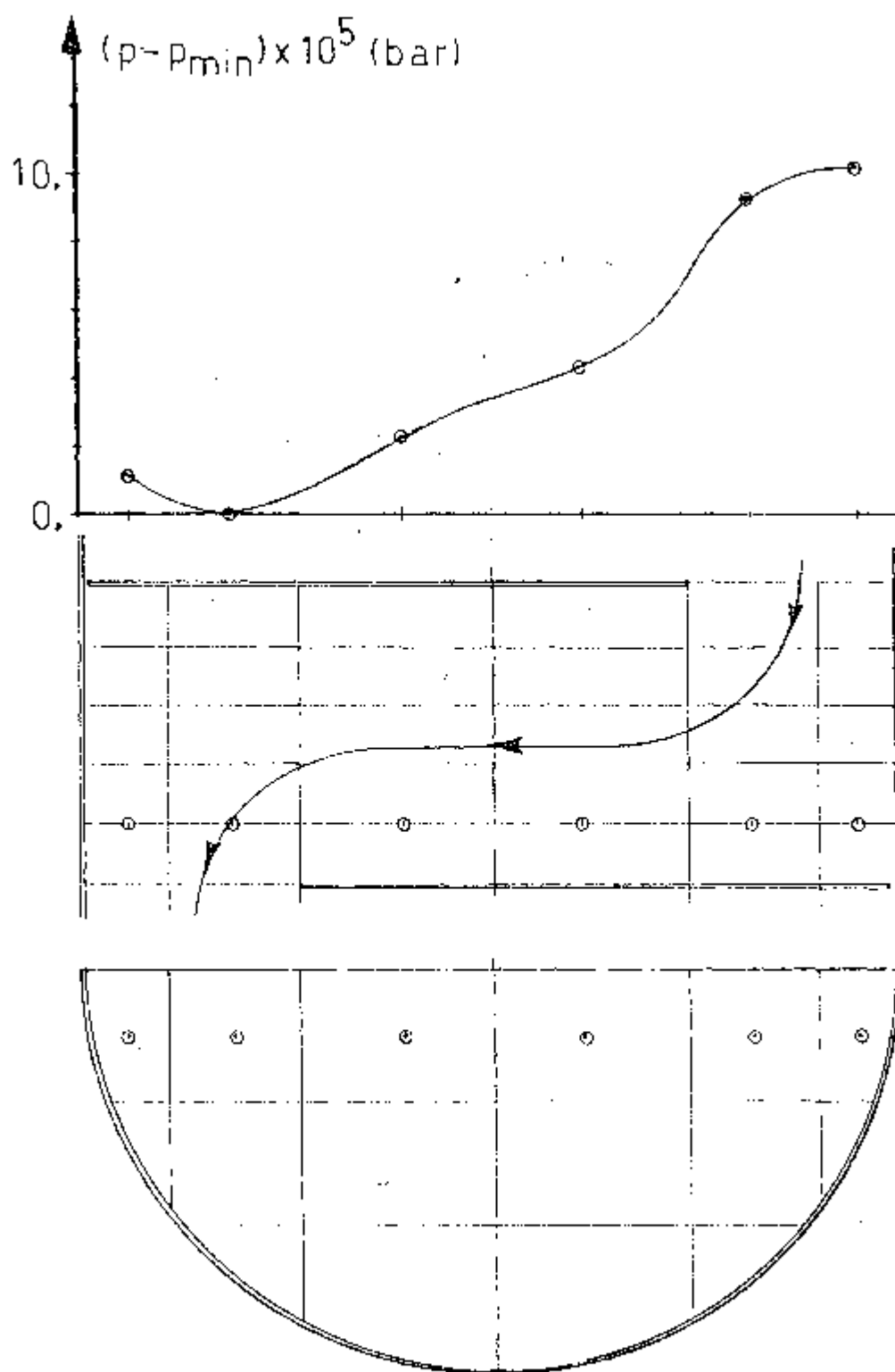


FIGURA 34 - Distribuição de Pressões nos Subcanais Indicados.

o valor fornecido pelas correlações de atrito.

7.3- Escoamento do Fluido dos Tubos

Para a operação referida, com a comporta do sistema "by pass" fechada, a simulação da rede de tubos da Figura 18 forneceu uma perda de pressão $\Delta p = 12.5$ mbar. A distribuição de velocidades, para cada comprimento de tubo "U" existente no resfriador modelado é mostrada no gráfico da Figura 35.

Foi observado que a diferença entre as velocidades - nos diversos comprimentos de tubos (≈ 16.8 entre a mínima e a máxima), se não considerada pode acarretar em um desvio de até ± 9.8 nos coeficientes de transferência de calor de alguns volumes de controle, justificando a simulação da rede de tubos como realizada.

A simulação dessa rede de tubos, para várias condições de operação em forma contínua é apresentada no Capítulo 8, com a utilização de todos os recursos fornecidos pelo modelo.

7.4- Coeficientes de Transferência de Calor

A variação dos coeficientes de transferência de calor do fluido de carcaça ao longo dos subcanais indicados é mostrada nas Figuras 36 e 37. O aumento desses coeficientes, causado pelas chicanas, pode ser notado com a compa-

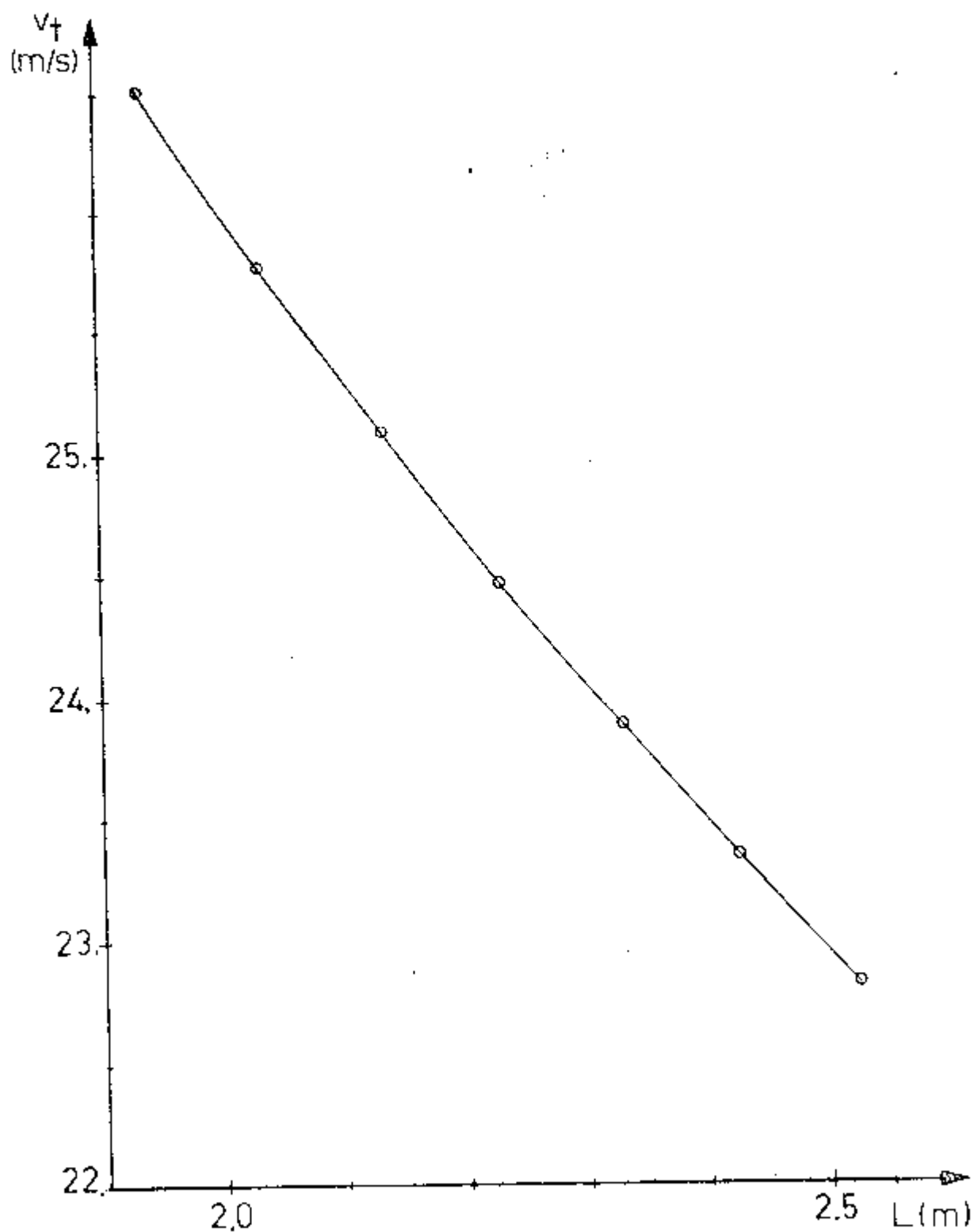


FIGURA 35 - Distribuição de Velocidades em Função do Comprimento dos Tubos.

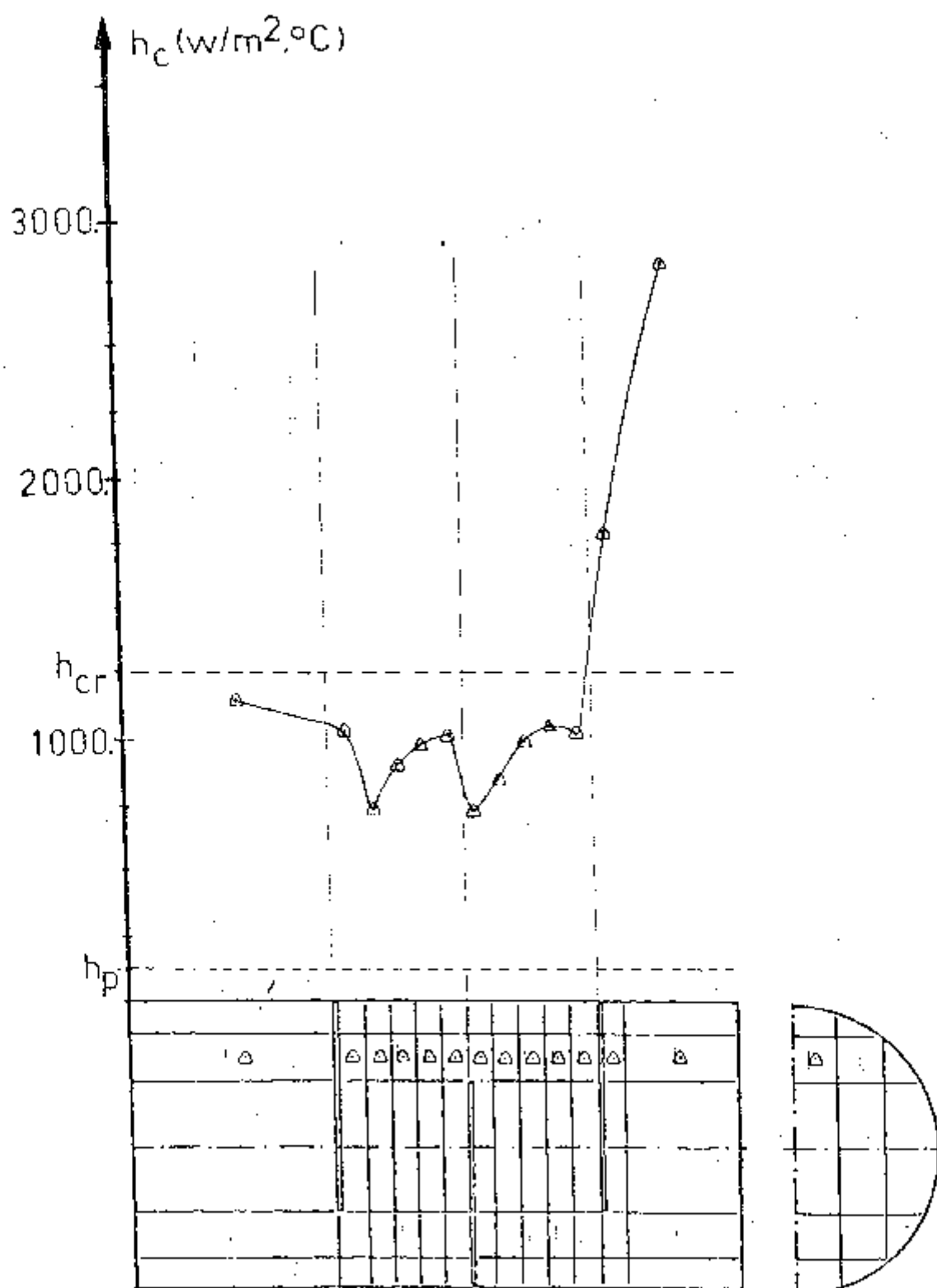


FIGURA 36- Variação nos Coeficientes de Transferência de Calor do Fluido de Carcaça ao longo dos Subcanais Indicados.

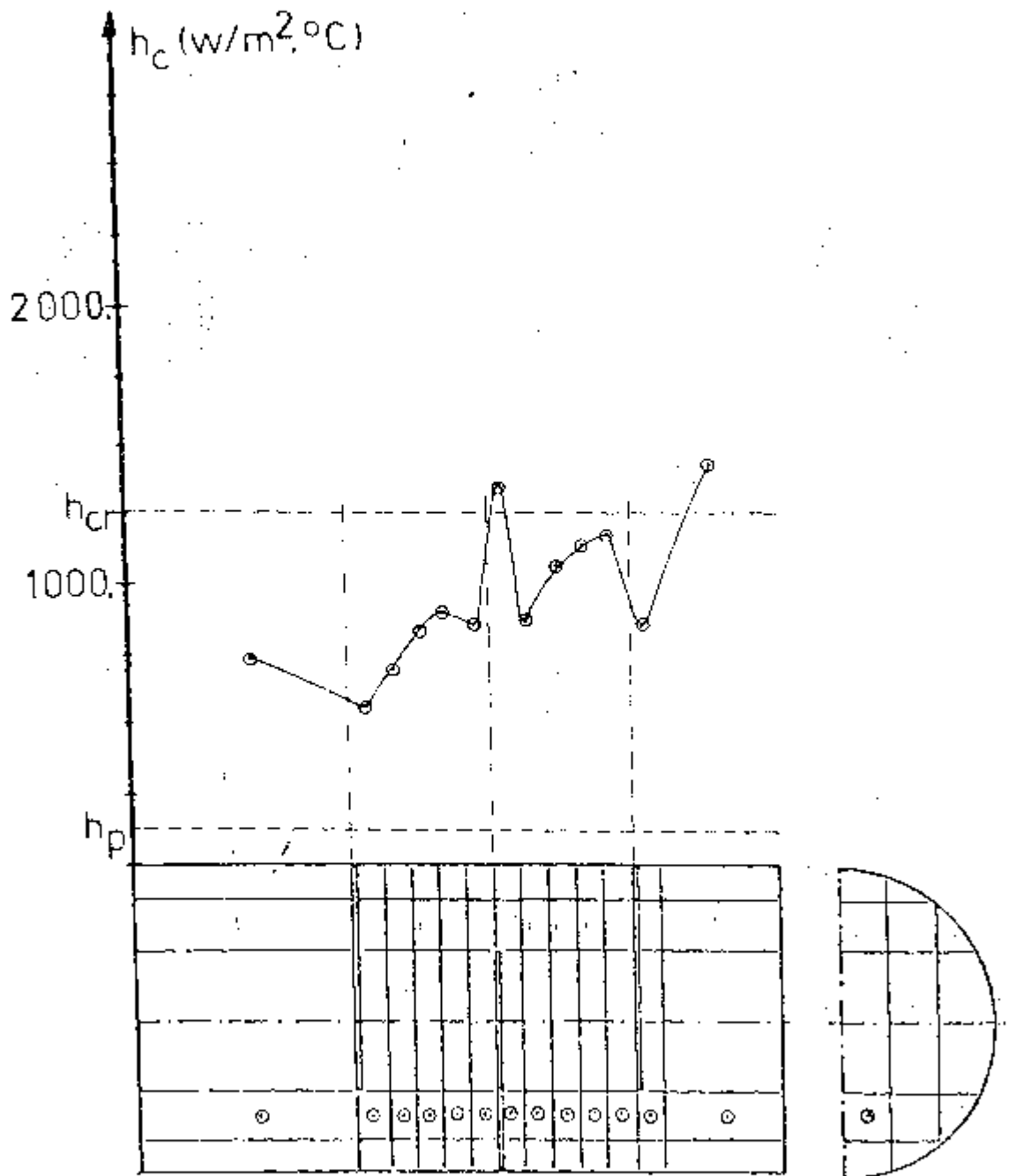


FIGURA 37 - Variação nos Coeficientes de Transferência de Calor nos Subcanais Indicados

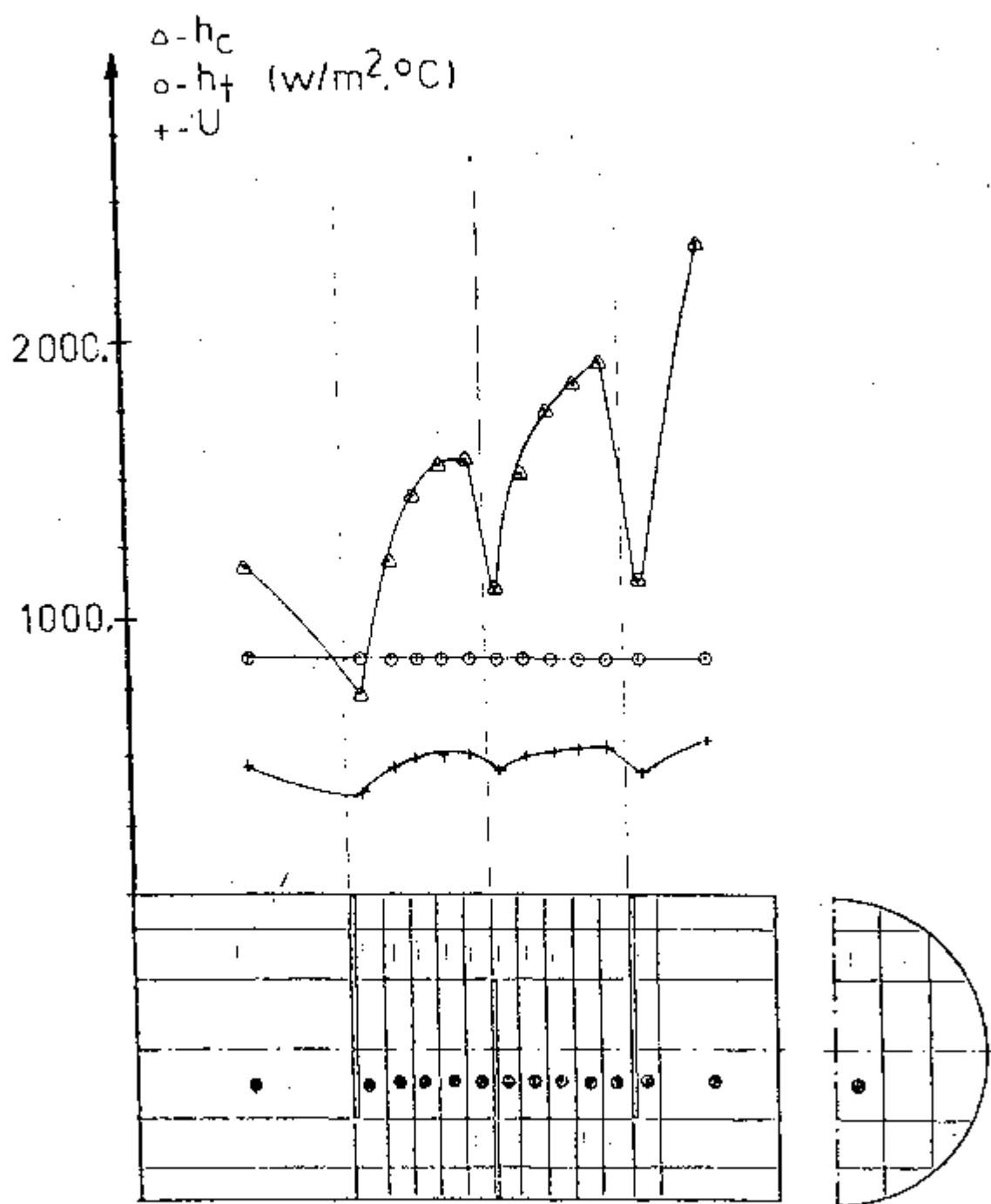
ração à um coeficiente calculado para a mesma vazão de fluido, sem se considerar a existência das chicanas (h_p , linha horizontal pontilhada inferior). As mesmas figuras mostram a comparação desses coeficientes com um calculado para fluxo cruzado puro, com todo o fluido escoando entre duas chicanas, ou seja, sem folgas e sem nenhum fluxo paralelo aos tubos (h_{cr} , linha pontilhada horizontal superior).

A Figura 38 apresenta a comparação dos coeficientes de transferência de calor dos fluidos dos tubos e carcaça com os coeficientes globais (U) ao longo do subcanal e grupo de tubos indicados. A variação nos coeficientes dos tubos é devido somente à variação de temperatura visto não ser considerada variação de velocidades ao longo de um dado grupo de tubos.

7.5- Distribuição de Temperaturas

Para exemplificar a distribuição de temperaturas dos fluidos de carcaça e tubos ao longo do trocador, foram elaborados os diagramas das Figuras 39 e 40 que mostram as temperaturas ao longo do grupo de tubos e da seção transversal indicados.

A distribuição das temperaturas do fluido de carcaça no plano axial central do trocador, para todos os volumes de controle nele definidos é mostrada na Figura 41. Nota-se a elevação da temperatura mais acentuada na parte central do trocador com uma queda até às partes encos-



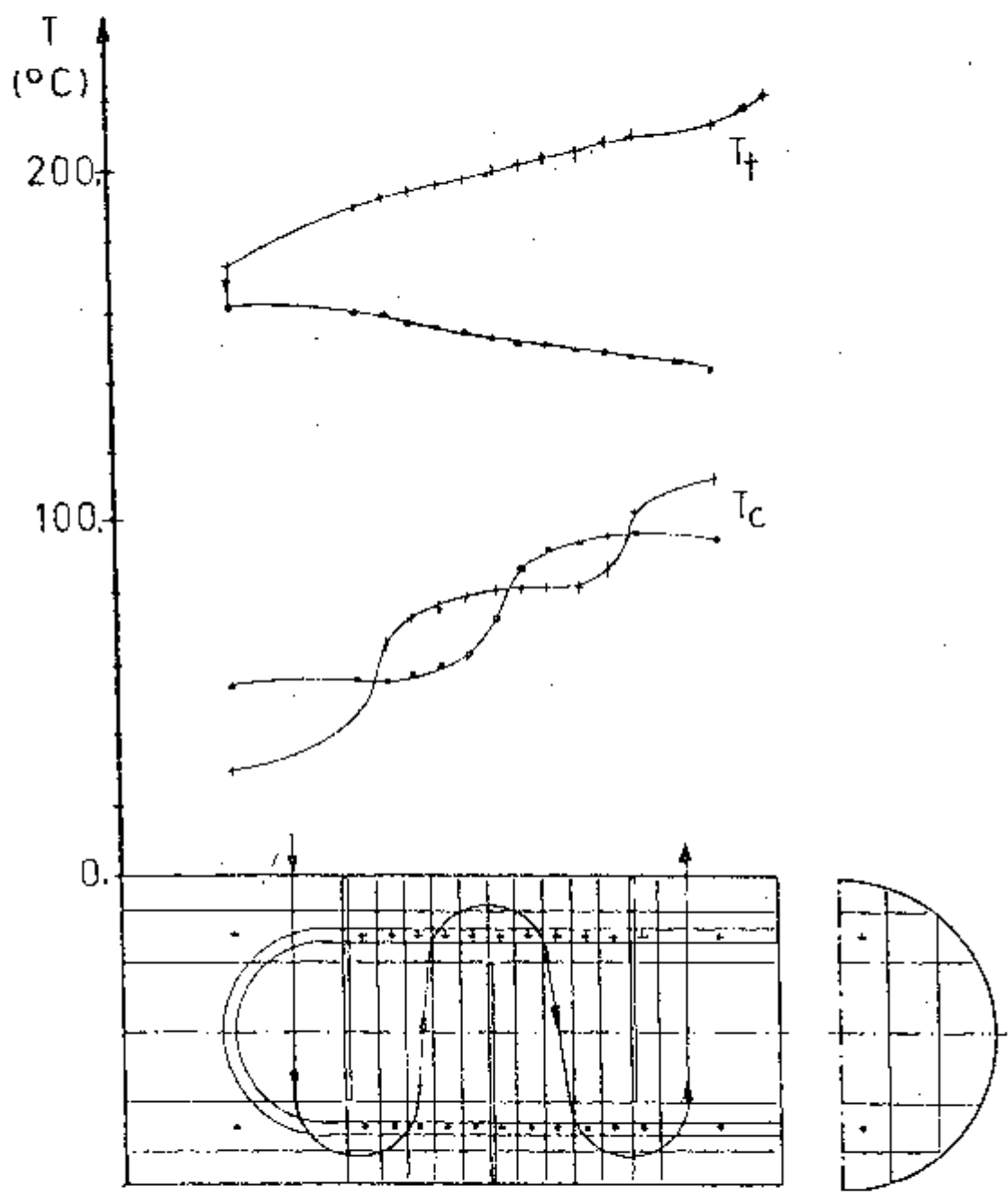


FIGURA 39 - Distribuição de Temperaturas ao longo do Grupo de Tubos Indicados.

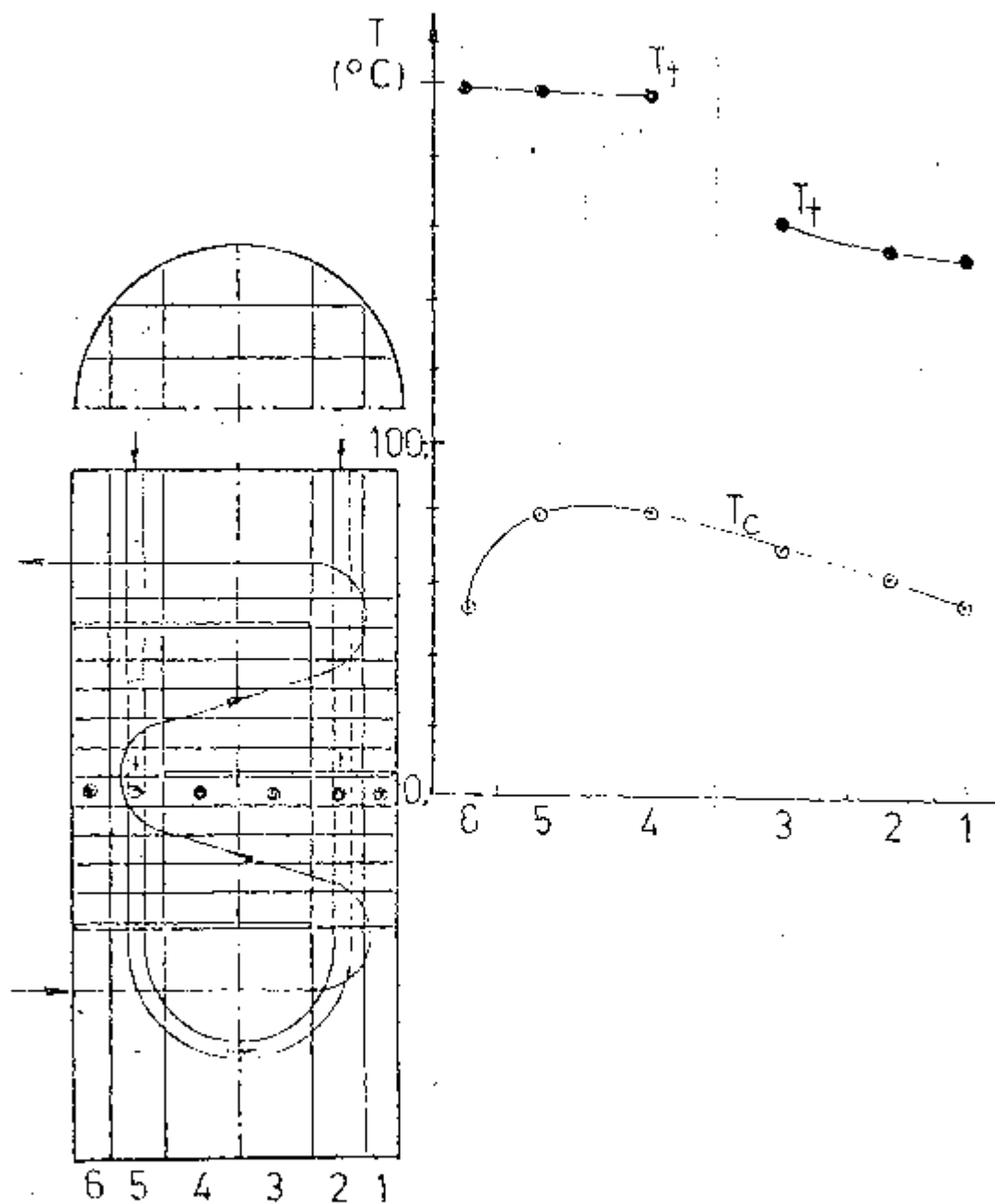


FIGURA 40 - Distribuição de Temperaturas num Plano Transversal do Trocador.

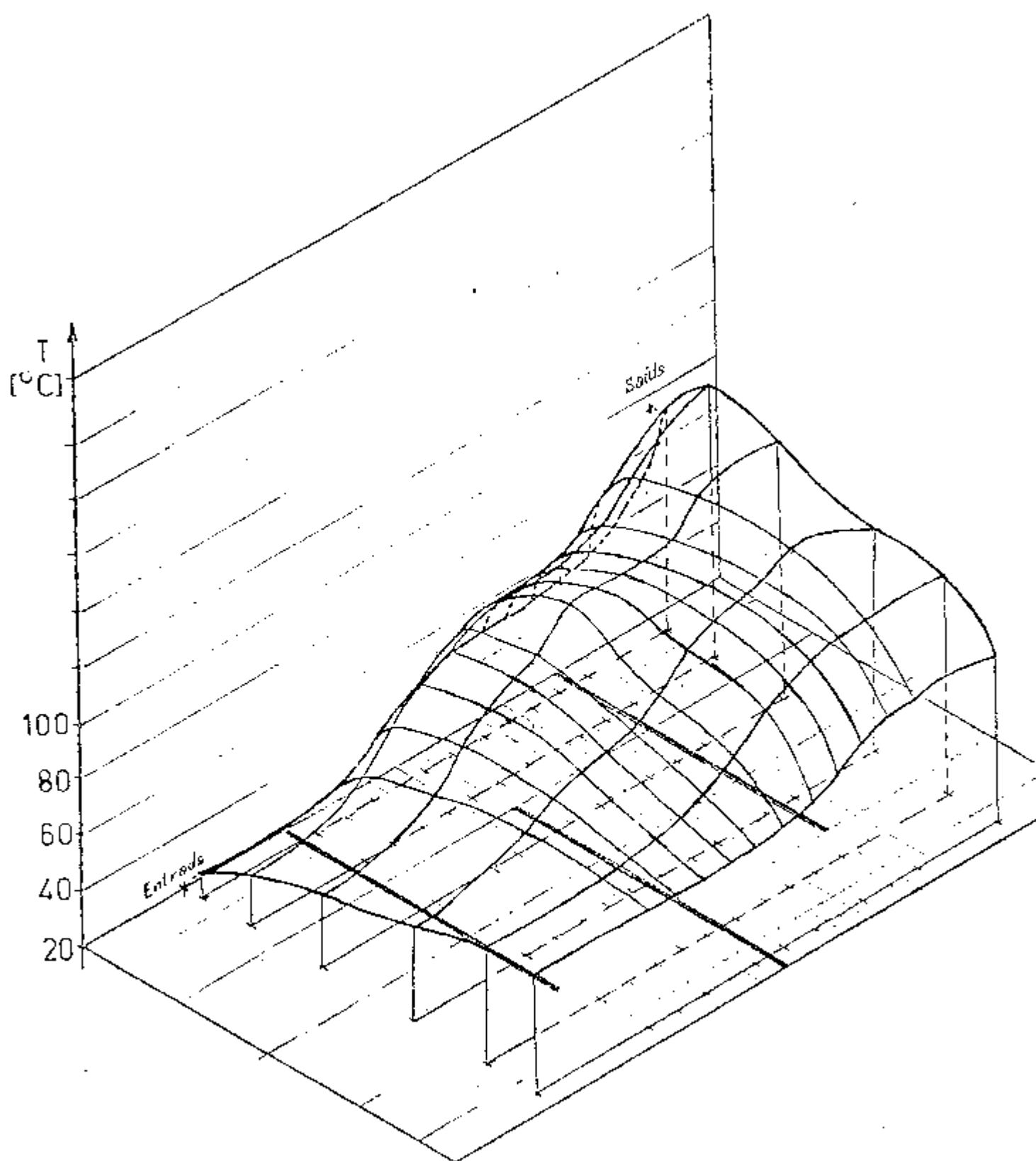


FIGURA 41 - Distribuição Espacial de Temperaturas do Fluido de Carcaça.

7.6- Comparações

Nos ítems anteriores foram exemplificados os resultados das diversas variáveis de interesse, possíveis de obtenção neste modelo, para uma determinada operação do trocador simulado. São essas variáveis, as velocidades dos fluidos de carcaça e tubos, as pressões em cada ponto do trocador, os coeficientes de transferência de calor e as distribuições de temperaturas. Infelizmente, no atual trabalho, não há possibilidade de comparações com outros dados experimentais que não as temperaturas de saída dos fluidos que são as únicas variáveis atualmente medidas no resfriador modelado. Konuk /13/ obteve comparações de dados experimentais de distribuição de fluxo e quedas de pressão com os resultados obtidos em um modelo para o fluido de carcaça semelhante àquilo descrito no Capítulo 2, comprovando a validade do mesmo. Assim, ficam limitadas as comparações à Tabela 5 que apresenta diversas operações do trocador simulado com as temperaturas de saída e o calor trocado. Doravante, a referência à uma dada operação será baseada no número à ela associado nessa Tabela.

As variáveis que aparecem nessa tabela são:

\dot{m}_t	: vazão em massa total do fluido dos tubos	- kg/s
\dot{m}_c	: vazão em massa do fluido de carcaça	- kg/s
m_{bp}	: vazão em massa no "by-pass" dos tubos	- kg/s
To_t	: temperatura de entrada nos tubos	- °C
To_c	: temperatura de entrada na carcaça	- °C

Nº	\dot{m}_{bp} kg/s	\dot{m}_c kg/s	\dot{m}_c ºC	T_{o_t} ºC	t_{o_c} ºC	T_{s_t} (ºC)			T_{s_c} (ºC)			Q (watts)			Δp (m bar)
						Exper.	Calc.	ϵ %	Exper.	Calc.	ϵ %	Exper.	Calculado	ϵ %	
1	1.26	.0	1.20	170.	20.	120.	119.3	- .6	85.	86.	1.2	327,159	331,419	1.3	. 034
2	1.32	.81	7.89	2.62	14.5	200.	208.0	4.0	38.	35.7	-6.0	424,995	370,157	-12.9	1.015
3	1.34	.92	3.27	250.	24.	195.	202.0	3.6	52.	48.4	-6.9	382,724	334,014	-12.7	- 201
4	1.34	.92	3.33	258.	25.	200.	208.4	4.2	54.	49.8	-7.8	503,600	245,148	-14.5	. 207
5	1.44	.99	5.55	280.	24.5	215.	223.6	4.0	44.	42.7	-3.0	486,065	421,755	-13.2	. 531
6	1.46	.0	2.14	225.	20.	140.	144.0	2.9	90.	88.5	-1.7	644,451	614,451	-4.7	. 093
7	1.48	.0	2.33	230.	20.	140.	145.2	3.7	90.	86.8	-3.6	691,708	652,127	-5.7	. 107
8	1.50	.0	1.55	200.	20.	140.	137.8	-1.6	92.	94.3	2.5	467,370	484,507	3.7	. 053
9	1.53	.0	2.65	240.	20.	145.	148.1	2.1	88.	85.7	-2.6	754,803	729,902	-3.3	. 132
10	1.55	.0	2.14	220.	20.	140.	143.3	2.4	90.	88.9	-1.2	643,932	617,627	-4.1	. 032
11	1.56	.0	1.94	225.	20.	148.	148.6	. 4	95.	96.2	1.3	623,783	619,060	-. 3	. 077
12	1.67	.0	2.09	221.	18.	143.	144.3	. 9	91.	89.4	-1.8	635,935	625,238	-1.7	. 089

Tabela 5 - Comparações de Resultados

T_{s_c} : temperatura de saída do fluido dos tubos - $^{\circ}\text{C}$
 T_{s_c} : temperatura de saída do fluido de carcaça - $^{\circ}\text{C}$
 Q : calor total trocado entre os fluidos - Kw
 ϵ : desvio percentual entre os valores experimen-
 rimentais e calculados - %

Nota-se a boa concordância entre os valores experimen-
 tais e os calculados. Os desvios estão dentro dos erros -
 experimentais de medida. Nota-se também um maior desvio -
 nas operações realizadas com o sistema "by-pass" dos tubos
 aberto. O acréscimo nos desvios nessas operações é devido
 à modelação de sua comporta, aonde o comportamento do fluí-
 do é impossível de ser equacionado e, a consideração de
 um fator de atrito igual à um ($f_{bp} = 1.$), necessária pela
 não existência de dados experimentais, acarreta em um cál-
 culo impreciso na transferência de calor no lado dos tubos.
 Na literatura encontramos um problema análogo à este, no
 Código Nuclear PHAETON 2 /29/, utilizado na simulação de
 um reator rápido refrigerado à hélio. Os coeficientes de
 atrito para orifícios, utilizados nesse código, são obti-
 dos por meio de ajustes dos resultados com condições exper-
 imentais. Esse procedimento pode ser considerado correto
 se utilizado neste trabalho, uma vez já conhecida a ordem
 de precisão dos resultados fornecidos pelo método. Os re-
 sultados da operação número 3 foram utilizados no ajuste -
 desse fator de atrito para um erro de 5% no cálculo do ca-
 lor trocado . Para esse erro foi encontrado o valor de
 $f_{bp} = 1.6$. As operações número 2, 4 e 5 foram simuladas no-
 vamente para esse valor de f_{bp} , resultando respectivamente

em 4% , 5% e 7% de erro no calor trocado. Infelizmente não podemos computar esses valores para comparação da precisão do modelo, visto não haver nenhum dado experimental sobre a perda de carga na comporta desse sistema "by-pass". Porém esse valor pode ser utilizado com bastante confiança - na avaliação do desempenho do resfriador de hélio, mantendo a alta precisão observada nas demais operações.

A comparação de resultados apresentados na Tabela 5 - com os resultados obtidos na utilização de um método tradicional é feita no Apêndice I.

8. APLICAÇÕES DO MODELO

8.1- Introdução

O método desenvolvido permite, através da variação das características geométricas principais, o projeto de trocadores de calor de carcaça e tubos com chicanas segmentais a partir de um dado modelo padrão. São essas características por exemplo, o número e espaçamento das chicanas, os diâmetros de tubos e furos nas chicanas, etc. Através de simulações contínuas permite também, a obtenção de diagramas e correlações para operação de um dado trocador, para qualquer regime de escoamento, com o fornecimento de relações entre calor trocado e potência de bombeamento. O modelo, que fornece as distribuições de temperaturas e velocidades ao longo de todo o trocador, permite então a análise de um projeto com a avaliação de seus problemas térmicos e hidráulicos.

Neste Capítulo são apresentadas algumas possibilidades na utilização do modelo numérico desenvolvido na forma do Código ETCHICAN, apresentado no Apêndice II. As simulações apresentadas utilizam o resfriador de hélio do IPEN como padrão.

8.2- Efeito das Folgas nas Chicanas

A variação das folgas entre tubos e furos das chicanas

e entre as chicanas e a carcaça vai modificar a distribuição de fluxo e, conseqüentemente, os coeficientes de transferência de calor. O trocador modelado, foi construído com tubos de diâmetro $d_c = 25\text{ mm}$, passando através dos furos das chicanas com diâmetro $d_f = 25.7\text{ mm}$. As chicanas com um diâmetro $d_c = 577\text{ mm}$, são centradas na carcaça que tem um diâmetro interno $d_{cc} = 580\text{ mm}$.

As folgas existentes foram então variadas no modelo, inicialmente através da redução nos diâmetros dos furos das chicanas para $d_f = 25.5\text{ mm}$ e do aumento no diâmetro das chicanas para $d_c = 578\text{ mm}$. Assim, foi conseguida uma redução de 10% na área das folgas nas chicanas. Posteriormente, foi simulada a mesma operação com um aumento nos furos das chicanas para $d_f = 27\text{ mm}$ e uma redução no diâmetro das chicanas para $d_c = 576\text{ mm}$ com um conseqüente aumento de 245% na área das folgas em relação às condições reais do trocador. O efeito dessas variações na distribuição do fluxo através de uma chicana é mostrado na Tabela 4 com a comparação das porcentagens de fluxo em cada região da chicana e a perda de carga por chicana das condições reais de folgas, obtidas para as mesmas condições de operação (Capítulo 7, Figura 31).

Tabela 6. - Efeito das Folgas das Chicanas no Escoamento
Operação 12 - $\dot{m}_c = 2.09$ kg/s.

Área das folgas (m ²)	Porcentagens de fluxo - %			Δp (m bar)	Desvio em Δp (%)
	Região -1 janela	Região -2 central	Região- 3 sob-janela		
.00210	80.58	10.46	8.96	.12	+ 33.3
.00301	74.13	13.89	11.98	.09	0.0
.00738	55.51	21.23	23.26	.04	- 55.6

A Tabela 7 mostra o efeito dessas reduções na troca de calor e nas temperaturas dos fluidos com a comparação aos resultados obtidos para as folgas normais.

Nota-se na comparação das duas tabelas que uma redução de 30% nas folgas das chicanas só promove um aumento de .5% no calor trocado enquanto que o aumento na perda de carga se eleva à mais de 33% com um igual aumento na potência de bombeamento.

Tabela 7 - Efeito das Folgas das Chicanas na troca de Calor
Operação 12 - $\dot{m}_c = 2.09$ kg/s

Área das folgas	T_{s_t} °C	T_{s_c} °C	$T_{máx_c}$ °C	Q watts	Desvio em Q (%)
.00210	142.7	90.9	118.6	638,772	+ .5
.00301	144.3	89.4	114.8	635,935	0.0
.00738	148.7	85.4	101.4	589,463	- 7.3

8.3- Efeito do Espaçamento das Chicanas

A eficiência de um trocador de calor com chicana é altamente influenciada pela relação entre o corte da chicana (área da janela) e o espaçamento entre as chicanas. O modelo apresentado, permite a variação desse espaçamento para uma dada abertura de janela. Neste item são apresentadas as comparações entre valores obtidos para o espaçamento real do trocador (distância entre chicanas definida pela variável CEC no programa, $CEC = .21m$) e os valores obtidos para uma variação de $\pm 25\%$ nesse espaçamento ($CEC = .16$ e $CEC = .26m$). A Tabela 8 apresenta a comparação das distribuições de fluxo e perda de carga (Δp) para essas variações.

O efeito dessas variações na troca de calor é mostrado na Tabela IX com a comparação dos resultados de temperaturas e calor trocado e as correspondentes variações na área de troca de calor. Esse efeito pode ser melhor observado na comparação de um coeficiente de transferência de calor global para todo o trocador, avaliado através dos resultados obtidos nessas simulações. Esse coeficiente U_G pode ser definido como na forma da Equação (86).

Tabela 8 - Efeito do espaçamento das chicanas no escoamento. - Operação 12 - $\dot{m}_c = 2.09$ kg/s

Espaçamento (m)	Porcentagens de fluxo %			Δp (m'bar)
	Região -1	Região -2	Região-3	
.16	67.72	17.39	14.89	.13
.21 (real)	74.13	13.89	11.98	.09
.26	77.57	12.28	10.15	.07

Tabela 9 - Variações no Calor Trocado em Função do Espaçamento das Chicanas - Operação 12 - $\dot{m}_c = 2.09 \text{ k/s}$.

Espaçamento (m)	Área de troca (m^2)	T_{s_t} ($^{\circ}\text{C}$)	t_{s_c} ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{\text{máx}_c}$ ($^{\circ}\text{C}$)	Q (watts)
.16	11.522	149.2	84.9	106.9	585,386
.21 (real)	13.014	144.3	89.4	113.8	635,937
.26	14.506	140.6	92.8	119.4	655,502

$$U_g = \frac{Q}{A_{tr} \Delta T_{ml}}$$

86.

aonde Q é o calor total trocado, A_{tr} a área total de troca de calor e ΔT_{ml} uma diferença média logarítmica de temperaturas definida por:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{s_t} - T_{o_c}) - (T_{o_t} - T_{s_c})}{\ln \left[\frac{(T_{s_t} - T_{o_c})}{(T_{o_t} - T_{s_c})} \right]}$$

87.

A Tabela 10 apresenta a comparação desses coeficientes globais de transferência de calor como função do espaçamento das chicanas.

Tabela 10 - Eficiência na Troca de Calor em Função do Espaçamento das Chicanas.-Operação 12- $\dot{m}_c=2.09\text{kg/s}$.

Espaçamento (m)	Área de troca Atr (m^2)	ΔT_{ml} ($^{\circ}\text{C}$)	U_g ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)	Variações em U_g %
.16	11.522	134.	379.	- 11.66
.21 (real)	13.014	113.	429.	0.0
.26	14.506	125.	362.	- 15.62

Observa-se nas Tabelas 8, 9 e 10 que o espaçamento mais vantajoso nesse trocador é o de projeto, na comparação da perda de carga e calor trocado em relação à área de troca de calor. Enquanto os outros espaçamentos simulados acarretaram em variações de + 44. e -22% na perda de carga e -12. e -16% nos coeficientes de transferência de calor, as áreas de troca variaram cerca de -12 e + 12% respectivamente.

8.4 - Variações no Número de Chicanas

O projeto de um trocador de calor pode então ser desenvolvido a partir de relações padrão entre número de tubos, diâmetro de carcaça, porcentagem de janela e espaçamento nas chicanas. As condições de operação também pré-fixadas, vão exigir uma investigação do número de chicanas (portanto a área de troca de calor) necessário para a troca de calor desejada. Este modelo permite a variação do número

de chicanas, conseqüentemente o comprimento do trocador e a área de transferência de calor. O efeito da variação do número de chicanas à partir do modelo padrão (resfriador do IPEN) é mostrado na Tabela 11 com a indicação do aumento na área de troca e no calor transferido pelos fluidos para cada par de chicanas acrescentadas. Foram simuladas as seguintes condições operacionais:

- . $\dot{m}_c = 2.15 \text{ kg/s}$
- . $\dot{m}_t = 1.20 \text{ kg/s}$
- . $T_{o_c} = 20.9\text{C}$
- . $T_{o_t} = 190.9\text{C}$
- . $P_o = 18. \text{ bar}$

Tabela 11 - Efeito do Número de Chicanas na Troca de Calor

Número de chicanas	Área de troca (m^2)	Acréscimo na área %	T_{s_t} °C	T_{s_c} °C	Q Kw	Acréscimo em Q %
3- padrão	13.01	-	117.	70.	453.	-
5	19.43	49.	101.	81.	553.	22.
7	25.84	99.	91.	88.	615.	36.

Nota-se na Tabela 11 que para se conseguir um acréscimo de 36% no calor trocado para essas condições de operação, é necessário quase que uma duplicação na área de troca de calor, isso é devido à aproximação das temperaturas dos fluidos que, para 7 chicanas saem à apenas 3.9C de diferença.

8.5 - Diagramas de Operação

A simulação de operações seguidas no modelo pode fornecer uma série de diagramas de interesse na operação de um dado trocador. É possível então a obtenção de correlações de adimensionais para diversos regimes de operação do trocador o que, para avaliação do desempenho de um dado trocador em operações aonde não seja possível uma variação rápida de vazões, pode reduzir sensivelmente o tempo de estabilização em regime pela pré-avaliação dessas vazões, resultando em ampla economia e segurança funcional.

Para o resfriador apresentado neste trabalho, foram simuladas operações em sequência de regimes de escoamento tanto do fluido dos tubos como da carcaça que, são resumidas nos diagramas deste ítem.

8.5.1 - Escoamento do Fluido dos Tubos

O escoamento do fluido dos tubos, com a utilização do sistema "by-pass" (exclusivo), foi simulado para as diversas vazões indicadas nos diagramas das Figuras 42, 43 e 44 que apresentam respectivamente as variações da perda de carga em função da vazão total do fluido dos tubos e em função da área de fluxo no "by-pass" e, a potência de bombeamento em função da vazão.

8.5.2- Escoamento do Fluido de Carcaça

A simulação do fluido de carcaça para diversas opera-

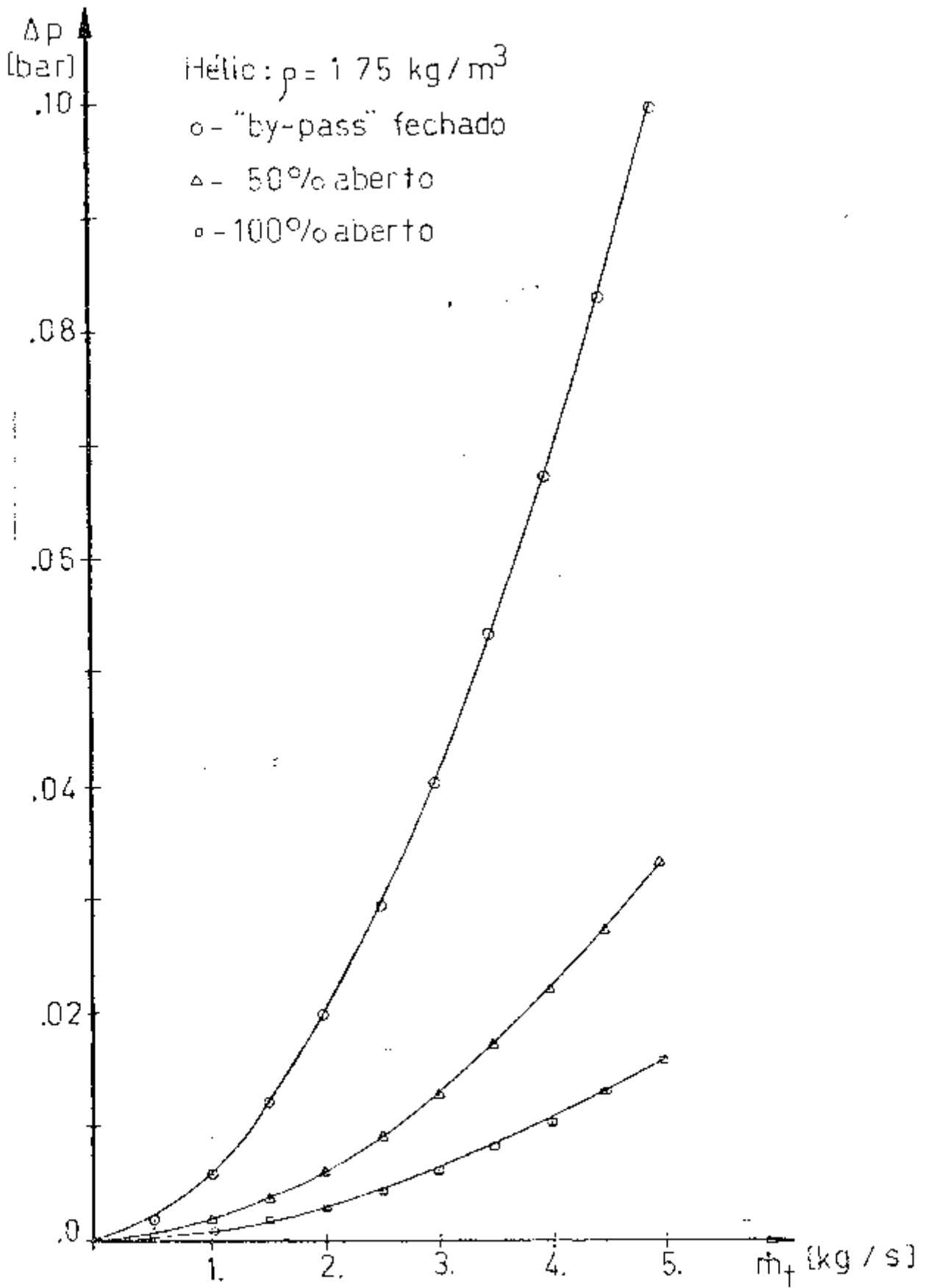


FIGURA 42- Variações na Perda de Carga no Lado dos Tubos com a Vazão.

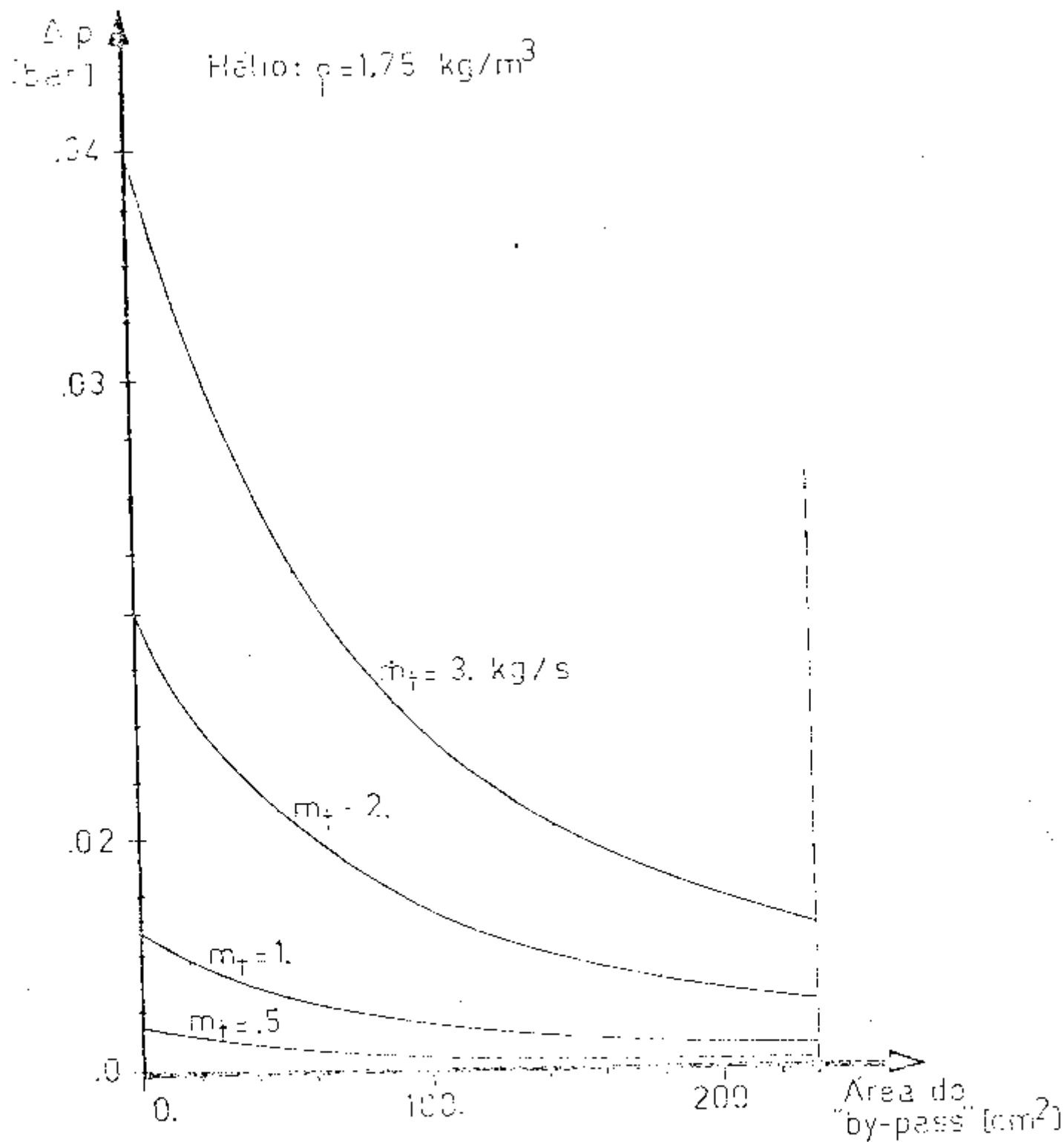


FIGURA 43 - Variações na Perda de Carga no Lado dos Tubos com a Abertura do "by-pass".

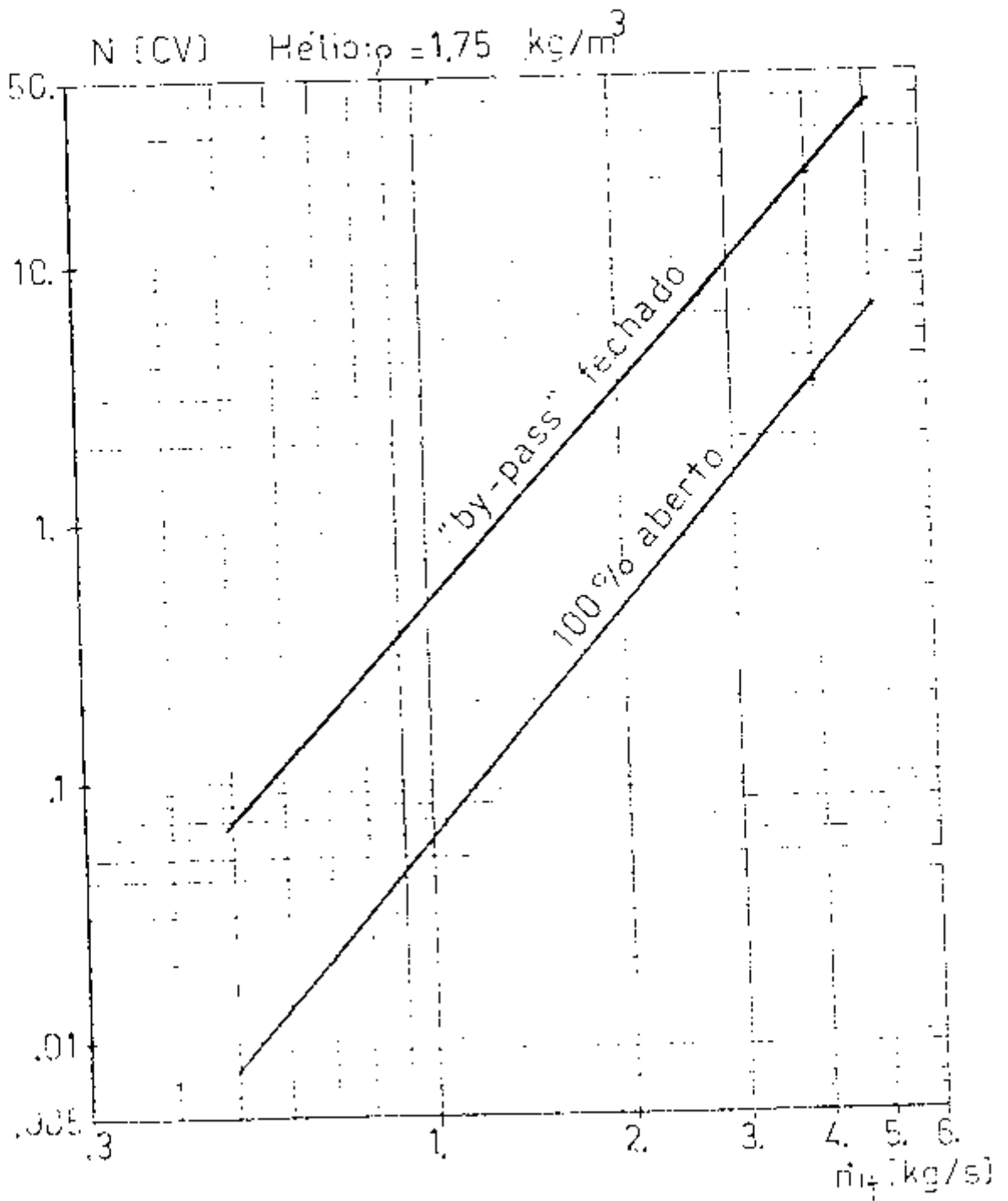


FIGURA 44 - Potência de Atrito no Lado dos Tubos.

ções é sumarizada no diagrama da Figura 45 que apresenta, a perda de carga e a potência de atrito por chicana como função da vazão do fluido de carcaça.

8.5.3- Relações Adimensionais

O modelo, como já mencionado, permite a obtenção de relações adimensionais para transferência de calor e perda de carga por chicana, análogas àsquelas utilizadas nos métodos integrais (Vide Introdução). O gráfico da Figura 46 apresenta os valores da perda de carga por chicana obtidas através do modelo, em função de um número de Reynolds, Re , médio no trocador, definido por:

$$Re = \frac{G D}{\mu} \quad 88.$$

onde D é o diâmetro hidráulico médio na carcaça para fluxo paralelo, função do diâmetro e arranjo dos tubos e G uma velocidade de massa média definida por:

$$G = \frac{\dot{m}_c}{S_e} \quad 89.$$

onde S_e é uma área de fluxo ponderada entre as áreas da janela (S_p) e da seção média de fluxo cruzado entre duas chicanas, (S_c) definida por

$$S_e = \sqrt{S_p S_c} \quad 90.$$

A variação do coeficiente de transferência de calor h_c , do fluido de carcaça, baseado no mesmo número de Reynolds - definido pela Equação (88), é mostrado no diagrama da Figu-

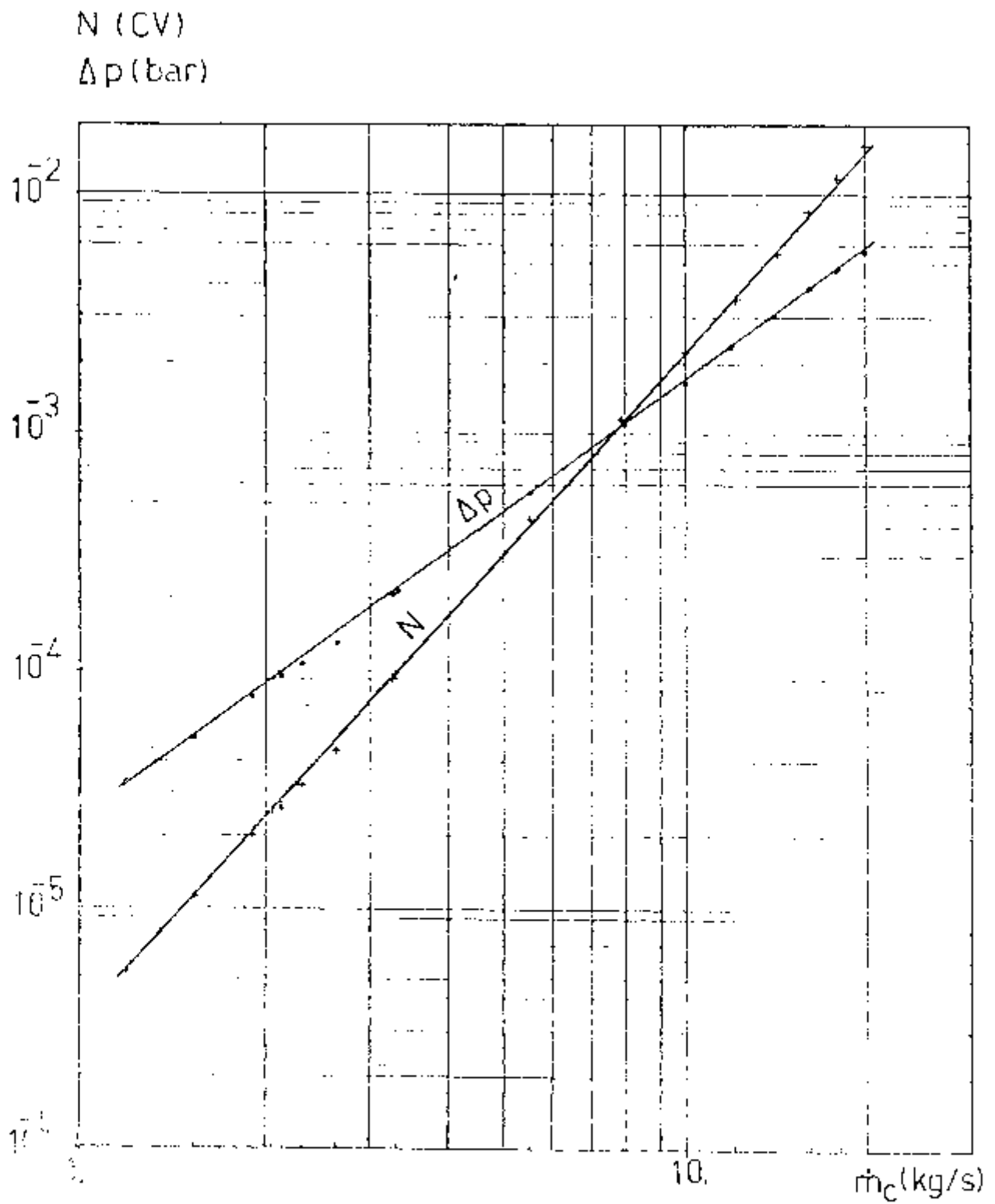


FIGURA 45 = Perda de Carga e Potência de Atrito para um Intervalo entre Chicanas.

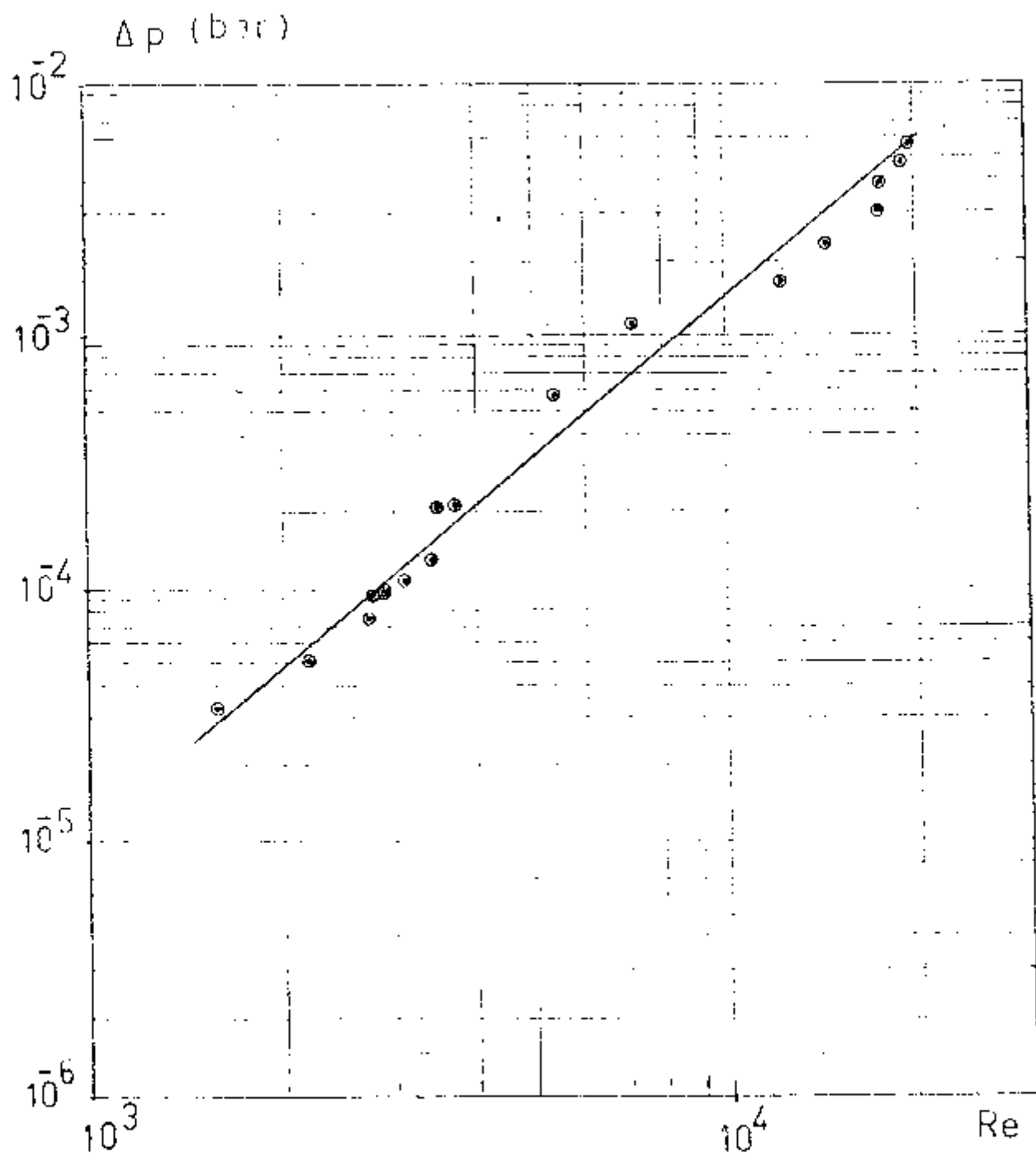


FIGURA 46- Perda de Carga por Chicana como Função do Regime de Escoamento.

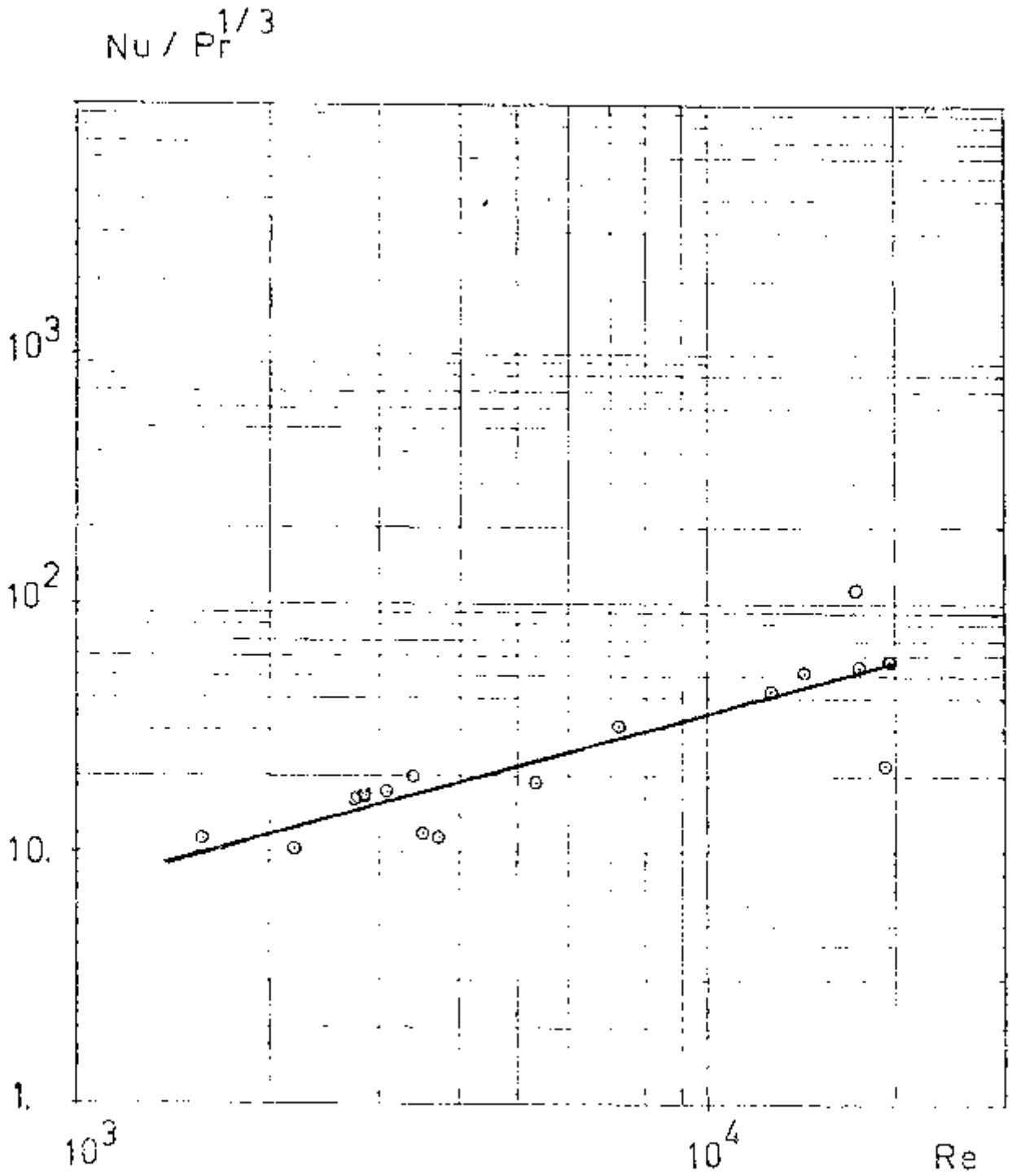


FIGURA 47 - Correlação do Número de Reynolds .

As correlações de perda de carga por chicana e transferência de calor aproximadas dos diagramas das Figuras 46 e 47 são representadas pelas Equações (91) e (92).

$$\Delta p = 5.88 \times 10^{-12} Re^{2.095} \quad 91.$$

$$Nu_c = .538 Re^{.7093} Pr^{1/3} \quad 92.$$

9. ESTUDOS PARAMÉTRICOS

9.1 - Introdução

A influência de diversos parâmetros utilizados no modelo foi determinada na comparação com dados experimentais de temperaturas e tempo de processamento em computador para avaliação dos efeitos das incertezas à eles associadas .

Dentro desses parâmetros são enquadradas as variáveis de controle numérico e as principais simplificações adotadas neste modelo que são, a adoção de uma proporção entre os fluxos laterais para alguns dos volumes de controle dos níveis de entrada e saída e, a delimitação da influência turbulenta das chicanas na perda de carga e transferência de calor.

9.2- Proporção de Fluxo (PRD)

A influência da variável "PRD" (notação do programa) , discutida no item 2.5 do Capítulo 2 , foi investigada com a sua variação entre 10. e 90.% . A comparação dos diversos valores obtidos com essa variação e com os dados experimentais é apresentada na Tabela 12. As comparações foram feitas para a Operação 12. Foi utilizado um intervalo de integração $\Delta t = .5$ segundos com a renovação dos coeficientes de transferência de calor à cada 20 passos (ITL = 20) .

PRD	Nº de passos	Ts _t (°C)	ε %	Ts _c (°C)	ε %	Q (watts)	ε %	Tmáx _c (°C)	Subc. de Tmáx _c	Nível de Tmáx _c
(exper.)		143.	0.	91.	0	635,935	0			
.1	286	147,439	3.1	86.484	-5.0	599,744	-5.7	120.3	5	13
.2	246	146,526	2.5	87.340	-4.0	607,287	-4.5	118.6	5	13
.3	229	145.879	2.0	87.941	-3.4	612,462	-3.7	117.1	5	13
.4	220	145.374	1.7	88.409	-2.9	616,580	-3.0	115.8	4	12
.5	215	144.960	1.4	88.789	-2.4	619,955	-2.5	115.4	4	12
.6	211	144.611	1.1	89.120	-2.1	622,800	-2.1	115.1	4	12
.7	208	144.316	.9	89.392	-1.8	625,205	-1.7	114.8	4	12
.8	206	144.067	.8	89.626	-1.5	627,236	-1.4	114.4	4	12
.9	204	143.855	.6	89.821	-1.3	628,964	-1.1	114.1	4	12

Tabela 12 - Variações Na Proporção de Fluxo Lateral

Operação 12 - $\dot{m}_c = 2.09 \text{ kg/s}$

Como se observa nessa tabela, na faixa de interesse (60 a 80%), não há variações importantes na troca de calor e na distribuição de temperaturas, representada pela temperatura máxima do fluido de carcaça ($T_{m\acute{a}x_e}$), o que justifica a adoção dessa proporção de fluxo.

9.3- Limite de Influência Turbulenta das Chicanas

O limite da influência turbulenta das chicanas na troca de calor e perda de carcaça, estabelecido pela relação $\Delta x/D_H$, representada pela variável XLIMIT (notação do programa), é um dos parâmetros com maior grau de incerteza associado. Esse limite, inicialmente admitido igual a dois (2), foi modificado para 1.5 e 2.5. A influência dessas variações na distribuição de fluxo é mostrada na Tabela 13.

Tabela 13 - Variações na Distribuição de Fluxo com a Altura do Nível das Chicanas. - Operação 12 - $\dot{m}_c = 2.09$ kg/s.

XLIMIT	Porcentagens de fluxo %			Δp (m bar)
	Região 1	Região 2	Região 3	
1.	75.79	13.19	11.02	.081
2.	73.70	14.28	12.02	.092
3.	71.15	15.61	13.24	.107

Nota-se na tabela acima que uma variação na relação

$\Delta x/D_{II}$ na faixa de 1. a 3. acarreta uma variação de até 20% na taxa de fluxo da região 3 e, um acréscimo de 32% na perda de carga calculada, sendo portanto o parâmetro de maior importância no cálculo dessas distribuições e perda de carga. Porém, pode-se notar na Tabela 14, que essas variações não interferem no cálculo do calor trocado.

Tabela 14 - Variações na Troca de Calor com a Altura do nível das Chicanas- Operação $12-\dot{m}_c=2.09\text{kg/s}$

XLIMIT	T_{s_t} (°C)	T_{s_c} (°C)	$T_{m\acute{a}x_c}$ (°C)	Q (w)
1.	144.5	89.2	107.6	623,795
2.	144.4	89.3	113.8	624,431
3.	144.6	89.2	121.8	623,110

9.4 - Intervalo de Renovação dos Coeficientes de Transferência de Calor e das Velocidades do Fluido dos Tubos.

Como referido no Capítulo 4, a renovação dos coeficientes de transferência de calor e das velocidades nos tubos não se processa necessariamente à cada passo de integração. O intervalo entre renovações é determinado pela variável IFL (notação do programa). Também, a renovação das velocidades nos tubos só é realizada, à cada IFL passos, se ordenado, através da variável IOPT.

A Tabela 15 mostra a influência dessas variáveis na distribuição de temperaturas, representada pela temperatura máxima do fluido de carcaça ($T_{m\acute{a}x_c}$), e no calor trocado e no número de passos para estabilização em regime. Foi utilizado um intervalo de integração $\Delta t = .5$ seg., uma proporção entre fluxos laterais nos níveis extremos $PRD = .7$ e uma tolerância no calor trocado pelos fluidos $TOLP = .001$. A Tabela 15 exemplifica a operação número 12 da Tabela 5.

Como pode se observar na Tabela 15, os resultados são praticamente indiferentes à variação do intervalo entre renovações e à reavaliação das velocidades nos tubos. Nota-se também que na opção de reavaliação das velocidades nos tubos, são necessários cerca de 13% menos passos até a estabilização em regime, o que em muitos casos implica em economia de tempo de processamento. A opção mais desvantajosa foi a de renovação em todos os passos, que necessita aproximadamente 7 vezes mais tempo de processamento que as demais.

9.5- Intervalo de Integração

Como já comentado anteriormente, a integração do sistema diferencial gerado pelas equações de energia é baseada no método de Euler, com um intervalo de integração correspondente a um intervalo de tempo do transiente fictício. A influência do tamanho desse intervalo e da sua variação durante a evolução do transiente fictício é mostra

ITL	Renovação de velocidade nos tubos	Tempo de Regime (s)	Número de passos	$T_{máx_c}$ (°C)	T_{s_t} (°C)	T_{s_c} (°C)	Q (watts)	ϵ
1	Sim	91.0	182	114.6	144.513	89.219	623,599	- 1.9
10	Sim	91.5	183	114.6	144.519	89.219	623,550	- 1.9
10	não	103.5	207	114.8	144.313	89.395	625,230	- 1.7
20	Sim	92.0	184	114.5	144.524	89.211	623,510	- 2.0
20	não	104.0	208	114.8	144.316	89.392	625,205	- 1.7
30	Sim	92.5	185	114.5	144.530	89.195	623,461	- 2.0
30	não	104.5	209	114.8	144.325	89.383	625,132	- 1.7
40	Sim	93.5	187	114.5	144.550	89.188	623,298	- 2.0
40	não	105.5	211	114.7	144.327	89.382	625,116	- 1.7
50	Sim	94.5	189	114.4	144.569	89.169	623,143	- 2.0
50	não	106.5	213	114.7	144.337	89.372	625,034	- 1.7
60	Sim	95.5	191	114.3	144.603	89.139	622,866	- 2.1
60	não	108.5	217	114.7	144.340	89.372	625,010	- 1.7

Tabela 15 - Variações no Intervalo de Renovações
Operação 12 - $\dot{m}_c = 2.09$ kg/s.

da na Tabela 16. A variação desse intervalo, passo a passo, de forma a manter uma variação máxima de temperaturas, é realizada através de uma ordem comendada pela variável ITIME (notação do programa), discutida no Capítulo 4. Podemos notar nessa tabela que a solução do sistema original independe do intervalo de integração. Nota-se também que a sua reavaliação no decorrer do transiente somente é conveniente na ignorância total da ordem de grandeza do intervalo crítico, discutido anteriormente.

9.6- Número de Níveis por Chicana

O número de volumes de controle em que pode ser dividido o trocador, vai ser determinado pelo número de subcanais e pelo número de níveis. Pela dificuldade em se variar o número de subcanais que, requerem uma quantidade muito grande de dados, o programa foi elaborado de modo a permitir a variação do número de níveis pela simples determinação do número de níveis entre chicanas, ficado pela variável II (notação do programa). A influência da variação desse número, conseqüentemente do tamanho dos volumes de controle, na perda de carga por chicana e na distribuição de temperaturas calculadas, é mostrada na Tabela 17, com a comparação dos resultados obtidos para a operação número 12.

Nota-se nessa tabela a pequena e até certo ponto aleatória influência do número de níveis entre chicanas na troca de calor e perda de carga para a faixa de varia

DT	DT _{máx}	II	Reoscila ção de DT	Número de passos	Tempo de regi - me (s)	Tempo de "CPU " (s)	T _{máx_c} (°C)	T _{s_t} (°C)	T _{s_c} (°C)
.01	1.0	2	sim	577	95.60	37.66	113.2	144.469	89.149
.01	1.5	2	sim	570	91.63	36.94	113.0	144.424	89.393
.75	(crítico)	2	não	138	103.50	24.34	113.8	144.411	89.318
.005	∞	5	sim	2,609	117.31	279.07	114.8	144.298	89.429
.01	.01	5	não	12,329	123.29	875.40	114.8	144.294	89.411
.05	.05	5	não	2,345	117.23	262.80	114.8	144.306	89.401
.25	.25	5	não	453	113.24	146.40	114.7	144.335	89.375
.59	.59	5	não	208	104.00	139.93	114.8	144.316	89.392
.69	(Crítico)	5	não	117	80.73	126.23	114.1	144.207	89.850

Tabela 16 - Variações no Intervalo de Integração
Operação 12 - $\dot{m}_c = 2.09 \text{ kg/s}$.

Nº da Ope Operação	II	Tempo de "CPU" (s)	Tmáx _c (°C)	Ts _t (°C)	ε %	Ts _c (°C)	ε %	Q (watts)	ε %	Ap por chicana (m bar)
12	2	22.4	113.8	144.411	1.0	89.318	-1.8	624,431	-1.8	.0924
12	3	62.0	114.5	144.300	.9	89.477	-1.7	625,336	-1.7	.09066
12	4	105.0	116.8	144.718	1.2	89.018	-2.2	621,928	-2.2	.09163
12	5	127.0	114.8	144.316	.9	89.626	-1.5	625,205	-1.7	.08969

Tabela 17 - Variações no Número de Níveis entre Chicanas
Operação 12 - $\dot{m}_c = 2.09$ kg/s.

obtenção da perda de carga como do calor trocado, bastam apenas dois níveis por chicana, o que reduz enormemente o tempo de processamento (CPU). A utilização de mais níveis só tem significado na investigação das distribuições de pressões e temperaturas.

10. CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido permite, através da solução das equações de conservação, escritas para todos os seus volumes de controle, a obtenção das distribuições de velocidades, pressões e temperaturas de estado estacionário dos fluídos de carcaça e tubos de um trocador de calor de carcaça e tubos "U" com chicanas segmentais o que, não é possível por nenhum outro método.

O método, aplicado ao resfriador de hélio do Circuito Experimental de Hélio do IPEN, reproduziu com alta precisão as temperaturas de saída para as condições experimentais disponíveis. Como o método só utiliza correlações gerais para fatores de atrito (f) e coeficientes de transferência de calor (h), não contendo nenhum parâmetro otimizado, ao contrário do método de Palen e Taborek, portanto independente da geometria e condições de operação, pode-se esperar previsões de mesma ordem de precisão se aplicado à outros trocadores.

A análise das incertezas associadas à todos os parâmetros numéricos e simplificações revelou uma grande confiabilidade do modelo, principalmente pelo fato de ser aplicado à um trocador com apenas tres chicanas e, o efeito das simplificações refletir mais acentuadamente nos resultados que se esse número fosse maior.

Os métodos numéricos de solução utilizados, aliados à uma eficiente técnica de programação, demonstraram a viabilidade da utilização de uma sofisticada técnica desenvolvida para aplicações nucleares (Análise de Subcanais), em aplicações experimentais e industriais, que sejam o projeto de trocadores de calor e a avaliação de seu desempenho nas mais diversas condições de operação. O programa de computador elaborado (ETCHICAN), de flexibilidade análoga à de um código para análise termo-hidráulica do núcleo de reatores nucleares, requer as condições de operação e os dados geométricos do trocador de uma forma extremamente facilitada ao usuário através de uma alta automatização e simplicidade.

O modelo desenvolvido, baseado em uma hipótese de escoamento isotérmico repetitivo de intervalo à intervalo entre chicanas, não é de aplicação segura à trocadores longos cujo fluido de carga seja muito viscoso, visto haver uma grande modificação na forma de escoamento desde a entrada até a saída do fluido de carga. Ainda assim, deve apresentar melhores resultados que os demais métodos.

Em trabalhos posteriores, o método será aplicado à outros trocadores de calor de carga e tubos com chicanas segmentais, na averiguação de sua precisão e confiabilidade. Se, aplicado à trocadores mais longos, com fluidos altamente viscosos escoando no lado da carga, não apresentar bons resultados, será experimentada a solução sucessiva dos intervalos entre chicanas, indi-

vidualmente, com novas condições de contorno. Posteriormente será investigada a introdução de termos de mistura turbulenta nas equações de energia do fluido de carcaça. Apresentando resultados da mesma ordem de precisão que os obtidos na simulação do resfriador apresentado neste trabalho, serão investigadas simplificações que permitam uma maior economia na sua utilização. Será investigada a simulação de transientes reais de uma forma simplificada e econômica.

APÊNDICE I - MÉTODO INTEGRAL DE DONOHE /4/

Neste Apêndice é exemplificada a aplicação de um método integral de solução de trocadores de calor de carcaça e tubos com chicanas segmentais. Os dados experimentais do resfriador de hélio do IPEN são comparados com os resultados obtidos pelo método desenvolvido neste trabalho e com os resultados obtidos na utilização do método de Donohue que consiste no cálculo de um coeficiente de transferência de calor único para o fluido de carcaça ao longo de todo o trocador. Esse método é baseado na correlação empírica dada pela Equação (97). O Coeficiente de Transferência de Calor no lado dos tubos pode ser avaliado utilizando-se qualquer correlação, por exemplo, a de Mc Adams /22/, apresentada na Equação (77).

$$\frac{h_D}{k} = .19 (D'_e)^{.6} \left(\frac{D G_e}{\mu} \right)^{.6} Pr^{.33} \quad 93.$$

onde D'_e é o diâmetro hidráulico relativo ao arranjo dos tubos, dado em polegadas, D o diâmetro dos tubos (d_e) em metros e G_e uma velocidade de massa média definida por:

$$G_e = \frac{\dot{m}_c}{S_e} \quad 94.$$

Aonde S_e é uma área de fluxo ponderada entre as áreas da janela (S_p) e da seção média do trocador para fluxo cruzado (S_e), definida analogamente à Equação (90). (Fiqu - ra 48).

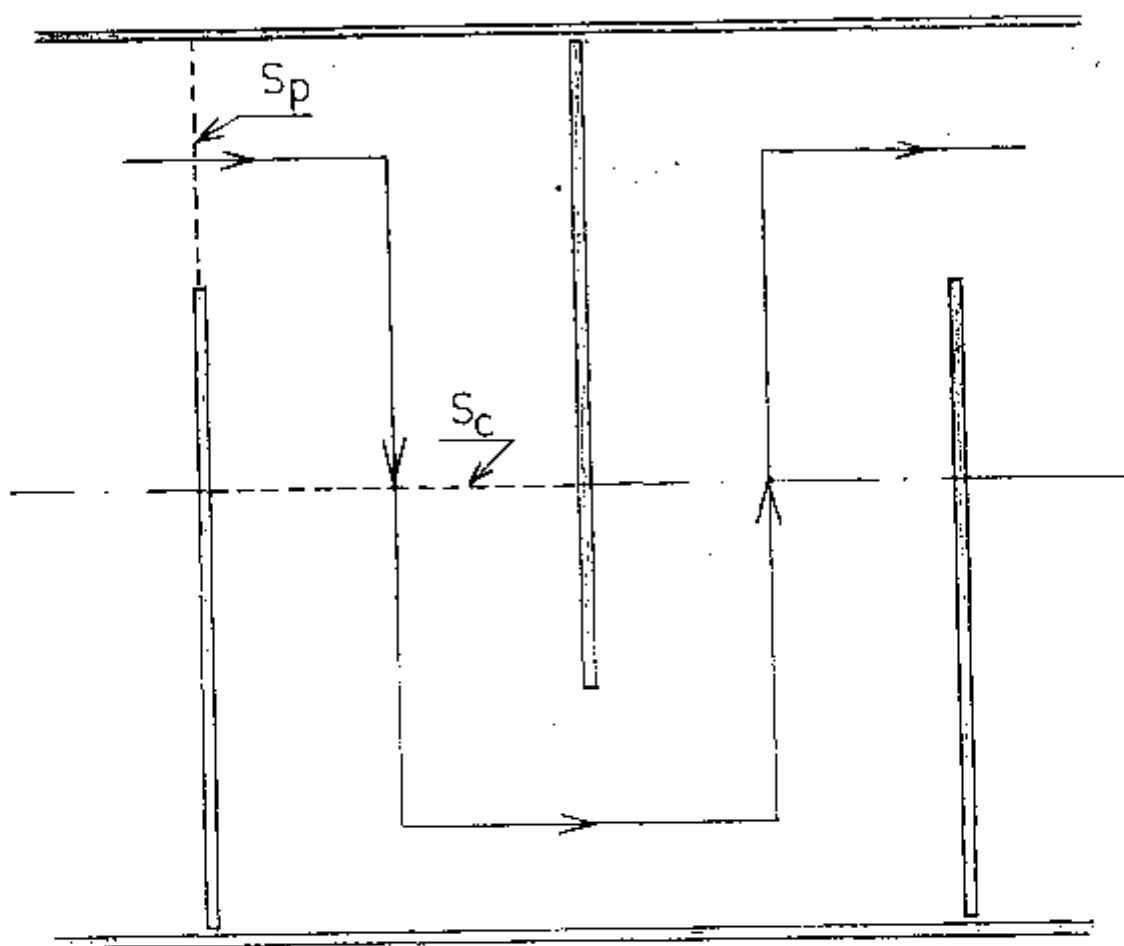


FIGURA 48 - Regiões Médias de Fluxo na Carcaça

O cálculo do calor trocado é baseado na fórmula da Equação (95).

$$Q = U A_{tr} \Delta T_{ml} \quad 95.$$

onde U é o coeficiente global de transferência de calor, definido analogamente à Equação (76) mas, baseado em coeficientes de película (h) médios no trocador, A_{tr} é a área total de troca de calor e ΔT_{ml} uma diferença média logarítmica corrigida de temperaturas dada por:

$$\Delta T_{ml} = F \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad 96.$$

O fator de correção utilizado (F) foi extraído dos diagramas de Kays /30/. Os demais termos definidos na Equação (96) são:

$$\Delta T_1 = T_{s_t} - T_{o_c}$$

$$\Delta T_2 = T_{o_t} - T_{s_c}$$

onde T_{s_t} e T_{s_c} são respectivamente as temperaturas de saída dos fluidos dos tubos e carcaça e, T_{o_t} e T_{o_c} as temperaturas de entrada no trocador.

Os resultados de temperaturas e calor trocado, obtidos na utilização desse método, são apresentados na Tabela 18, para as operações ali indicadas.

Nº da Oper.	\dot{m}_c (Kg/s)	Método Integral de Donohue						Programa ETCHICAN					
		T_{s_t} (°C)	ϵ %	T_{s_c} (°C)	ϵ %	Q(Kw)	ϵ %	T_{s_t} (°C)	ϵ %	T_{s_c} (°C)	ϵ %	Q(Kw)	ϵ %
1	1.20	122.	1.7	82.	-3.5	312.	-4.6	119.3	-1.6	86.	1.2	331.	1.3
6	2.14	153.	9.3	81.	-10.0	546.	-15.3	144.0	2.9	88.5	-1.7	614.	-4.7
7	2.33	155.	10.7	79.	-12.2	576.	-16.8	145.2	3.7	86.8	-3.6	652.	-5.7
8	1.55	142.	1.4	90.	-2.2	454.	- 2.8	137.8	-1.6	93.3	2.5	485.	3.7
9	2.65	160.	10.3	77.	-12.5	636.	-15.6	148.1	2.1	85.7	-2.6	730.	-3.3
10	2.14	151.	7.9	82.	- 8.9	552.	-14.2	143.3	2.4	88.9	-1.2	618.	-4.1
11	1.94	156.	5.4	89.	- 6.3	563.	- 9.8	148.6	. 4	96.2	1.3	619.	- .8
12	2.09	152.	6.3	84	- 7.7	560.	-12.1	144.3	. 9	89.4	-1.8	625.	-1.7

Tabela 18 - Comparações entre o Método Desenvolvido e o Método de Donohue.

Nota-se que os resultados obtidos pelo método de Donohue apresentam desvios sempre superiores àqueles fornecidos pelo presente trabalho. Nota-se também, uma tendência de aumento dos desvios com o aumento da vazão do fluido de carcaça, portanto com o regime de escoamento. Porém, podemos constatar que esses desvios não são significativos em se tratando de um método que utiliza constantes baseadas na minimização de erros sobre dados experimentais de alguns trocadores.

APÊNDICE II

"ETCHICAN" - Programa para Análise Termo-Hidráulica em Regime Permanente de um Trocador de Calor de Carcaça e Tubos "U" com Chicanas Segmentais".

O objetivo deste Apêndice é a descrição dos blocos e parâmetros de entrada do programa utilizado no modelo desenvolvido. As entradas de dados e ligações entre os blocos são mostradas no diagrama da Figura 49.

A definição de todas as variáveis, dimensões, unidades e rótulos dos comandos "COMMON" utilizados é apresentada na forma de comentários em todos os blocos do programa.

Nesta versão, o programa está preparado somente para arranjo quadrado de tubos, conforme discutido na parte teórica.

A. "BLOCK DATA" - "Definição das Características Geométricas, Constantes de Adimensionais, Propriedades Físicas e Variáveis de Controle Numérico".

A.1 - Características Geométricas

A metade da seção transversal do trocador (Figura 50), conforme o modelo discutido na parte teórica,

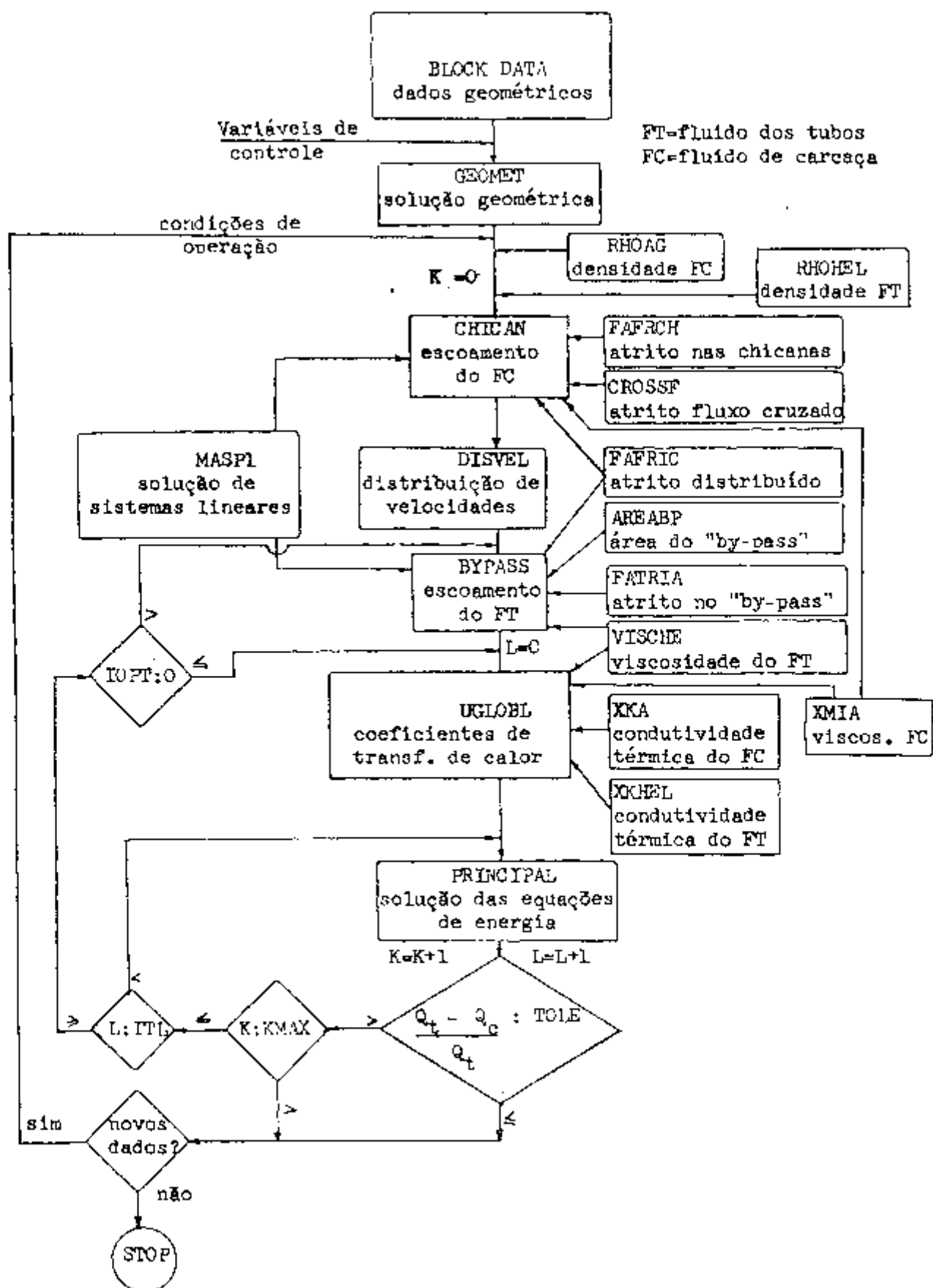


FIGURA 49- Fluxograma do Programa ETCHICAN.

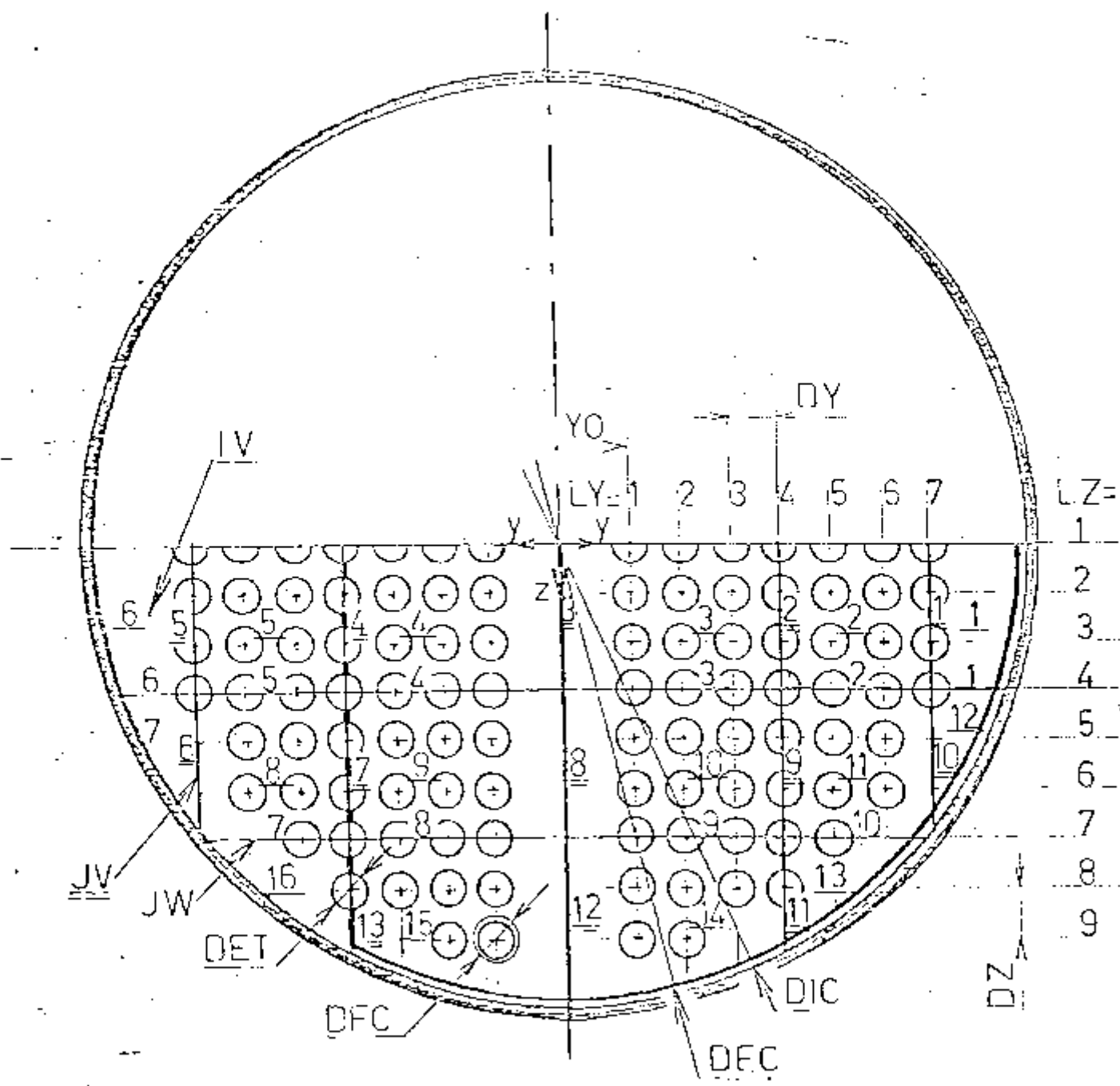


FIGURA 50- Seção Modelada

com a vista de uma chicana com a janela colocada à esquerda, é dividida em subcanais atendendo-se às seguintes condições:

- a. As divisões devem sempre acompanhar as linhas de centro de fileiras de tubos que, são numeradas em ordem crescente à partir do centro do trocador em linhas-y à esquerda e à direita e em linhas-z abaixo.
- b. Uma das divisões deve coincidir com o corte da janela.
- c. O modelo deve ser simétrico em relação à linha de centro ficando a metade do trocador dividida em dois lados (origem dos y) sendo que nenhum subcanal pode cruzar essa linha de simetria.
- d. Todos os tipos de subcanais possíveis de modelação nesta versão do programa aparecem na Figura 50. A utilização de outros tipos é possível mediante modificações nas subrotinas GEOMET e CHICAN.
- e. Entende-se por "junções-v" (JV) , os segmentos de linha horizontais (z-constante) que separam dois subcanais . As "junções-w" (JW) , são os segmentos verticais (y-constante).
- f. As numerações dos subcanais, junções-v e junções-w, podem ser dadas em qualquer ordem. Recomenda-se uma numeração contínua e ordenada (Figura 50) para maior facilidade no fornecimento de dados e eficiência computacional.

O fornecimento dos dados geométricos para o modelo da Figura 50 é detalhado à seguir. É utilizada a denominação de "VOLUME-IV" para os subcanais (notação do programa). Os dados para o modelo deste trabalho, fornecidos através de comandos "DATA", são apresentados na listagem de uma compilação ao final do item A.

A.1.1 - Características dos Subcanais e Junções (Figura 51).

- . IIV - número total de subcanais
- . JJV - número total de junções-v
- . JJW - número total de junções-w
- . LADO (IV) - lado do volume IV em relação à linha de simetria da Figura 51.
LADO (IV) = 1 - direita da figura
LADO (IV) = 2 - esquerda da figura.
- . IVS (IV) - número do subcanal simétrico à IV em relação à linha de centro.
- . NREG (IV) - região de IV em relação à chicana.
NREG (IV) = 1 - janela
NREG (IV) = 2 - central
NREG (IV) = 3 - sob-janela .
- . JVE (IV) - número da junção-v à esquerda de IV
- . JVD (IV) - número da junção-v à direita de IV
- . JWB (IV) - número da junção-w em baixo de IV
- . JWC (IV) - número da junção-w em cima de IV.

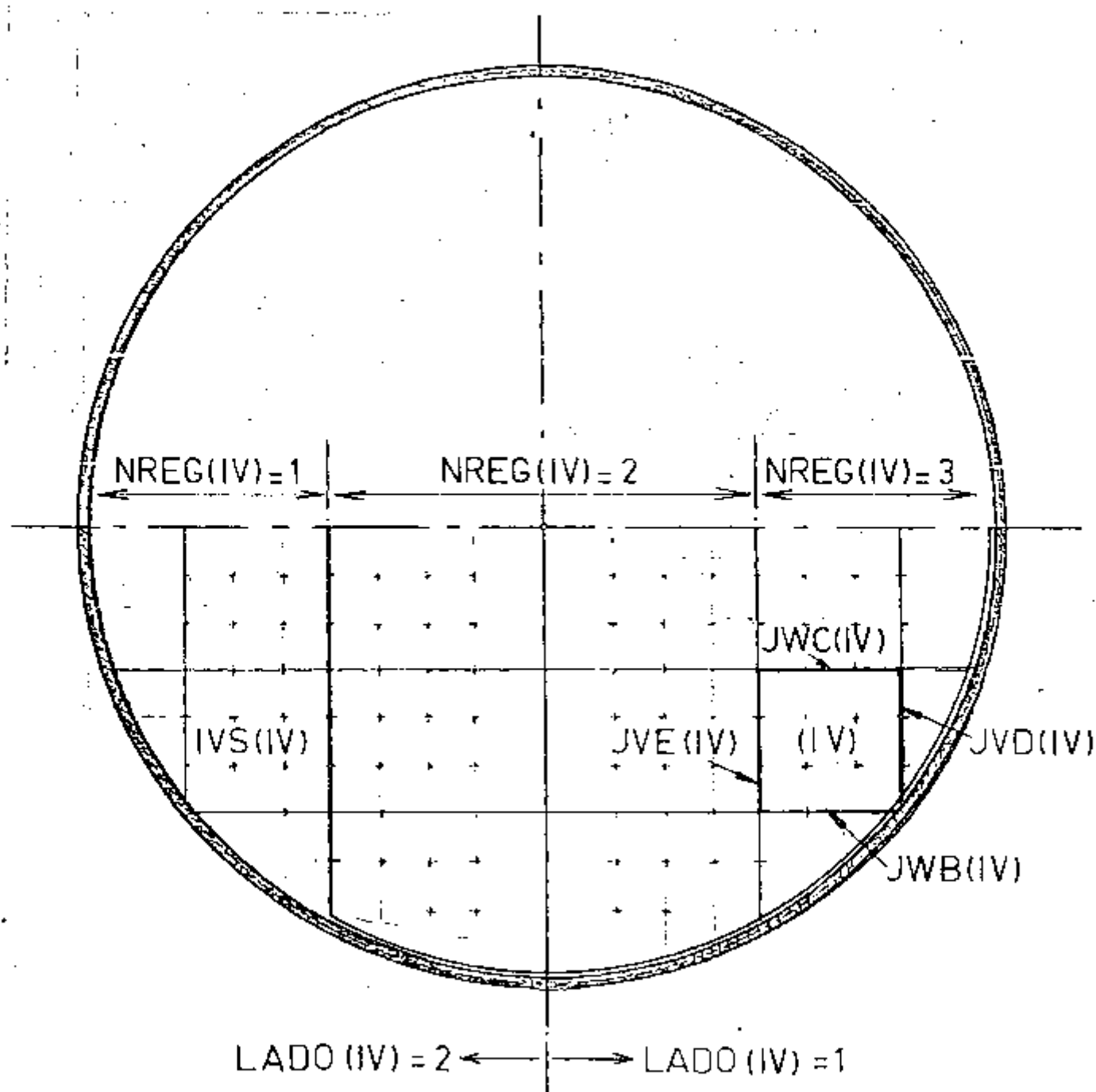


FIGURA 51- Características dos subcanais e Junções

OBS:- Para os volumes adjacentes aos limites do modelo (encostados à carcaça ou ao diâmetro superior) deve-se associar o número zero (0) para representar suas junções. Por exemplo:

$$JVE (6) = 0$$

$$JVD (1) = 0$$

$$JWB (14) = 0$$

$$JWC (4) = 0$$

Baseando-se na numeração y e z (LY e LZ) da Figura 50, deve-se fornecer as "cotas" que marcam as junções de cada volume através dos seguintes vetores:

- . LYMI (IV) - número da primeira linha-y que passa por IV
- . LYMA (IV) - número da última linha-y que passa por IV
- . LZMI (IV) - número da primeira linha-z que passa por IV
- . LZMA (IV) - número da última linha-z que passa por IV

por exemplo:

$$LYMI (9) = 1 \quad - \quad LYMI (12) = 7$$

$$LYMA (9) = 4 \quad - \quad LYMA (12) = 7$$

$$LZMI (9) = 4 \quad - \quad LZMI (12) = 4$$

$$LZMA (9) = 7 \quad - \quad LZMA (12) = 7$$

Para se representar a distribuição de tubos na seção é necessário o fornecimento dos seguintes dados:

- . NLY - número total de linhas y
- . NLZ - número total de linhas z
- . YO - coordenada y da primeira linha-y (m)
- . ZO - coordenada z da primeira linha-z (m)

- . DY - distância entre centros de tubos na direção y (m)
- . DZ - distância entre centros de tubos na direção z (m)
- . ZTUB(LY) - número fracionário total de tubos cruzados pela linha LY.
- . ZTJW(JW) - número fracionário de tubos pertencentes à cada junção-w (JW).

A matriz que representa a distribuição de tubos na seção transversal do trocador é composta dos seguintes vetores:

- . NYT (IV) - número total de linhas y que cruzam IV
- . NZT (IV) - número de linhas z que possuem tubos em IV
- . ZTL (IV,L) - número fracionário de tubos cruzados pela linha L que passa por IV. O índice L representa apenas um contador das linhas y, iniciando à partir de LYMI (IV)
- . LY(IV,L) - número da linha y que corresponde à L.

Para os vetores ZTL (IV,L), LY(IV,L) e NYT(IV) só é necessário o fornecimento dos dados referentes aos volumes do lado direito do modelo, desde que este foi assumido simétrico. A Figura 52 exemplifica a modelação para os volumes $IV = 1$ e $IV = 2$.

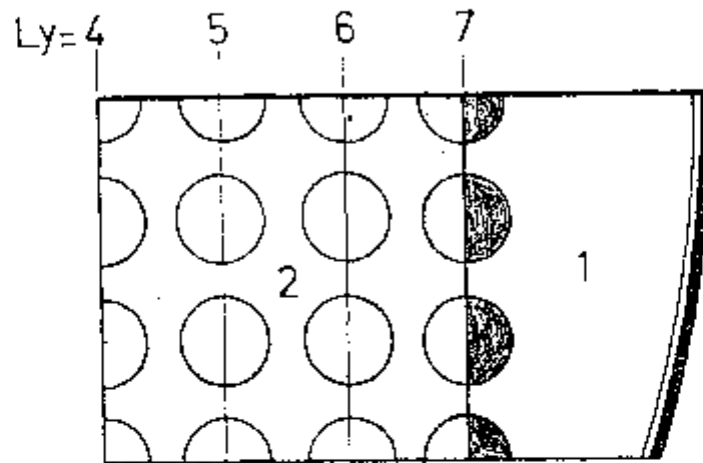


FIGURA 52 - Seção dos Subcanais 1 e 2

Na Figura 52, a primeira linha ($L = 1$) que passa por 1 é a linha 7, assim $LY(1,1) = 7$. O número de tubos cruzados por essa linha e que pertencem ao subcanal não cruzamais nenhuma linha-y, portanto $NYT(1) = 1$. A primeira linha que passa por 2 é a linha 4, deixando 1.5 tubos dentro de 2, assim $ZTL(2;1) = 1.5$ e $LY(2,1) = 4$. Analogamente, temos para $L = 2$, $ZTL(2,2) = 3.$, $LY(2,2) = 5$, para $L = 3$ $ZTL(2,3) = 3.$, $LY(2,3) = 6$, para $L = 4$ $ZTL(2,4) = 1.5$, $LY(2,4) = 7$ e $NYT(2) = 4$.

Os outros dados geométricos referentes à seção transversal modelada são:

- .DET - diâmetro externo dos tubos (m)
- .DFC - diâmetro dos furos das chicanas aonde passam os tubos (m)
- .DEC - diâmetro da chicana (m)
- .DIC - diâmetro interno da carcaça (m)

A.1.2 - Dimensões Axiais do Trocador

A Figura 53 mostra um corte axial do trocador com a indicação das seguintes dimensões:

- .DXP - altura do primeiro nível (entrada) (m)
- .DXU - altura do último nível (saída) (m)
- .XHE - espessura do espelho (m)
- .XJO - distância da primeira chicana ao centro da curvatura dos tubos (m)
- .ECH - espessura das chicanas (m)
- .CEC - espaçamento das chicanas (m)
- .NCHIC- número de chicanas.

A.2 - Constantes de Adimensionais

As constantes e expoentes utilizados para definição das correlações empíricas são:

- .CTEA - Expoente do número de Prandtl utilizado para cálculo do coeficiente de transferência de calor do fluido de carcaça.
- .CTEH - ídem para o fluido dos tubos.

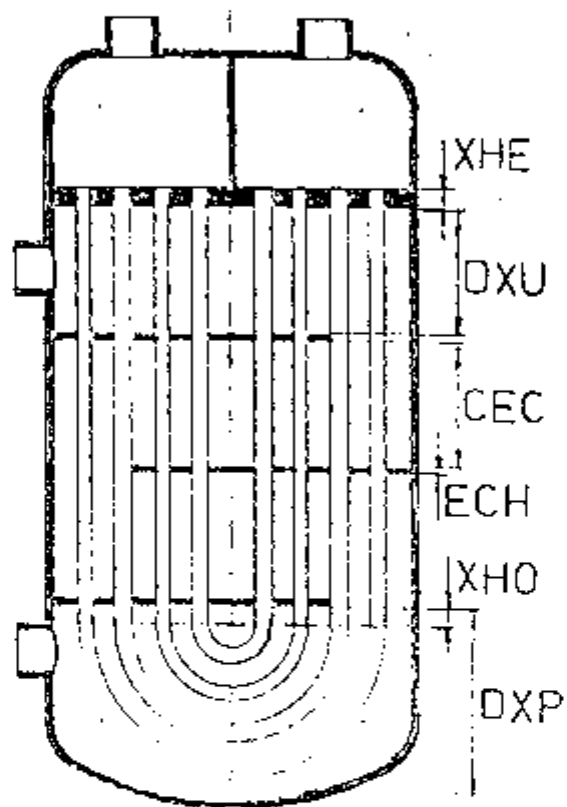


FIGURA 53- Corte Axial do Trocador.

OBS:- Essas constantes são baseadas na correção de viscosidade de Mc Adams, discutida no Capítulo 6 deste trabalho. Para o resfriador de hélio modelado, elas assumem os seguintes valores:

CTEA = .4 (fluido de carcaça em aquecimento)

CTEH = .3 (fluido dos tubos resfriando)

- . CCRUZ - constante que multiplica o número de Reynolds para cálculo do número de Nusselt para fluxo cruzado
- . ECRUZ - expoente do Reynolds no Nusselt para fluxo cruzado
- . XLIMIT- delimitador da zona de influência da chicana na perda de carga e troca de calor, definida no Capítulo 6 como: $XLIMIT = \Delta x/D_H$.

A.3 - Propriedades Físicas

As propriedades físicas consideradas constantes neste modelo são:

- . CPH - Calor específico à pressão constante do fluido dos tubos (j/kg.K)
- . CPA - Calor específico à pressão constante do fluido de carcaça (j/kg.K)
- . CVA - Calor específico à volume constante do fluido de carcaça (j/kg.K)
- . CKACO - Condutividade térmica do metal dos tubos - (w/m.K).

A.3- Propriedades Físicas

As propriedades físicas consideradas constantes neste modelo são:

- . CPH - calor específico à pressão constante do fluido dos tubos (j/kg.K)
- . CPA - calor específico à pressão constante do fluido de carcaça (j/kg.K)
- . CVA - calor específico à volume constante do fluido carcaça (j/kg.K)
- . CKACO- condutividade térmica do metal dos tubos (w/m.K).

A.4 - Variáveis de Controle

São consideradas variáveis de controle as tolerâncias, limites de iterações, opções numéricas, constantes de aproximação e condições de operação secundárias abaixo definidas:

- . KMAX - número máximo de iterações no programa - ETCHICAN para o cálculo das temperaturas .
É recomendado KMAX = 500
- . KCRESC - valor de acréscimo opcional em KMAX caso não seja atingida a tolerância estipulada .
Recomenda-se KCRESC = 50
- . NACRES- número de acréscimo a serem somados à KMAX.
Assim, para KMAX = 500, KCRESC = 50 e NACRES = 10 pode-se atingir no máximo 1000

- . TOLP - tolerância utilizada na verificação da convergência da parte térmica, na comparação da quantidade de calor trocada entre os fluidos. Recomenda-se TOLP = .001
- . TOLB - tolerância na convergência de velocidade para o fluido dos tubos. Recomenda-se TOLB = .01
- . TOLC - tolerância na convergência de velocidade axiais (u) para o fluido de carcaça. Recomenda-se TOLC = .01
- . TOL - tolerância requerida pela subrotina MASPL para se representar o menor valor a ser considerado diferente de zero (0) na solução do sistema linear de equações gerado pelo equacionamento do fluido de carcaça. Recomenda-se TOL = 10^{-10}
- . TOLA - ídem para a solução do sistema linear gerado pelo equacionamento do fluido dos tubos. Recomenda-se TOLA = 10^{-7}
- . IMAXB - número máximo de iterações para solução do sistema não-linear gerado pelas equações do fluido dos tubos. É suficiente LMAXB = 11
- . IMAXC - ídem para o fluido de carcaça. Recomenda-se IMAXC = 11
- . ISB - opção requerida pela subrotina MASPL quanto à forma de solução de sistema lineares. Esta variável refere-se à solução do sistema gerado pelas equações do escoamento do fluido dos tubos. Recomenda-se ISB = 1.

- . ISC - ídem para o fluido de carcaça . Sõ podemos utilizar $ISC = 1$
- . POND- fator de ponderação utilizado na linearização do sistema de equações não-lineares do escoamento do fluido de carcaça (Capítulo 2). A convergência é atingida mais rapidamente para $POND = .5$
- . PRD - proporção entre fluxos laterais para níveis de entrada e saída do fluido de carcaça (Capítulo 2). Recomenda-se $PRD = .7$
- . PO - variável para a determinação do nível de pressões do fluido de carcaça, em um trecho entre duas chicanas. Recomenda-se $PO = 0$
- . GX - componente axial da aceleração da gravidade. Não se desejando considerar o efeito do peso próprio do fluido de carcaça no seu escoamento GX assume o valor zero (0). Foi determinado que a contribuição do peso é desprezível, recomendando-se $GX = 0$
- . GY - componente da aceleração da gravidade na direção y. Deve ser compatível com a escolha de GX
- . GZ - ídem na direção z.
- . GCB - fator de conversão de unidades utilizado na solução do escoamento do fluido de carcaça . Foi utilizado $GCB = 10^5 (N/m^2 \cdot bar)$
- . GCC - ídem para o fluido de carcaça.

A.5- Compilação do "BLOCK DATA"

Segue a listagem de uma compilação do "BLOCK DATA" feita no IBM/370 modelo 155 do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN.

LEVEL 21.7 (JAN 73)

OS/360 FORTRAN 4

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=02,LINES=50,SIZE=0000K,
SOURCE,EBODIC,NOLIST,NOBACK,NOAO,MAP,NOEDIT,NOJD,XREF

```

C*****00000010
C*                                     *00000020
C*           * BLOCK DE DADOS *         *00000030
C*                                     *00000040
C*           * DEFINICAO DO TROCADOR DE CASO * *00000050
C*                                     *00000060
C*****00000070
C                                     00000080
ISN 0002   BLOCK DATA                               00000090
C                                     00000100
ISN 0003   COMMON /BLM / CVA,CPA,CPH,SES,PKU,TDLP,IMAX,NCIC, 00000110
:          KRESO,MACRES,II,IV,JOV,JJA,NLY 00000120
ISN 0004   COMMON /BLU / STEA,CTER,CORUZ,CRUZ 00000130
ISN 0005   COMMON /BLG / DIC,DEL,DHC,ECH,DEC,XHE,XHU,UXP,DXU, 00000140
:          ZKALR,XLIMIT,ZO,YO,XY,DZ,ZTJW(10),NZT(16), 00000150
:          LYM(16),LYM(16),LYM(16),LYM(16),NLT 00000160
ISN 0006   COMMON /BLSP / TOLA,TOLA,IMAX,ISO 00000170
ISN 0007   COMMON /BLC / P,OX,XY,GZ,GC,TOLC,TOL,PCAU,ISC,IMAX 00000180
ISN 0008   COMMON /BLGGU / NREG(16),DET 00000190
ISN 0009   COMMON /BLGUM / DIT 00000200
ISN 0010   COMMON /BLGEP / ZT(16,7),NYT(16),LY(16,7) 00000210
ISN 0011   COMMON /BLGSP/ LADU(16),ZT(5,17) 00000220
ISN 0012   COMMON /BLGDM/ JVE(16),JVD(15),JAB(16),JAC(16),JVS(16) 00000230
C                                     00000240
C-----| 00000250
C| - IDENTIFICACAO DO ROTULO DOS COMANDOS COMMON - | 00000260
C|-----| 00000270
C| ROTULO | DADOS | LIGADOS | PELO COMMON | 00000280
C|-----| 00000290
C| /BLM / | BLOCK - MAIN | | | 00000300
C| /BLU / | BLOCK - GEOMET | | | 00000310
C| /BLG / | BLOCK - CHICAN | | | 00000320
C| /BLC / | BLOCK - GLOBAL | | | 00000330
C| /BLSP / | BLOCK - BYPASS | | | 00000340
C| /BLGEP / | BLOCK - MAIN - BYPASS | | | 00000350
C| /BLGSP / | BLOCK - GEOMET - BYPASS | | | 00000360
C| /BLGDM / | BLOCK - MAIN - GEOMET - BYPASS | | | 00000370
C| /BLGGU / | BLOCK - GEOMET - CHICAN - GLOBAL | | | 00000380
C| /BLGUM / | BLOCK - GEOMET - GLOBAL - MAIN | | | 00000390
C| /BLGDM / | BLOCK - GEOMET - CHICAN - GLOBAL - MAIN | | | 00000400
C|-----| 00000410
C| * DADOS GEOMETRICOS * | 00000420
C|-----| 00000430
C| VARIÁVEL | | DIMENSÃO | 00000440
C|-----| 00000450
C| | | | 00000460
C| I - CARACTERÍSTICAS DOS SUBCANAIS - | | 00000470
C| | | | 00000480
C| | | | 00000490
C| | | | 00000500
C| | | | 00000510
C| | | | 00000520
C| | | | 00000530
C| | | | 00000540
C| | | | 00000550
C| | | | 00000560

```

CI	LZM1(IV)	= LINHA DE Z-MINIMO DE IV	(1IV)	00000070
CI	LZM2(IV)	= LINHA DE Z-MAXIMO DE IV	(1IV)	00000080
CI	LAD(IV)	= LADO DO VOLUME IV	(1IV)	00000090
CI		LAD = 1 - DIREITA		00000100
CI		LAD = 2 - ESQUERDA		00000110
CI	NREG(IV)	= REGIAO DO VOLUME IV	(1IV)	00000120
CI		NREG = 1 - JANELA (WINDOW)		00000130
CI		NREG = 2 - CENTRAL (OVERLAP)		00000140
CI		NREG = 3 - SOB-JANELA (NO-OVERLAP)		00000150
CI	ZTL(IV,LY)	= NUM. DE TUBOS DA LINHA L DE IV	(1IV,NLY)	00000160
CI	LY(IV,L)	= NUM. DA LINHA L QUE PASSA POR IV	(1IV,NLY)	00000170
CI	NYT(IV)	= NUM. DE LINHAS Y QUE PASSAM POR IV	(1IV)	00000180
CI	NZY(IV)	= NUM. DE LINHAS Z QUE PASSAM POR IV	(1IV)	00000190
CI	NLY	= NUM. TOTAL DE LINHAS Y		00000200
CI	NLZ	= NUM. TOTAL DE LINHAS Z		00000210
CI	ZTUB(LY)	= NUM. DE TUBOS DA LINHA LY	(NLY)	00000220
CI	YD	= COORD. Y DA PRIMEIRA LINHA Y (Y)		00000230
CI	ZD	= COORD. Z DA PRIMEIRA LINHA Z (Z)		00000240
CI	UY	= DIST./CENTROS DE TUBOS DIR. Y (M)		00000250
CI	DZ	= DIST./CENTROS DE TUBOS DIR. Z (M)		00000260
CI	DET	= DIAMETRO EXTERNO DOS TUBOS (N)		00000270
CI	DPC	= DIAMETRO DOS FURTO DAS CHICANAS		00000280
CI	DEC	= DIAMETRO EXTERNO DAS CHICANAS		00000290
CI	DIC	= DIAMETRO INTERNO DA CARCACA		00000300
CI				00000310
154 0013	DATA 1IV /16	/		00000320
:	1VS /6,3,4,3,2,1,12,11,10,9,3,7,16,15,14,13/	/		00000330
:	LVE /1,2,3,4,5,6,0,0,7,8,9,10,11,12,13,0/	/		00000340
:	JVD /0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13/	/		00000350
:	JAC /0*0,6,5,4,3,2,1,10,9,8,7/	/		00000360
:	JAB /1,2,3,4,5,6,0,7,8,9,10,5*0/	/		00000370
:	LYM1 /7,4,1,1,4,7,7,4,1,1,5,7,4,1,1,4/	/		00000380
:	LYM2 /7,7,4,4,4*7,4,4,3*7,4,4,7/	/		00000390
:	LZM1 /0*1,0*4,4*7/	/		00000400
:	LZM2 /0*4,6*7,4*9/	/		00000410
:	LAD1 /3*1,6*2,5*1,2*2/	/		00000420
:	NREG /3,3,2+2,4*1,2,2,3*3,2,2,1/	/		00000430
154 0014	DATA ZTL /2*1.5,3*3,7,1.5,2.25,7.75,2.5,14*3,1.5	/		00000440
:	2.5,12*3,1.5,15*1.5,3*2.5,7.75	/		00000450
:	LY /7,4,5*1,4,7,4,4*1,3,5*2,3*5	/		00000460
:	4*2,6,8*3,3*6,4*3,7,5*4,3*7,4	/		00000470
:	NYT /1,4,4,6*0,4,4,1,2,4	/		00000480
:	NZY /0*4,1+4*4,1,2,2*3,2	/		00000490
:	NLY / 7 / , NLZ / 9 /	/		00001000
:	ZTUB /2*8.5,2*7.5,6.5,5.5,3.5	/		00001010
:	YD /,345/, 27 /,000/, UY /,031/, DZ /,031	/		00001020
:	DET /,025/, DIT /,022/, DPC /,0257	/		00001030
:	DEC /0.577/, DIC /0.560	/		00001040
CI				00001050
CI	2 - CARACTERISTICAS DAS JUNCoes -			00001060
CI				00001070
CI	JJV	= NUMERO DE JUNCoes V		00001080
CI	JJW	= NUMERO DE JUNCoes W		00001090
CI	ZTJW (JJW)	= NUMERO DE TUBOS DE JJW	(JJW)	00001100
CI				00001110
154 0015	DATA JJV /13/ , JJW /10	/		00001120
:	ZTJW /1.5,3,2*3+5,3,1.5,1.5,2*3.5+1.5	/		00001130
CI				00001140

```

C1 3 - DIMENSÖES AXIAIS DO TROCADOR - | 00001
C1 | | | | | 00001
C1 DXP = ALTURA DO ÚLTIMO NIVEL (METROS) | 00001
C1 DXP = ALTURA DO PRIMEIRO NIVEL (METROS) | 00001
C1 ECH = ESPESSURA DA CHICANA (METROS) | 00001
C1 JI = NUM. DE NIVELIS ENTRE CHICANAS | 00001
C1 NOMIC = NUM. DE CHICANAS | 00001
C1 CEC = DISTANCIA ENTRE CHICANAS (METROS) | 00001
C1 XHO = DIST. DA PRIM. CHICANA AO CENTRO | 00001
C1 DE CURVATURA DOS TUBOS (METROS) | 00001
C1 XHE = ESPESSURA DO ESPELHO (METROS) | 00001
C1 | | | | | 00001
ISN 0016 DATA DXP /,210/ , DXP /,270/ , ECH /,005 / 00001
: CEC /,210/ , XHO /,039/ , XHE /,216 / 00001
: JI / 2 / , NOMIC / 3 / 00001
C1 | | | | | 00001
C1 * CONSTANTES DE ADIMENSIONAIS * | 00001
C1 ----- | 00001
C1 GCB = FATOR DE CONVERSÃO P/ SUB. BY-PASS (N/(M**2*BAR)) | 00001
C1 GCC = FATOR DE CONVERSÃO P/ SUB. CHICAN (N/(M**2*BAR)) | 00001
C1 CTEA = EXPONTE DO NUMERO DE 'PRANDT' DO FLUIDO | 00001
C1 DA CARCACA CTEA = 1,4 - FLUIDO AQUECENDO | 00001
C1 CTEA = 1,3 - FLUIDO RESFRIANDO | 00001
C1 CTEH = EXPONTE DO NUMERO DE 'PRANDT' DO FLUIDO | 00001
C1 DOS TUBOS CTEH = 1,4 - FLUIDO AQUECENDO | 00001
C1 CTEH = 1,3 - FLUIDO RESFRIANDO | 00001
C1 CCRUZ = CONSTANTE P/ O NUM. DE 'NUSSELT' FLUXO-CRUZADO | 00001
C1 CCRUZ = EXPONTE P/ O NUM. DE 'NUSSELT' FLUXO-CRUZADO | 00001
C1 ALIMIT = LIMITE DA ZONA DE INFLUENCIA DA CHICANA (M) | 00001
C1 | | | | | 00001
ISN 0017 DATA CTEA /,4/ , CTEH /,3/ , CCRUZ /,26/ , CCRUZ /,5/ , ALIMIT /,2 / 00001
C1 | | | | | 00001
C1 * PROPRIEDADES FISICAS * | 00001
C1 ----- | 00001
C1 | | | | | 00001
C1 CPH = CALOR ESPECIFICO A P CONSTANTE (FLUIDO DOS TUBOS) | 00001
C1 CPA = CALOR ESPECIFICO A P CONSTANTE (FLUIDO DA CARCACA) | 00001
C1 CVA = CALOR ESPECIFICO A V CONSTANTE (FLUIDO DA CARCACA) | 00001
C1 CKACO = CONDUTIVIDADE TERMICA DO MATERIAL DOS TUBOS W/M.K | 00001
C1 | | | | | 00001
ISN 0018 DATA CPH /5195./ , CPA /4186./ , CVA /3180./ , CKACO /52./ 00001
C1 | | | | | 00001
C1 * VARIÁVEIS DE CONTROLE * | 00001
C1 ----- | 00001
C1 | | | | | 00001
C1 KMAX = NUMERO MAXIMO DE ITERACOES NO PROC. 'ETDETEMP' | 00001
C1 KCRESC = ACRESCIMO NO NUMERO DE ITERACOES (KMAX) | 00001
C1 NACHES = NUMERO DE ACRESCIMOS ADITIVOS EM KMAX | 00001
C1 TOLP = TOLERANCIA PARA PROGRAMA 'ETDETEMP' | 00001
C1 TOLB = TOLERANCIA PARA SUBROTINA 'BYPASS' | 00001
C1 TOLC = TOLERANCIA PARA SUBROTINA 'CHICAN' | 00001
C1 TOL = TOLERANCIA PARA UTILIZACAO DA SUBROTINA MASPI | 00001
C1 IMAXB = NUMERO MAX. DE ITERACOES P/ SUBROTINA 'BYPASS' | 00001
C1 IMAXC = NUMERO MAX. DE ITERACOES P/ SUBROTINA 'CHICAN' | 00001
C1 ISO = UPDAD DA SUB. 'MASPI' PARA SOLUCAO DE 'BYPASS' | 00001
C1 ISU = UPDAD DA SUB. 'MASPI' PARA SOLUCAO DE 'CHICAN' | 00001
C1 POND = FATOR DE PONDERACAO PARA METODO ITERATIVO | 00001
C1 DA SUBROTINA 'CHICAN' | 00001
C1 PRD = FRACAO DE ESCORAMENTO TRANSVERSAL ('DISVEL') | 00001
C1 PD = PRESSAO DE ENTRADA DO FLUIDO DA CARCACA BAR | 00001
C1 GX = ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE NA DIRECÃO AXIAL M/S**2 | 00001
C1 GY = ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE NA DIRECÃO Y M/S**2 | 00001
C1 GZ = ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE NA DIRECÃO Z M/S**2 | 00001
C1 | | | | | 00001
ISN 0019 DATA KMAX /10000/ , KCRESC /500/ , NACHES /100/ 00001
: TOL /1.E-10/ , IMAXB /50/ , IMAXC / 4/ , ISB /1/ , ISU /1/ 00001
: POND /,5/ , PRD /,7/ , TOLB /,01/ , TOLC /,01/ , TOLA /1.E-7/ , TOLP /,005/ 00001
: PG /,0/ , GCB /1.E+5/ , GCC /1.E+5/ , GAX /,0/ , GAY /,0/ , GAZ /,0 00001
C1 | | | | | 00001
ISN 0020 END 00001

```


B. Programa Principal - "ETCHICAN"

Responsável pela ligação entre todos os blocos do programa, leitura de dados e solução das equações de energia.

B.1- Dados de Entrada

Todos os dados necessários para a modelação de um dado trocador de calor são fornecidos pelo "BLOCK DATA". Para conveniência de utilização do código na simulação de uma dada operação, somente as variáveis referentes às opções e condições de entrada dos fluídos são fornecidas através de cartões de dados. O primeiro cartão de dados fornece os parâmetros necessários para a solução numérica que são:

DT : intervalo de integração (Capítulo 4)

DTC : máximo intervalo de integração na opção de reavaliação de DT (Capítulo 4). Não se utilizando essa opção deve ser fornecido qualquer valor.

ITL : número de passos entre renovações de coeficientes de transferência de calor. Recomenda-se utilizar ITL entre 20 e 40.

IOPT : opção para reavaliação das velocidades nos tubos

IOPT = 0 - sem reavaliação (melhor opção)

IOPT > 0 - com reavaliação

ITIME: opção para reavaliação do intervalo de integração

ITIME = 0 - sem reavaliação (melhor opção)

ITIME > 0 - com reavaliação

A leitura dessas variáveis é executada pelo seguinte comando:

```
READ(5,700) DT, DTC, ITL, IOPT, ITIME
700 FORMAT (2F5.3,3I3) .
```

Após o fornecimento desses parâmetros, são então fornecidas as condições de operação para quantas simulações se desejar, baseadas nas opções já definidas. Os dados necessários para essas simulações são:

ZVOLTA : número de voltas no parafuso de controle do sistema "by-pass", equivalente à uma área de fluxo

VMH : vazão em massa total do fluido dos tubos (kg/s)

VAT : vazão em massa na carcaça (kg/s)

G : vazão em massa no "by-pass" da carcaça (kg/s)

TO1 : temperatura de entrada do fluido dos tubos (°C)
TO2 : temperatura de entrada do fluido de carcaça(°C)
P1 : pressão do fluido dos tubos (bar)

A leitura dessas variáveis é executada pelo seguinte comando:

```
READ (5,500,END = 501) ZVOLTA, VMH,VAT,G,TO1,TO2,P1  
500 FORMAT(7 F 7.3)
```

B.2 - Compilação do Programa Principal

Segue a listagem de uma compilação do programa.

LEVEL 21.7 (JAN 73)

05/300 FORTRAN 4

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=02,LINECT=60,SIZE=000K,
SOURCE,ESDOPC,NOLIST,NODECK,LOAD,MAP,NOEDIT,VOID,XREF

```

C***** 00000010
C* * 00000020
C* * 00000030
C* * 00000040
C* * 00000050
C* * 00000060
C* * 00000070
C* * 00000080
C* * 00000090
C***** 00000100
C|-----| 00000110
C| - IDENTIFICACAO DO TITULO DOS COMANDOS COMMON - | 00000120
C|-----| 00000130
C| TITULO | BLOCOS LIGADOS PELO COMMON | 00000140
C|-----| 00000150
C| /ZLM / | BLOCO - MAIN | 00000160
C| /ZMBP / | BLOCO - MAIN - BYPASS | 00000170
C| /ZMBSP / | BLOCO - MAIN - GEOMET - BYPASS | 00000180
C| /ZGDM / | BLOCO - GEOMET - USLUBL - MAIN | 00000190
C| /ZGDM / | BLOCO - GEOMET - CHICAN - DISVEL - USLUBL - MAIN | 00000200
C| /ZG / | GEOMET - MAIN | 00000210
C| /ZM / | USLUBL - MAIN | 00000220
C| /MBP / | MAIN - BYPASS | 00000230
C| /ZDM / | GEOMET - DISVEL - MAIN | 00000240
C| /ZBPA / | GEOMET - BYPASS - MAIN | 00000250
C| /ZDM / | DISVEL - USLUBL - MAIN | 00000260
C| /MBP / | MAIN - BYPASS - USLUBL | 00000270
C| /ZGDM / | GEOMET - CHICAN - DISVEL - MAIN | 00000280
C|-----| 00000290
C| VAR. DIMENSÃO: REPRESENTA | UNIDADE | 00000300
C|-----| 00000310
C| Y (ALY) | VELOCIDADE PARA CADA COMP. DE TUBO | M / S | 00000320
C| VBP | VELOCIDADE NO 'BY-PASS' | M / S | 00000330
C| TMEQ | TEMP. MEDIA DO FLUIDO DOS TUBOS | G. C. | 00000340
C| PMEQ | PRESSAO MEDIA DO FLUIDO DOS TUBOS | BAR | 00000350
C| VISCH | VISCOS. MEDIA DO FLUIDO DOS TUBOS | N*s/M**2 | 00000360
C| RHO | DENSIDADE DE ENTRADA DO FLUIDO DOS TUBOS | KG/M**3 | 00000370
C| V (HIV) | VELOC. MEDIA POR SUBCANAL (TUBOS) | M / S | 00000380
C|-----| 00000390
C| CONSTANTES AUXILIARES - CC,CE,CF,CG,DD,DE,DC,VD, | 00000400
C| VE,WD,RI,NVE,NVO,NVC,NVB | 00000410
C| 00000420
C| DIMENSÃO = LIV,II(1) | 00000430
C| LIV = (ICMTC - 1) * 11 + 3 | 00000440
C|-----| 00000450
C 00000460
ISN 0002 COMMON /ZM / AX(10),ATR(10,10),VOA(10,10),VOH(10,10), 00000470
: AT,SE,DEDI,AGJ,ST,ATROT,OHRES 00000480
ISN 0003 COMMON /ZM / JCLUBL(10,10),TA(10,10),TH(10,10), 00000490
: CONVEA(10,10),CONVEN(10,10) 00000500
ISN 0004 COMMON /ZMBP / VT(7),VBP,TMEQ,PMEQ,C1,C7,C8, 00000510
: CS,CAP,VISCH,RHO,NLQ,SCD 00000520
ISN 0005 COMMON /ZLM / CVA,CPA,CPH,CC,PRJ,TCLC,KMAXP,NCHIC, 00000530
: ACRESO,NACREP,(1,11V,11V,11V,NLY 00000540
ISN 0006 COMMON /ZDM / AY(13,13),AZ(13,13) 00000550
ISN 0007 COMMON /ZBPA / COMPRI(7) 00000560

```

```

154 0005 COMMON /ZOOM / UA(16,13),VA(13,13),WA(10,13) 00000570
154 0006 COMMON /ZOOM / DIT 00000580
154 0007 COMMON /ZMSPD / VM(16) 00000590
154 0008 COMMON /ZMSPD / LA(1)(16),ZT(3) (7) 00000600
154 0009 COMMON /ZOOM / AX(16),IVC(13),IVD(13),(VB(10),IVC(10) 00000610
154 0010 COMMON /ZOOM / JVE(16),JVD(16),JXC(16),JXD(16),IVS(16) 00000620
C 00000630
154 0014 DIMENSION LL(16,13),LE(16,13),CF(16,13) 00000640
154 0015 DIMENSION DO(16,13),DD(16,13),DC(16,13),DD(16,13) 00000650
154 0016 DIMENSION VU(16,13),VI(16,13),WU(16,13),WI(16,13) 00000660
154 0017 DIMENSION NVE(16,13),NVD(16,13),NVC(16,13),NVD(16,13) 00000670
C 00000680
C . 00000690
C ..... 00000700
C - VARIAVEIS DE CONTROLE NUMERICO . 00000710
C ..... 00000720
C . 00000730
C . IFL * INTERVALO DE REMOVCAO DE COEFICIENTES . 00000740
C . IDPT * OPCAO NA AVALIACAO DAS VELOCIDADES NOS TUBOS . 00000750
C . IDPT = 0 - SEM REAVALIACAO . 00000760
C . IDPT > 0 - COM REAVALIACAO . 00000770
C . DT * INTERVALO INICIAL DE INTEGRACAO . 00000780
C . DTC = INTERVALO DE INTEGRACAO CRITICO . 00000790
C . ITIME * OPCAO NA REAVALIACAO DO INTERVALO DE INTEGRACAO DT . 00000800
C . ITIME = 0 - SEM REAVALIACAO . 00000810
C . ITIME > 0 - COM REAVALIACAO . 00000820
C . 00000830
154 0018 READ (5,700) DT, DTC, IFL, IDPT, ITIME 00000840
C . 00000850
C ..... 00000860
C - SOLUCAO DA PARTE GEOMETRICA DO TROCADOR - GEOMET . 00000870
C ..... 00000880
154 0019 CALL GEOMET (11,ITOT,(1V,JUV,JW,NCHIC,NLY) 00000890
C . 00000900
C ..... 00000910
C - CONDICAOES DE OPERACAO DOS FLUIDOS E DO TROCADOR . 00000920
C ..... 00000930
C . 00000940
C . ZVOLTA = NUM. DE VOLTAS DO CONTROLE DO 'BY-PASS' . 00000950
C . VMH = VAZAO EM MASSA DO FLUIDO NOS TUBOS - KG / S . 00000960
C . VAT = VAZAO EM MASSA DO FLUIDO NA CARCACA - KG / S . 00000970
C . G = VAZAO EM MASSA NO BYPASS DA CARCACA - KG / S . 00000980
C . T01 = TEMP. DE ENTRADA DO FLUIDO NOS TUBOS - GRs. C . 00000990
C . T02 = TEMP. DE ENTRADA DO FLUIDO NA CARCACA - GRs. C . 00001000
C . P1 = PRESSAO DE ENTRADA DO FLUIDO NOS TUBOS - BAR . 00001010
C . 00001020
C . 00001030
154 0020 45 READ (5,500,END=501) ZVOLTA,VMH,VAT,G,T01,T02,P1 00001040
C . 00001050
C ..... 00001060
C - AVALIACAO DAS TEMPERATURAS MEDIAS . 00001070
C ..... 00001080
C . 00001090
C . TME0 * TEMP. MEDIA DO FLUIDO NOS TUBOS . 00001100
C . TME1 * TEMP. MEDIA DO FLUIDO NA CARCACA . 00001110
C . 00001120
154 0021 TME0 = .8*T02 + .2*T01 00001130
154 0022 TME1 = .9*T01 + .2*T02 00001140

```

```

154 0023 ABP = AREA*BP (ZVOLT,ETA) 00001150
154 0024 VMA = VAT + G 00001160
154 0025 VMT = VMH * ST / (ST + ABP) 00001170
154 0026 GA = VMA / SC 00001180
154 0027 GH = VMT / ST 00001190
154 0028 DENA = RHODU (TMEA) 00001200
154 0029 DLNH = RHUHEL (PI,TMED) 00001210
154 0030 VISC = XMEA (TMEA) 00001220
154 0031 CONDA = XAA (TMEA) 00001230
154 0032 VISCH = VISLNE (TMED) 00001240
154 0033 CONDH = XAHEL (TMED) 00001250
154 0034 ALT = GH * DIT / VISCH 00001260
154 0035 REC = GA * DHREG / VISC 00001270
154 0036 PAC = VISC * CPA / CONDA 00001280
154 0037 PRT = VISCH * DPH / CONDH 00001290
154 0038 CONC = (REC**0.55) * (PRT**0.33) 00001300
154 0039 CONT = (RET**0.8) * (PRT**0.33) 00001310
154 0040 CONG = 0.36 * CONC * CONDA / DHREG 00001320
154 0041 CONT = 0.23 * CONT * CONDH / DIT 00001330
154 0042 UINY = LE31 / CONT + 1. / CONG + ACO 00001340
154 0043 UG = 1. / UINY 00001350
154 0044 J = UG * ATRDT * (TMED - TMEA) 00001360
154 0045 TOUTC = T32 + J / (VMA * CPA) 00001370
154 0046 TOUTT = T31 - G / (VMH * CPA) 00001380
154 0047 TINC = G * TOUTC + VAT * T31 / VMA 00001390
154 0048 TMEA = 0.5 * (TINC + TOUTC) 00001400
154 0049 TMED = 0.5 * (T31 + TOUTT) 00001410
C 00001420
C ..... 00001430
C 2 ESQUEMAMENTO DO FLUIDO DA CARGACA - CHICAN / DISVEL 00001440
C ..... 00001450
C ..... 00001460
154 0050 VMA = 0.5 * VMA 00001470
154 0051 G = 0.5 * G 00001480
154 0052 VAT = 0.5 * VAT 00001490
154 0053 DENA = RHODU (TMEA) 00001500
154 0054 VISC = XMEA (TMEA) 00001510
154 0055 F = VMA / DENA 00001520
C ..... 00001530
154 0056 CALL CHICAN (I1,IIV,(VPO,JJV,JJW,F,DENA,VISC) 00001540
C ..... 00001550
154 0057 CALL DISVEL (I1,IITOT,IIV,(VPO,JJV,JJW,NCNIC,PRO) 00001560
C ..... 00001570
C ..... 00001580
C 2 ESQUEMAMENTO DO FLUIDO DOS TUBOS - BYPASS 00001590
C ..... 00001600
C ..... 00001610
154 0058 ITER3 = 0 00001620
154 0059 VMH = 0.5*VMH 00001630
154 0060 RHO = RHUHEL (PI,T31) 00001640
154 0061 VISCH = VISLNE (TMED) 00001650
154 0062 VSP = VMH / (A1T*RHO) 00001660
154 0063 DO 10 I=L,NLY 00001670
154 0064 LO V(I1)=VSP 00001680
154 0065 IF (ABP.EQ.0.) VSP=0. 00001690
154 0067 C1 = GC + GC 00001700
154 0068 C7 = C1 * DIT 00001710
154 0069 C6 = RHO * ABP / A1T 00001720

```



```

C ..... 00002890
C . EQUACAO DA ENERGIA PARA O FLUIDO DOS TUBOS . 00002900
C ..... 00002910
C ..... 00002920
ISN 0165 TH(IV,1)* DE (IV,1) * 00002930
C ..... 00002940
C .... CONTRIBUICAO DA VELOCIDADE ..... 00002950
C ..... 00002960
C : ABS(VH(IV)) * (TE - THC) - CD (IV,1) * L 00002970
C ..... 00002980
C .... TERMO DE TROCA ..... 00002990
C ..... 00003000
C : THC - TCA 00003010
C ..... 00003020
ISN 0166 TH(IV,1)* DT * TH(IV,1) + THC 00003030
C ..... 00003040
ISN 0167 IF(TH(IV,1))18,18,19 00003050
ISN 0168 18 WRITE(6,601) (V,I,TH(IV,1)) 00003060
ISN 0169 GO TO 41 00003070
ISN 0170 19 DELT=ABS(THC-TH(IV,1)) 00003080
ISN 0171 IF(DELT.GT.DMAX) DMAX= DELT 00003090
ISN 0172 DELT=ABS(TCA-TA(IV,1)) 00003100
ISN 0173 IF(DELT.GT.DMAX) DMAX= DELT 00003110
ISN 0174 25 CONTINUE 00003120
ISN 0175 30 CONTINUE 00003130
C ..... 00003140
C .... REAVALIACAO DA TEMPERATURA DE ENTRADA ..... 00003150
C ..... 00003160
ISN 0176 TIM = T02 + (TA(IVPO,1)T01) - T02) * G / VMA 00003170
C ..... 00003180
C .... REAVALIACAO DO INTERVALO DE INTEGRACAO DT ..... 00003190
C ..... 00003200
ISN 0177 IF(A.EQ.D1) D1M = DMAX 00003210
ISN 0181 IF ((TIME) 0, 8, 7) 00003220
ISN 0182 7 DT = DT * D1M / DMAX 00003230
ISN 0183 IF (DT.GT.D1M) DT = D1M 00003240
C ..... 00003250
C .... CALCULO DA TEMPERATURA MEDIA DE SAIDA DOS TUBOS (TM) ..... 00003260
C ..... 00003270
ISN 0184 8 TM = .0 00003280
ISN 0185 GTOT = .0 00003290
ISN 0186 DO I = 1,11V 00003300
ISN 0187 IF(LABS(IV)-1)1,2,1 00003310
ISN 0188 2 GM = AXH (IV) * ABS(VH(IV)) 00003320
ISN 0189 GTOT = GTOT + GM 00003330
ISN 0191 TM = TM + GM * TH (IV,1)T01) 00003340
ISN 0192 1 CONTINUE 00003350
ISN 0193 TM = TM / GTOT 00003360
C ..... 00003370
C .... REAVALIACAO DA TEMP. MEDIA DO FLUIDO DOS TUBOS (TME)..... 00003380
C ..... 00003390
ISN 0194 TME = .5 * (T01 + TM) 00003400
ISN 0195 TSH = VMS * (T01 - TM) / VMA + TM 00003410
ISN 0196 TH = VMH * LPH * ABS (T01 - TSH) 00003420
ISN 0197 QA = VAT * CPA * ABS (T02 - TA(IVPO,1)T01) 00003430
ISN 0198 DELPOR = ABS (I. - QA / QM) 00003440
ISN 0199 IF(DELPOR - T0LE)41,41,42 00003450
ISN 0200 42 IF(K-KMAX)44,44,46 00003460

```

```

ISN 0201      40 IF(NACHES)41,41,47
ISN 0202      47 NACHES = NACHES - 1
ISN 0203      KMAX = KMAX + KCRESC
ISN 0204      44 K=K+1
ISN 0205      L=L+1
ISN 0206      TIME=TIME+DT
ISN 0207      (FIL-ITE)/43.9,4
ISN 0208      L=0
C
C      .... REAVALIACAO DAS VELOCIDADES NOS TUBOS - IOPT > 0 ....
C
ISN 0209      IF(IOPT)3,6,3
ISN 0210      3 VISCH = VISCHE (TMED)
C
ISN 0211      CALL BYPASS(IIV,NLY,ITER0,ABP,P1,P2,DIT)
C
ISN 0212      VMBP = VBP * ABP * RHO
ISN 0213      DENH = RHOHML (PMED,TMED)
C
C      .... REAVALIACAO DOS COEFICIENTES DE TRANSMISSAO DE CALOR ...
C
ISN 0214      6 CALL UGLOBL (ITOT,IIV,IVPO,NCHIC,PMED,CPA,CPH,DENH,DENA)
C
ISN 0215      DO 25 I = 1,ITOT
ISN 0216      DO 25 IV = 1,IV
ISN 0217      C(I,IV,1) = CF (IV,1) * UGLOB (IIV,1)
ISN 0218      DO 1IV,1) = DC (IV,1) * UGLOB (IIV,1)
ISN 0219      25 CONTINUE
ISN 0220      GO TO 43
ISN 0221      41 VMBP = VMBP + VMBP
ISN 0222      WRITE(5,100) ITER0
ISN 0223      WRITE(6,201)
ISN 0224      WRITE(6,305) (CO4PR(I),ZTUB(I),VT(I),I=1,NLY)
ISN 0225      WRITE(6,310) VBP,VMBP,P1,P2,ASP,TETA
ISN 0226      WRITE(6,404) (I,VM(I),I=1,IIV)
ISN 0227      WRITE(6,103) (I,I=1,IIV)
ISN 0228      DO 52 I=1,ITOT
ISN 0229      N= (ITOT - I + 1)
ISN 0230      52 WRITE(5,102) N,ICONVEA(IV,N),IV=1,IIV)
ISN 0231      WRITE(6,104) (I,I=1,IIV)
ISN 0232      DO 53 I=1,ITOT
ISN 0233      N= (ITOT - I + 1)
ISN 0234      53 WRITE(5,102) N,ICONVEH(IV,N),IV=1,IIV)
ISN 0235      WRITE(6,101) (I,I=1,IIV)
ISN 0236      DO 14 I=1,ITOT
ISN 0237      N= (ITOT - I + 1)
ISN 0238      14 WRITE(6,102) N,UOGL06(IV,N),IV=1,IIV)
ISN 0239      WRITE(5,100) TIME,K
ISN 0240      WRITE(6,150) (I,I=1,IIV)
ISN 0241      WRITE(6,225)
ISN 0242      DO 40 N=1,ITOT
ISN 0243      I=(ITOT-N+1)
ISN 0244      WRITE(6,200) (I,TH(IV,1),IV=1,IIV)
ISN 0245      WRITE(6,250) (I,TA(IV,1),IV=1,IIV)
ISN 0246      WRITE(6,225)
ISN 0247      40 CONTINUE
C
C      .... CALCULO DO CALOR TROCADO ENTRE OS FLUIDOS .....

```

```

154 0248      VMA = VMA + VMI                      00004050
155 0249      VMA = VMA + VMA                      00004060
156 0250      QH = QH + QH                        00004070
157 0251      QH = QA + QA                        00004080
158 0252      WRITE(10,3011)                      00004090
159 0253      WRITE(10,3021) VMA, TOL, TSH, QH      00004100
160 0254      WRITE(10,3031) VMA, TOL, TAV, VPO, TITOT, QA 00004120
161 0255      WRITE(10,3041) DELPOR                00004130
162 0256      GO TO 45                            00004140
163 0257      501 STOP                             00004150
C
C .....
C * FORMATOS DE IMPRESSAO *
C .....
C
164 0258      100 FORMAT(11,40X,'DISTRIBUICAO DE VELOCIDADES NOS TUBOS E BY-PASS',14) 00004200
165 0259      101 FORMAT(11,20X,'** COEFICIENTES GLOBAIS DE TRANSMISSAO DE CALOR 00004210
166 0260      102 FORMAT(11,1X,12,2X,16F6.1)      00004220
167 0261      103 FORMAT(11,30X,'** COEFICIENTES DE CONVECCAO DO FLUIDO DA CARCACA 00004230
168 0262      104 FORMAT(11,30X,'** COEFICIENTES DE CONVECCAO DO FLUIDO DOS TUBOS 00004240
169 0263      105 FORMAT(11,2X,'NIVEL',1X,'IV=',12,15(1 | IV=',12)) 00004250
170 0264      200 FORMAT(11,12,' T',16(1 | 1',F6.1)) 00004260
171 0265      201 FORMAT(17,20X,'COMPRIMENTO NUM. TUBOS VELOCIDADES',17,20X, 00004270
172 0266      '100 TUBO (M) IM/31') 00004280
173 0267      250 FORMAT(11,2X,' C',16(1 | 1',F6.1)) 00004290
174 0268      300 FORMAT(11,1X,' TIME=',F6.2,' SEC. STEP=1,14, ' 00004300
175 0269      ' DISTRIBUICAO DE TEMPERATURAS T = TUBOS C = CARCACA ' 00004310
176 0270      301 FORMAT(11,7,33X,'CONDICAOES FINAIS DO TUBADOR DE CALOR ', 00004320
177 0271      '177,33X,'VAZAO EM MASSA',5X,'TEMP. DE ENTRADA',5X, 00004330
178 0272      'TEMP. DE SAIDA',5X,'CALOR TUBOADO') 00004340
179 0273      302 FORMAT(17,10X,'FLUIDO NOS TUBOS',4X,F10.3,' KG/S ' 00004350
180 0274      ' 214X,F10.3,' G.C ' ' ' 00004360
181 0275      ' 4X,F10.3,' W. ' ' ' 00004370
182 0276      303 FORMAT(17,10X,'FLUIDO DA CARCACA',4X,F10.3,' KG/S ' 00004380
183 0277      ' 214X,F10.3,' G.C ' ' ' 00004390
184 0278      ' 4X,F10.3,' W.' ' ' 00004400
185 0279      304 FORMAT(17,10X,'DESVIO PERCENTUAL = 405(QH-QA)/QH',4X,'DELTA =', 00004410
186 0280      'F7.3) 00004420
187 0281      305 FORMAT(11,11,22X,F7.3,6X,F3.1,10X,F7.3)) 00004430
188 0282      310 FORMAT(17,40X,'VELOCIDADE NO BY-PASS =',E8.3,' M/S ', 00004440
189 0283      ' /,40X,'VAZAO EM MASSA =',E8.3,' KG/S', 00004450
190 0284      ' /,40X,'PRESSAO DE ENTRADA =',F8.4,' BAR ', 00004460
191 0285      ' /,40X,'PRESSAO DE SAIDA =',F8.4,' BAR ', 00004470
192 0286      ' /,40X,'AREA DO BY-PASS =',E8.3,' M**2', 00004480
193 0287      ' /,40X,'ANGULO DO BY-PASS =',E8.3,' GRAUS') 00004490
194 0288      404 FORMAT(17,40X,'VELOCIDADES MEDIDAS DO HELIO POR SUBCANAL (M/S)', 00004500
195 0289      ' /,16(1,40X,'VHL',12,')=',F7.2)) 00004510
196 0290      405 FORMAT(17,1X,'TEMP. NEGATIVA NO VOLUME ',12,' NIVEL ',12,' VALOR= 00004520
197 0291      '1',F10.3,' FLUIDO DA CARCACA',17,1X,'DIMINUIR O VALOR DE DT') 00004530
198 0292      501 FORMAT(17,1X,'TEMP. NEGATIVA NO VOLUME ',12,' NIVEL ',12,' VALOR= 00004540
199 0293      '1',F10.3,' FLUIDO NOS TUBOS',17,1X,'DIMINUIR O VALOR DE DT') 00004550
C
C .....
C * FORMATOS DE LEITURA .....
C .....
C
200 0294      500 FORMAT (17F7.3) 00004560
201 0295      700 FORMAT (2F5.3,3(3) 00004570
202 0296      END 00004580

```

LEVEL 21.7 (JAN 73)

05/340 FORTRAN H

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=02,LINCONT=60,SIZE=0000K,

SOURCE,EBLOAD,NOLIST,NODECK,LOAD,MAP,NJEDIT,NOJD,XREF

```

*****00000010
C*                                     *00000020
C*           * SUBROTINA GEOMET *           *00000030
C*                                     *00000040
C* RESOLUCAO GEOMETRICA DE UM TROCADOR DE CALOR DE CARCADA E TUBOS *00000050
C*                                     *00000060
*****00000070
C|-----|00000080
C| - IDENTIFICACAO DO ROTULO DOS COMANDOS COMMON - |00000090
C|-----|00000100
C| ROTULO | GLOBS LIGADOS PELO COMMON |00000110
C|-----|00000120
C| /BLQ / | BLOCK - GEOMET |00000130
C| /BLQBP / | BLOCK - GEOMET - BYPASS |00000140
C| /BLMQBP / | BLOCK - MAIN - GEOMET - BYPASS |00000150
C| /BLQCM / | BLOCK - GEOMET - CHICAN - UGLOBL |00000160
C| /BLQCM / | BLOCK - GEOMET - UGLOBL - MAIN |00000170
C| /BLQCM / | BLOCK - GEOMET - CHICAN - DISVEL - UGLOBL - MAIN |00000180
C| /GM / | GEOMET - MAIN |00000190
C| /GM / | GEOMET - DISVEL - MAIN |00000200
C| /GPM / | GEOMET - BYPASS - MAIN |00000210
C| /GCM / | GEOMET - CHICAN - DISVEL - MAIN |00000220
C| /GL / | GEOMET - CHICAN |00000230
C| /D / | GEOMET - DISVEL |00000240
C| /U / | GEOMET - UGLOBL |00000250
C| /G / | GEOMET - BYPASS |00000260
C| /C / | GEOMET - CHICAN - UGLOBL |00000270
C| /CM / | GEOMET - CHICAN - DISVEL |00000280
C|-----|00000290
C| VAR.(DIMEN) | REPRESENTA | UNIDADE |00000300
C|-----|00000310
C| | | | |00000320
C| IIV | | NUMERO DE SUBCANAIS | |00000330
C| JVV | | NUMERO DE JUNCOES V | |00000340
C| JWW | | NUMERO DE JUNCOES W | |00000350
C| II | | NUMERO DE NIVEIS ENTRE CHICANAS | |00000360
C| IITOT | | NUMERO TOTAL DE NIVEIS DO TROCADOR | |00000370
C| | | | IITOT = INCHIC - 11 * 11 + 3 | |00000380
C| NCHIC | | NUMERO DE CHICANAS DO TROCADOR | |00000390
C| AX (IIV) | | AREA DE PASSAGEM DO SUBCANAL - DIR. X | M**2 |00000400
C| AXG (IIV) | | AREA DE PASSAGEM NA CHICANA - DIR. X | M**2 |00000410
C| AXH (IIV) | | AREA DE PASSAGEM DO FLUIDO NOS TUBOS | M**2 |00000420
C| OHA (IIV) | | DIAM. HIDRAULICO DO SUBCANAL - DIR. X | M |00000430
C| OHC (IIV) | | DIAM. HIDRAULICO NA CHICANA | M |00000440
C| DAL (II) | | COMPRIMENTO (DELTA-X) DO SUBCANAL - CHICAN | M |00000450
C| DA (IITOT) | | COMPRIMENTO (DELTA-X) DO SUBCANAL - GERAL | M |00000460
C| ALV (JVV) | | COMPRIMENTO DE PASSAGEM DAS JUNCOES V | M |00000470
C| ALW (JWW) | | COMPRIMENTO DE PASSAGEM DAS JUNCOES W | M |00000480
C| CLY (JVV) | | COMPR. DO VOLUME DE CONTROLE PARA MOM.-Y | M |00000490
C| CLZ (JWW) | | COMPR. DO VOLUME DE CONTROLE PARA MOM.-Z | M |00000500
C| LNY (JVV) | | NUM. DE TUBOS DO VOL. DE CONTROLE DE Y | |00000510
C| LNZ (JWW) | | NUM. DE TUBOS DO VOL. DE CONTROLE DE Z | |00000520
C| IIPV(IIV) | | TIPO DO VOLUME | |00000530
C| IIPV(JVV) | | TIPO DA JUNCAO V | |00000540
C| IIPW(JWW) | | TIPO DA JUNCAO W | |00000550
C| AT(IIV,IITOT) | | AREA DE TROCA DE CALOR | M**2 |00000560

```

CI	VCA(11V,11TOT)	VOLUMES DE FLUÍDO DE CARACA	M**3	100000570
CI	VCH(11V,11TOT)	VOLUMES DE FLUÍDO DOS TUBOS	M**3	100000560
CI	AY(11V,11TOT)	AREA LATERAL DOS SUBCANAIS - DIR. Y	M**2	100000550
CI	AZ(11V,11TOT)	AREA LATERAL DOS SUBCANAIS - DIR. Z	M**2	100000600
CI	LYM(11V)	NUM. DA LINHA DE Y-MINIMO DO SUBCANAL		100000610
CI	LYM(11V)	NUM. DA LINHA DE Y-MAXIMO DO SUBCANAL		100000620
CI	LZM(11V)	NUM. DA LINHA DE Z-MINIMO DO SUBCANAL		100000630
CI	LZM(11V)	NUM. DA LINHA DE Z-MAXIMO DO SUBCANAL		100000640
CI	YMIN(11V)	COORDENADA Y-MINIMO DO SUBCANAL	M	100000650
CI	YMAX(11V)	COORDENADA Y-MAXIMO DO SUBCANAL	M	100000660
CI	ZMIN(11V)	COORDENADA Z-MINIMO DO SUBCANAL	M	100000670
CI	ZMAX(11V)	COORDENADA Z-MAXIMO DO SUBCANAL	M	100000680
CI	ZTV(11V)	NUM. FRACIONARIO DE TUBOS DO SUBCANAL JV		100000690
CI	JSY(11V)	JUNCAO V SIMETRICA 'A JUNCAO JV		100000700
CI	JSL(11V)	JUNCAO W SIMETRICA 'A JUNCAO JW		100000710
CI	ZTV(11V)	NUM. FRACIONARIO DE TUBOS DA JUNCAO JV		100000720
CI	COMP(11V)	COMPRIMENTO TOTAL DO TUBO "00" DA LINHA Y	M	100000730
CI	COHC(11V)	CONSTANTE PARA MEDIA DOS COEFICIENTES DE		100000740
CI		TROCA DE CALOR NOS NIVEIS DE CHICANA		100000750
CI	CWELS	CONSTANTE PARA RELACIONAR DIAMETRO/DIST.		100000760
CI		ENTRE TUBOS COM TROCA DE CALOR (WEISMAN)		100000770
CI	DOO1	RECALAO DIAM. EXTERNO/INTERO DOS TUBOS		100000780
CI	OKACO	TERMO DE CONDUCAO DE CALOR NA PAREDE DOS		100000790
CI		TUBOS (RESISTENCIA DO METAL)	M**2.K/W	100000800
CI	AIT	AREA INTERNA TRANSVERSAL DOS TUBOS	M**2	100000810
CI				100000820
CI				100000830
CI				100000840
CI				100000850
CI				100000860
CI				100000870
CI				100000880
CI				100000890
CI				100000900
CI				100000910
CI				100000920
CI				100000930
CI				100000940
CI				100000950
CI				100000960
CI				100000970
CI				100000980
CI				100000990
CI				100001000
CI				100001010
CI				100001020
CI				100001030
CI				100001040
CI				100001050
CI				100001060
CI				100001070
CI				100001080
CI				100001090
CI				100001100
CI				100001110
CI				100001120
CI				100001130
CI				100001140

* CONSTANTES INICIAIS *

100 0000
100 0001
100 0002
100 0003
100 0004
100 0005
100 0006
100 0007
100 0008
100 0009
100 0010
100 0011
100 0012
100 0013
100 0014
100 0015
100 0016
100 0017
100 0018
100 0019
100 0020
100 0021
100 0022

GEOM. 100 0023, 100 0024, 100 0025, 100 0026, 100 0027
/ AX(116), DCH(16), LCA(11), LCV(10), LAL(10),
/ DCH(16), CL(10), CN(11), CN(10),
/ ITIP(16), ITIP(11), ITIP(10)
/ DAI(16)
/ COHC(16), CWELS, DOO1, OKACO
/ AX(116), AT(16), L3(1), VCA(16,13),
/ AIT, SC, JCV, LCO, ST, ATRO, OUREG
/ ZTV(16)
/ COMP(16)
/ DIC, DEC, DFC, ECI, DEC, YHC, RPD, DXP, DXX,
/ OKACO, X(11), ZD, TD, DY, DZ, ZTV(16), NZ(16),
/ LYM(16), LYM(16), LZM(16), LZM(16), AZ
/ NY(16), AZ(10,13)
/ OUX(16)
/ ZTV(16,7), NY(16), LY(16,7)
/ LCO(16), ZTV(16)
/ DIT
/ JSI(16), JSI(10), J11
/ NREG(16), DEZ
/ AX(16), VCA(16), VCA(16), VCA(16), VCA(16),
/ VCA(16), JYD(16), JYD(16), JYD(16), JYD(16), JYD(16)
/ ZMAX(16), ZMAX(16), ZMAX(16), ZMAX(16), ZMAX(16)
/ Z(16), Z(16)

```

154 0023 R2=25*010*010 00001150
154 0024 LAR=5*02 00001160
154 0025 LAF=CAR-1125*050*050 00001170
154 0026 A1PI=.735578*010*050-DET*DET 00001180
154 0027 RUC=3.141593*050 00001190
154 0028 A1T=.735578*010*010 00001200
154 0029 RUC=3.141593*010 00001210
154 0030 A1C=.5*010 00001220
154 0031 I17=1+(A1C-1)*I1+3 00001230
154 0032 I1=I17*2 00001240
154 0033 I11=I1-1 00001250
154 0034 AKCA=05*02-A1T 00001260
154 0035 JH4G=A1*AKCA/PDE 00001270
154 0036 JH4I=051/011 00001280
154 0037 OKAC=DET*(DET-DET)/(OKAC*(DET+DET)) 00001290
154 0038 SC = CEC * 010 - 2L * DET * 2TUBS111 00001300
154 0039 JED1 = 0001 00001310
154 0040 ACD = OKAC0 00001320
154 0041 TUBS = 20 00001330
154 0042 DO 21 NV = 1,NLY 00001340
154 0043 20 TUBS = TUBS + 2TUB (NV) 00001350
154 0044 TUBS = TUBS + TUBS 00001360
154 0045 SF = A11 * TUBS 00001370
154 0046 CAE15=.042*(DY/DET)-.024 00001380
C 00001390
C CALCULO DO DELTA-X PARA A SUBROTINA 'CHICAN' 00001400
C 00001410
154 0047 DX11=0XP 00001420
154 0048 DX1 = A1C1H1*05R2G 00001430
154 0049 DX111=DX1+ECM 00001440
154 0050 DX11 = (CEC + ECM - DX11) / I11 00001450
154 0051 DO 97 I=1,I11 00001460
154 0052 97 DXC11=DX11 00001470
154 0053 DXC111=DX1 00001480
C 00001490
C DETERMINACAO DOS SUBCANAIS ADJACENTES NAS JUNGES 00001500
C (IVC(JV),IVE(JV),IVB(JW) E IVC(JW) 00001510
C 00001520
154 0054 DO 29 IV = 1,IIV 00001530
154 0055 IF IJVC(IV).NE.0 IVDIJVE(IV) = IV 00001540
154 0056 IF IJVB(IV).NE.0 IVEIJVC(IV) = IV 00001550
154 0057 IF IJWB(IV).NE.0 IVCIJWB(IV) = IV 00001560
154 0058 29 IF IJVC(IV).NE.0 IVB(IJVC(IV)) = IV 00001570
C 00001580
C DETERMINACAO DO TIPO DE SUBCANAL (ITIPVD(IV)) 00001590
C 00001600
154 0059 DO 63 IV=1,IIV 00001610
154 0060 IF IJVC(IV)75,72,73 00001620
154 0061 72 ITIPVD(IV)=2 00001630
154 0062 IF IJVC(IV).EQ.0 ITIPVD(IV)=1 00001640
154 0063 IF IJVE(IV).EQ.0 ITIPVD(IV)=3 00001650
154 0064 GO TO 63 00001660
154 0065 73 IF IJVD(IV)=5 00001670
154 0066 IF IJWB(IV).EQ.0 ITIPVD(IV)=7 00001680
154 0067 IF IJVE(IV).EQ.0 ITIPVD(IV)=6 00001690
154 0068 IF IJVC(IV).EQ.0 ITIPVD(IV)=4 00001700
154 0069 63 CONTINUE 00001710
C 00001720

```

```

C          DETERMINACAO DO TIPO DE JUNCAO V ((TIPJV(JV))
C
15N 0077      DO 64 J=1, JIV
15N 0080      ITIPJV(J)=4
15N 0081      IF(JVC(IVC(J)).EQ.0) ITIPJV(J)=1
15N 0083      IF(JVE(IVE(J)).EQ.0) ITIPJV(J)=2
15N 0085      IF(JVC(IVC(J)).EQ.0.AND.JVE(IVE(J)).EQ.0) ITIPJV(J)=3
15N 0087      64 CONTINUE
C
C          DETERMINACAO DO TIPO DE JUNCAO W ((TIPJW(JV))
C
15N 0088      DO 74 J=1, JW
15N 0089      ITIPJW(J)=4
15N 0090      IF(JWC(IWC(J)).EQ.0) ITIPJW(J)=1
15N 0092      IF(JWB(IWB(J)).EQ.0) ITIPJW(J)=2
15N 0094      IF(JWC(IWC(J)).EQ.0.AND.JWB(IWB(J)).EQ.0) ITIPJW(J)=3
15N 0096      74 CONTINUE
C
C          COMPLEMENTACAO DAS MATRIZES CARACTERISTICAS DOS TUBOS
C
15N 0097      DO 1 IV=1, IIV
15N 0098      IF(LACO(IV)=2)Z,3,3
15N 0099      Z=IIVS(IV)-IIV+1,1,4
15N 0100      4 NT=NY(IIV)
15N 0101      NY(IIVS(IV))=NT
15N 0102      DO 5 I=1,NT
15N 0103      Z(I,I)=Z(I,I)
15N 0104      5 LY(I,S(IV),I)=Z(I,I)
15N 0105      DO 11 I=1
15N 0106      3 IF(IIV=I)S(I,I)=6,6,1
15N 0107      6 NT=NY(IIVS(IV))
15N 0108      NY(I,I)=NT
15N 0109      DO 7 I=1,NT
15N 0110      Z(I,I)=Z(I,I)
15N 0111      7 LY(I,I)=Z(I,I)
15N 0112      1 CONTINUE
C
C          DETERMINACAO DAS JUNCOES SIMÉTRICAS ((JSI(VI) E JSI(WI))
C          DAS CÔTAS ((YMAX(IV),YMIN(IV),ZMAX(IV) E ZMIN(IV))
C          CÁLCULO DO NÚMERO DE TUBOS DE CADA SUBCANAL ((ZTV(IV))
C          CÁLCULO DO NÚMERO DE TUBOS DE CADA JUNCAO V ((ZTV(JV))
C
15N 0113      DO 13 IV=1, IIV
15N 0114      IF(JWB(IV))Z0,3,20
15N 0115      20 JSI(WI(IV))=JWC(IIVS(IV))
15N 0116      30 IF(JVE(IV))Z1,50,21
15N 0117      21 JSI(VI(IV))=JVC(IIVS(IV))
15N 0118      50 ZMIN(IV)=Y0+I(YMIN(IV)-1)*DY
15N 0119      IF(YMIN(IV).LT.1)YMIN(IV)=0.
15N 0120      NY=IV
15N 0121      13 IF(JVC(NV))I10,12,16
15N 0122      16 IF(JVE(NV))I7,12,17
15N 0123      10 IF(LACO(NV))I5,11,15
15N 0124      11 YMAX(IV)=AIC
15N 0125      DO 10 Z=1
15N 0126      10 DO 18 N=1,NL1
15N 0127      NV=IV+JWC(NV)
15N 0128      IF(LACO(NV))I8,13,16

```

```

15N 0130      13 CONTINUE
15N 0131      17 YMAX(I)=Y0+L*YMA(I)-L)*DY
15N 0132      23 ZMIN(I)=Z0+L(ZMI(I)-L)*DZ
15N 0133      IF(LZMI(I).EQ.1)ZMIN(I)=0.
15N 0134      ZMAX(I)=Z0+L(ZMA(I)-L)*DZ
15N 0135      IF(JWB(I))Z7,Z6,Z7
15N 0136      14 NY=IV
15N 0137      IF(JVD(I).EQ.0)NY=(VEI(JVE(I)))
15N 0138      IF(JVE(I).EQ.0)NY=IV(JVD(I))
15N 0139      IF(JWB(I))Z7,Z6,Z7
15N 0140      26 ZMAX(I)=R(C
15N 0141      27 W(*NY)(I)
15N 0142      ZT(I)=0.
15N 0143      A=2.
15N 0144      IF(LYMI(I).EQ.1)A=1.
15N 0145      DO 40 I=L,NT
15N 0146      ZT(I)=ZT(I)+ZTL(I),1)
15N 0147      IF(LY(I,1).EQ.1)ZT(I)=ZT(I)+ZTL(I),1)*A
15N 0148      IF(LAG(I).EQ.2)ZT(I)=ZT(I)+ZTL(I),1)*A
15N 0149      40 CONTINUE
15N 0150      10 CONTINUE
15N 0151
15N 0152
15N 0153
15N 0154
15N 0155
15N 0156
15N 0157
15N 0158
15N 0159
15N 0160
15N 0161
15N 0162
15N 0163
15N 0164
15N 0165
15N 0166
15N 0167
15N 0168
15N 0169
15N 0170
15N 0171
15N 0172
15N 0173
15N 0174
15N 0175
15N 0176
15N 0177
15N 0178
15N 0179
15N 0180
15N 0181
15N 0182
15N 0183
15N 0184

```

CALCULO DAS AREAS, DOS DIAMETROS HIDRAULICOS E
DOS COMPRIMENTOS DE PASSAGEM DE CADA JUNCAO

- AX(I) = AREA-X DO SUBCANAL (M**2)
- AXC(I) = AREA-X DO SUBCANAL NA CHICANA (M**2)
- DHX(I) = DIAMETRO HIDRAULICO DO SUBCANAL (M)
- DHC(I) = DIAMETRO HIDRAULICO DO SUBCANAL NA CHICANA (M)
- XLV(I) = COMPRIMENTO DE PASSAGEM POR JUNCAO V (M)
- XLW(I) = COMPRIMENTO DE PASSAGEM POR JUNCAO W (M)

```

DO 50 IV=1,IV
JE=JVE(IV)
JC=JWC(IV)
IV0=IVS(IV)
IF(IV0-N)*2,42
41 AX(I)=AX(IV0)
AXC(I)=AXC(IV0)
DHX(I)=DHX(IV0)
DHC(I)=DHC(IV0)
DE Y(I)=DE Y(IV0)
DE Z(I)=DE Z(IV0)
IF(JC.NE.0)XLW(JC)=XLW(JE)+L
IF(JE=3,4,43
XV(JE)=YH(X(I)-YMIN(I))-DET*ZT(JE)
IF(LV(JE)(JE)).LT.IV)XLV(JE)=XLV(JE)+L
IF(JE.EQ.JVD(IV0))XLV(JE)=XLV(JE)+DET*(ZT(JE)-
ZT(JV(JE)))
GO TO 50
42 YMA=YMAX(IV)
YMI=YMIN(IV)
ZMA=ZMAX(IV)
ZMI=ZMIN(IV)
YINA=SQRT(RZ-ZMA**2)
YINI=SQRT(RZ-ZMI**2)
ZINA=SQRT(RZ-YMA**2)

```

00002310
00002320
00002330
00002340
00002350
00002360
00002370
00002380
00002390
00002400
00002410
00002420
00002430
00002440
00002450
00002460
00002470
00002480
00002490
00002500
00002510
00002520
00002530
00002540
00002550
00002560
00002570
00002580
00002590
00002600
00002610
00002620
00002630
00002640
00002650
00002660
00002670
00002680
00002690
00002700
00002710
00002720
00002730
00002740
00002750
00002760
00002770
00002780
00002790
00002800
00002810
00002820
00002830
00002840
00002850
00002860
00002870
00002880


```

4 0185 ZINI=SQRT(KZ*YM[*+Z]) 00002340
N 0186 DL Y(IV)=YNA-YNI 00002350
N 0187 DE Z(IV)=ZNA-ZNI 00002360
N 0188 DYM=DL Y(IV)*DE Z(IV) 00002370
N 0189 DELY=DEY(IV) 00002380
N 0190 DELZ=DEZ(IV) 00002390
N 0191 AOT=A(I)*ZT(IV) 00002400
N 0192 IF(YINC-YMA)59,59,60 00002410
N 0193 59 IF(YINI-YMA)92,92,94 00002420
N 0194 92 IF(YINA-YMI)93,93,95 00002430
N 0195 96 TET1=ARCS(ZINI*DIWV) 00002440
N 0196 TET2=ARCS(YINI*DIWV) 00002450
N 0197 TETA=1.5708-TET1-TET2 00002460
N 0198 PNC=0.5*TETA*(DIC+DEC)+3.1416*(DET+DFC)*ZTV(IV) 00002470
N 0199 LLL=0 00002480
N 0200 AARC=CAR*TETA 00002490
N 0201 ATRIN=CAR*SIN(TETA) 00002500
N 0202 APOLF=0.5*DELZ*(DELY+YMA-YINI) 00002510
N 0203 AFORA=APOLF-AARC+ATRIN 00002520
N 0204 AFCA=CAF*TETA 00002530
N 0205 IF(JC)55,51,65 00002540
N 0206 65 ALX(JC)=YIN-YNI-DET*ZT(JC) 00002550
N 0207 61 IF(JE)62,60,ALV(JE)=ZINI-ZMI-DET*ZT(JE) 00002560
N 0208 GO TO 62 00002570
N 0209 60 AFORA=0. 00002580
N 0210 TETA=0. 00002590
N 0211 AFCA=0. 00002600
N 0212 LLL=1 00002610
N 0213 PNC=1. 00002620
N 0214 ALV(JE)=DELZ-DET*ZT(JE) 00002630
N 0215 IF(JC)68,62,65 00002640
N 0216 66 ALX(JC)=DELY-DET*ZT(JC) 00002650
N 0217 GO TO 67 00002660
N 0218 94 IF(YINA-LLI, YMI)63 TO 98 00002670
N 0219 LLI=ARCS(YINA*DIWV) 00002680
N 0220 TET3=ARCS(YMI*DIWV) 00002690
N 0221 TETA=1.5708-TET1-TET2 00002700
N 0222 PNC=0.5*TETA*(DIC+DEC)+3.1416*(DET+DFC)*ZTV(IV) 00002710
N 0223 LLL=0 00002720
N 0224 AFCA=CAR*TETA 00002730
N 0225 ATRIN=CAR*SIN(TETA) 00002740
N 0226 APOLF=0.5*(YMA-ZINA)*(YMA-YINA) 00002750
N 0227 AFORA=APOLF-AARC+ATRIN 00002760
N 0228 AFCA=CAF*TETA 00002770
N 0229 IF(JC)63,61,65 00002780
N 0230 63 ALX(JC)=ZLZ-DET*ZT(JC) 00002790
N 0231 IF(JE)64,61,65 00002800
N 0232 64 ALV(JE)=ZINA-ZMI-DET*ZT(JE) 00002810
N 0233 GO TO 67 00002820
N 0234 95 TET1=ARCS(YINA*DIWV) 00002830
N 0235 TET2=ARCS(YMI*DIWV) 00002840
N 0236 TETA=1.5708-TET1-TET2 00002850
N 0237 PNC=0.5*TETA*(DIC+DEC)+3.1416*(DET+DFC)*ZTV(IV) 00002860
N 0238 LLL=0 00002870
N 0239 AARC=CAR*TETA 00002880
N 0240 ATRIN=CAR*SIN(TETA) 00002890
N 0241 APOLF=0.5*DELZ*(ZI*YMA-YINA-YINI) 00002900
N 0242 AFORA=APOLF-AARC+ATRIN 00002910

```

```

154 0247      AICQ=CAF*TETA                                00003470
154 0248      IF (YU,NE.0) XLV(JC)=YINI-YMI-ZIOW(JC)*DET      00003480
154 0249      IF (JC,NE.0) XLV(JE)=DELZ-DET*ZTJV(JE)          00003490
154 0252      GO TO 62                                          00003500
154 0253      40 TET1=ARCCOS(ZINA+DINV)                      00003510
154 0254      TET2=ARCSIN(ZINA*DINV)                       00003520
154 0255      TETA=1.5708-TET1-TET2                       00003530
154 0256      PNC=0.5*TETA*(JIC+JEC)+3.1416*(GET+DFC)*ZIV(I) 00003540
154 0257      ULL=0                                          00003550
154 0258      AARI=CARATEL . . .                          00003560
154 0259      ATRIN=CARA*SIN(TETA)                          00003570
154 0260      APOLF=0.5*DELY*(ZMA-ZINA-ZINI)                00003580
154 0261      AFORA=APOLF-AARC+ATRIN                       00003590
154 0262      AFCA=CAF*TETA                                 00003600
154 0263      IF (JC,NE.0) XLV(JC)=DELY-DET*ZTJV(JC)       00003610
154 0265      IVA=IVEL(JE)                                  00003620
154 0266      XLV(JE)=ZINI-ZMI-DET*ZTJV(JE)                00003630
154 0267      IF (JVE(IVA).EQ.0) ANO=JWB(IVA).EQ.0) XLV(JE)=ZINA-ZMI-DET*ZTJV(JE) 00003640
154 0269      62 AX(IV)=DYDZ-AFORA-ADT                      00003650
154 0270      PM4=0.7854*DET*ZTIV(IV)                      00003660
154 0271      PM4=PM4+R1C*TETA                             00003670
154 0272      DNX(IV)=AX(IV)/PM4                           00003680
154 0273      AXG(IV)=AFCA+APPT*ZTIV(IV)                  00003690
154 0274      DNG(IV)=4.444*(IV)/PM4                      00003700
154 0275      IF (ULL.EQ.1) DNG(IV)=DFC-DET                00003710
154 0277      90 CONTINUE                                  00003720
C           CALCULO DO COMPRIMENTO E DO NUMERO DE TUBOS      00003730
C           DE CADA VOLUME DE CONTROLE PARA MOMENTO-Y E Z    00003740
C           00 51 J=1,2000                                  00003750
C           I=1                                              00003760
C           IF (J.EQ.1) J=1,2000 AND, YD,NE.0) I=2          00003770
C           DNY(J)=.5*INVT(IV(J))+NYT(IVEL(J))-11          00003780
C           51 LLY(J)=.5*(DE Y(IVEL(J))+DE Y(IVD(J)))        00003790
C           GO 52 J=1,2000                                    00003800
C           DZL(J)=IFIX(.5*(ZT(IVD(J))+ZT(IVC(J))-2.1))    00003810
C           52 DZT(J)=.5*(DE Z(IVD(J))+DE Z(IVC(J)))         00003820
C           00003830
C           00003840
C           DETERMINACAO DA AREA E DO DIAMETRO HIDRAULICO   00003850
C           DOS SUBCANAIS DA JANELA DA CHICANA              00003860
C           00003870
C           00 43 IV=1,1100                                  00003880
C           IF INREG(IV)=1193.91,93                          00003890
C           41 ARCL(IV)=AX(IV)                                00003900
C           DNG(IV)=DNX(IV)                                   00003910
C           43 CONTINUE                                      00003920
C           00003930
C           CALCULO DOS INTERVALOS DELTA-X DE TODOS OS      00003940
C           NIVEIS DO TROCADOR                                00003950
C           DAS AREAS DE TROCA, VOLUMES DO FLUIDO DOS TUBOS 00003960
C           E VOLUMES DO FLUIDO DA CARCACA                   00003970
C           00003980
C           ATR(IV,1) = AREA DE TROCA DE CALOR (M**2)       00003990
C           VOLH(IV,1) = VOLUME DO FLUIDO DOS TUBOS (M**3) 00004000
C           VJAC(IV,1) = VOLUME DO FLUIDO DA CARCACA (M**3) 00004010
C           DX (I)   = ALTURA DO NIVEL I (DELTA-X = M)     00004020
C           00004030
C           00004040
154 0292      WRITE(6,500)                                  00004050

```

```

15N 0293      DU 43 IV=1,1IV
15N 0294      AT=NYT(IV)
15N 0295      XU=DU
15N 0296      DU 44 I=1,NT
15N 0297      K=(XU)+(LY(IV,1)-1)*DY
15N 0298      XLU=XLU+1.576796*XR*ZTL(IV,1)
15N 0299      44 CONTINUE
15N 0300      XLU=XLU+XHU*ZTV(IV)
15N 0301      ATR(IV,1)=PGE*XLU
15N 0302      VDH(IV,1)=A11*XLU
15N 0303      VDC(IV,1)=DA(1)*(AX(IV)+ZTV(IV)*A11-A11*XLU
15N 0304      PLZ=PUZ*ZTV(IV)
15N 0305      PTZ=PUT*ZTV(IV)
15N 0306      PTZ=A(1)*ZTV(IV)
15N 0307      ATR(IV,1(TOT))=PEZ*DX(1(TOT))
15N 0308      VDH(IV,1(TOT))=PTZ*DX(1(TOT))
15N 0309      VDC(IV,1(TOT))=AX(IV)*DX(1(TOT))
15N 0310      DU 46 I=2,112
15N 0311      DX(I)=DX(I)
15N 0312      ATR(IV,I)=PEZ*DX(I)
15N 0313      VDH(IV,I)=PTZ*DX(I)
15N 0314      VDC(IV,I)=AX(IV)*DX(I)
15N 0315      46 CONTINUE
15N 0316      DU 47 N=1,NLHL
15N 0317      NL=2*(1+(N-1)
15N 0318      DAINL)=DX(I)
15N 0319      ATR(IV,NL)=PEZ*DX(NL)
15N 0320      VDH(IV,NL)=PTZ*DX(NL)
15N 0321      AX=AX(IV)
15N 0322      NN=N/2
15N 0323      NN=N-NN
15N 0324      IF(NN,NE,0,AND,NLEG(IV),EQ,3) AX=AX(IVS(IV))
15N 0325      VDC(IV,NL)=AX(IV)*(DX(NL)-ECH)+AR*ECH
15N 0326      47 CONTINUE
15N 0327      AX(IV)=A11*ZTV(IV)
15N 0328      ATR(16,400(IV),IVS(IV),JVS(IV),JVD(IV),JWB(IV),JAG(IV),ZTV(IV),
15N 0329      VDC(IV),AX(IV),AXHL(IV),DHX(IV),DHC(IV))
15N 0330      D1 = DHX(IV)
15N 0331      D2 = DHC(IV)
15N 0332      A1 = AX (IV)
15N 0333      A2 = AX(IV)
15N 0334      CCQLB = 1023*(D1/D2)*(1+D2*A1)/(D1*A2)**.8
15N 0335      CCNIC (IV) = .5 * (CCQLB + CHEIS) / DHX (IV)
15N 0336      46 CONTINUE

```

C
C
C

CALCULO DO COMPRIMENTO DE CADA 'TAMANHO' DE TUBO 'J' (M)

```

15N 0337      COMP=XHE*XLU
15N 0338      DU 19 I=2,1(TOT)
15N 0339      19 COMP=COMP+DX(I)
15N 0340      COMP=2.*COMP
15N 0341      DU 22 N=1,NLY
15N 0342      RAIS=YU*(N+1)*DY
15N 0343      22 COMPRI(N)=3.141593*RAIU*COMP
15N 0344      WRITEL6,405(1,DX(1),I=1,1(TOT))
15N 0345      WRITEL6,405(1,1,1,1(TOT))
15N 0346      ATRTOT = .0
15N 0347      DU 69 IV=1,1IV

```

```

15N 0354 WRITE(5,405)IV,ATR(IV,1),I=1,11TOT)
15N 0355 DO 24 I = 1,11TOT)
15N 0356 ATR(I) = ATRTOT + ATR(IV,1)
15N 0357 24 CONTINUE
15N 0358 30 CONTINUE
15N 0359 ATR(I) = ATR(I) + ATRTOT
15N 0360 ATR(I) = ATR(I)
15N 0361 WRITE (5,406) ATRTOT
15N 0362 WRITE(5,407)(I,I=1,11TOT)
15N 0363 DO 20 IV = 1,15V
15N 0364 WRITE(5,408)(V,(VDA(IV,1),I=1,11TOT)
15N 0365 70 CONTINUE
15N 0366 WRITE(5,409)(I,I=1,11TOT)
15N 0367 DO 71 IV=1,11V
15N 0368 WRITE(5,405)IV,(VDH(IV,1),I=1,11TOT)
15N 0369 71 CONTINUE
15N 0370 WRITE(6,410)
15N 0371 DO 67 J=1,10V
15N 0372 DO 6 I=1,11TOT)
15N 0373 8 AY(I,J)=XLV(I)*DX(I)
15N 0374 WRITE(6,411)J,J5IV(J),IVE(J),IVO(J),XLV(J)
15N 0375 67 CONTINUE
15N 0376 WRITE(6,412)
15N 0377 DO 68 J=1,10V
15N 0378 DO 9 I=1,11TOT)
15N 0379 9 AZ(I,J)=XLV(I)*DX(I)
15N 0380 WRITE(6,413)J,J5IV(J),IV5(J),IVC(J),XLV(J)
15N 0381 68 CONTINUE
15N 0382 RETURN
C
C*** FORMATTOS DE IMPRESSAO ***
C
15N 0377 400 FORMAT(7,3X,12,6X,12,2X,4(2X,12),4X,F5.2,5(4X,E10.4))
15N 0378 401 FORMAT(11,1X,'AREAS DE TROCA ATR(IV,1) **2',//,1X,'IV',
15N 0379 402 FORMAT(11,1X,'VOLUMES DE AGUA VDA(IV,1) **3',//,1X,'IV',
15N 0380 403 FORMAT(11,1X,'VOLUMES DE HELIO VDH(IV,1) **5',//,1X,'IV',
15N 0381 404 FORMAT(//,2X,'(X(I))',13(2X,12),'**',14,3))
15N 0382 405 FORMAT(7,1X,12,13(2X,28-3))
15N 0383 406 FORMAT(17,1X,'AREA DE TROCA DE CALOR TOTAL =',E10.4,'**2')
15N 0384 410 FORMAT(7,3X,12,5X,12,2X,2(2X,12),4X,E10.4)
15N 0385 411 FORMAT(11,1X,'CARACTERISTICAS DAS JUNCOES V',//,1X,'JUNCAO',2X,
15N 0386 412 FORMAT(//,1X,'CARACTERISTICAS DAS JUNCOES W',//,1X,'JUNCAO',2X,
15N 0387 500 FORMAT(11,1X,'CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DOS VOLUMES',//,1X,
15N 0388 1X,'VOLUME',2X,'V',SIM',2X,'JE',2X,'JU',2X,'JD',2X,'JC',3X,'NUM.TUB',
15N 0389 1X,'AX' (M**2)',4X,'AXC (M**2)',4X,'AXH (M**2)',4X,'CHX (M)',
15N 0390 END

```

COMPIER OPTIONS - NAME= MAIN,DPT=02,LEN-CNT=60,SIZE=0330K,

SOURCE,ESCDIC,NOLIST,VDSCK,LDAG,MAP,NOLDIT,NOID,XREF

```

C*****00000010
C*                                *00000020
C*                                *00000030
C*                                *00000040
C*                                *00000050
C*                                *00000060
C*                                *00000070
C*****00000080
C-----|00000090
C|          - IDENTIFICAO DO ROTULO DOS COMANDOS COMMON - |00000100
C|-----|00000110
C| ROTULO | BLOCOS CIGADOS PELO COMMON |00000120
C|-----|00000130
C| ZBLO / | BLOK - CHICAN |00000140
C| ZBLOU / | BLOK - GEOMET - CHICAN - UGLOBL |00000150
C| ZBLOUM / | BLOK - GEOMET - CHICAN - DISVEL - UGLOBL - MAIN |00000160
C| ZBLOM / | GEOMET - CHICAN - DISVEL - MAIN |00000170
C| ZB / | GEOMET - CHICAN |00000180
C| ZB / | GEOMET - DISVEL |00000190
C| ZB / | GEOMET - CHICAN - UGLOBL |00000200
C| ZB / | GEOMET - CHICAN - DISVEL |00000210
C| ZB / | CHICAN - DISVEL |00000220
C| ZB / | MASPL - CHICAN - BYPASS |00000230
C|-----|00000240
C| VAR.(DIMENSAO) | REPRESENTA | UNIDADE |00000250
C|-----|00000260
C| N | NUMERO TOTAL DE EQUACOES - CHICAN | |00000270
C| A | MAT (11-11) | MATRIZ A DAS EQUACOES | (CHICAN) |00000280
C| B | MAT (11-11) | MATRIZ B DAS EQUACOES - CHICAN | |00000290
C| R | RESOLV | RESULTADO (MASPL) | |00000300
C| U | VEC (11,11) | COMPONENTE AXIAL DE VELOCIDADE (DIR=X) | M/S |00000310
C| V | VEC (11,11) | COMPONENTE TRANSVERSAL DE VELOC. (DIR=Y) | M/S |00000320
C| W | VEC (11,11) | COMPONENTE TRANSVERSAL DE VELOC. (DIR=Z) | M/S |00000330
C| P | (11,11) | PRESSAO SUPERFICIAL NOS VOLUMES | BAR |00000340
C| UA | VEC (11,11) | VECOR AUXILIAR DE VELOCIDADE U | M/S |00000350
C| VA | VEC (11,11) | VECOR AUXILIAR DE VELOCIDADE V | M/S |00000360
C| WA | VEC (11,11) | VECOR AUXILIAR DE VELOCIDADE W | M/S |00000370
C|-----|00000380
C |00000390
C |00000400
C |00000410
C |00000420
C |00000430
C |00000440
C |00000450
C |00000460
C |00000470
C |00000480
C |00000490
C |00000500
C |00000510
C |00000520
C |00000530
C |00000540
C |00000550
C |00000560

```

```

15N 0014      DIMENSION P(10,6),UA(16,5),VA(13,4),WA(10,4)      00000070
15N 0015      DOUBLE PRECISION A,B,X      00000000
15N 0016      INTEGER*2 IC,INZ,      00000000
C
C**** INICIALIZACAO ****      00000010
C      00000020
15N 0015      IPI=10+1      00000030
15N 0016      IIV=1IV=1      00000040
15N 0017      IIV2=2*IIV      00000050
15N 0018      IPER=1IV2+JJV+JJW      00000060
15N 0019      CL=CC/DEN      00000070
15N 0020      C1INV=0.5/C1      00000080
15N 0021      APOND=(1.-POND)      00000090
C      ICM = NUM. ADMISSIVEL DE VELOCIDADES FORA DA CONVERGENCIA      00000100
15N 0022      CM = I1 * I1 * IIV * TOLE      00000110
15N 0023      ICM=1F:X(CM)      00000120
C      NTOI = NUM. TOTAL DE EQUACOES      00000130
15N 0024      NTOI=101+IPER+3*IIV      00000140
15N 0025      FIV=F/IIV      00000150
15N 0026      FJV=F/JJV      00000160
15N 0027      FJW=F/JJW      00000170
15N 0028      FJX=F/JJX      00000180
15N 0029      FJY=F/JJY      00000190
15N 0030      DO 34 I=1,I1      00000200
15N 0031      DO 35 IV=1,IIV      00000210
15N 0032      35 WA(IV,I)=FV/AX(IV)      00000220
15N 0033      IF(LV=0)GO TO 34      00000230
15N 0034      FUX=FJW/OX(I)      00000240
15N 0035      DO 36 J=1,JJV      00000250
15N 0036      36 VX(J,I)=FUX/XLV(IJ)      00000260
15N 0037      FUX=FJW/OX(I)      00000270
15N 0038      DO 37 J=1,JJW      00000280
15N 0039      37 WA(J,I)=FUX/XJW(J)      00000290
15N 0040      34 CONTINUE      00000300
C      *****      00000310
C      * MONTAGEM DA MATRIZ *      00000320
C      *****      00000330
15N 0042      ITER=0      00000340
15N 0043      75 DO 40 L=(1,NTOI)      00000350
15N 0044      INZ(L) = 0      00000360
15N 0045      DO 40 I=1,IIV      00000370
15N 0046      A(L,I) = .0      00000380
15N 0047      IC(L,I) = 0      00000390
15N 0048      40 CONTINUE      00000400
15N 0049      L = 1      00000410
15N 0050      DO 5 I=1,I1L      00000420
15N 0051      IPE(I)=IPER*I      00000430
15N 0052      IPE1V=IPE(I)+IIV      00000440
15N 0053      IPE1I=IPE(I)+I1-1      00000450
15N 0054      IPE12=IPE(I)+I1-2      00000460
15N 0055      IPE1V=IPE1I+IIV      00000470
15N 0056      IPE12=IPE1I+IIV2      00000480
15N 0057      IPE1J=IPE12+JJV      00000490
15N 0058      IPE22=IPE12+IIV2      00000500
15N 0059      IPE2J=IPE22+JJV      00000510
15N 0060      OX=OX*OX(I)      00000520
15N 0061      COX=0.5*OX(I)      00000530
C      00000540
C      00000550
C      00000560
C      00000570
C      00000580
C      00000590
C      00000600
C      00000610
C      00000620
C      00000630
C      00000640
C      00000650
C      00000660
C      00000670
C      00000680
C      00000690
C      00000700
C      00000710
C      00000720
C      00000730
C      00000740
C      00000750
C      00000760
C      00000770
C      00000780
C      00000790
C      00000800
C      00000810
C      00000820
C      00000830
C      00000840
C      00000850
C      00000860
C      00000870
C      00000880
C      00000890
C      00000900
C      00000910
C      00000920
C      00000930
C      00000940
C      00000950
C      00000960
C      00000970
C      00000980
C      00000990
C      00001000

```

```

C *****
C
ISN 0062      GO 7 IV=1,1IV
ISN 0063      CL=-CC*FAA(1IV)
ISN 0064      JE=JVE(1IV)
ISN 0065      JW=JWB(1IV)
ISN 0066      JU=JUB(1IV)
ISN 0067      JG=JAL(1IV)
ISN 0068      IF(JE.NE.0)FVLE=XLV(JE)*VA(JE,1)
ISN 0069      IF(JU.NE.0)FVLD=XLV(JU)*VA(JU,1)
ISN 0070      IF(JB.NE.0)ALB=XLV(JB)*KA(JB,1)
ISN 0071      IF(JG.NE.0)ALG=XLV(JG)*KA(JG,1)
ISN 0072      UA1=UA(1IV,1)
ISN 0073      JA1=UA(1IV,2+1)
ISN 0074      Dh=DHX(1IV)
ISN 0075      FX1=FAFRIC(UA1,DH,DEN,VISC)
ISN 0076      FDXH=0.5*FX1*QX(1)*ABS(UA1)/DH-UA1
ISN 0077      INDIC=(I1PV)(1IV)
ISN 0078      GO TO(1,2,3,4,5,6,7),INDIC
C
C
C * MOM. X PZ VUL. TIPO 1 *
C
ISN 0083      1 INZ(1)=6
ISN 0084      A(L,1)=-CC*(VLE+ALB)+FDXH
ISN 0085      IC(L,1)=1PE1V+1V
ISN 0086      A(L,2)=-CC*VLE
ISN 0087      IC(L,2)=1PE1V+1VE(JVE(1IV))
ISN 0088      A(L,3)=-CC*ALB
ISN 0089      IC(L,3)=1PE1V+1VB(JWB(1IV))
ISN 0090      GO TO 10
C
C
C * MOM. X PZ VUL. TIPO 2 *
C
ISN 0091      2 INZ(1)=7
ISN 0092      A(L,1)=-CC*(VLD+VLE+ALB)+FDXH
ISN 0093      IC(L,1)=1PE1V+1V
ISN 0094      A(L,2)=-CC*VLD
ISN 0095      IC(L,2)=1PE1V+1VD(JVD(1IV))
ISN 0096      A(L,3)=-CC*VLE
ISN 0097      IC(L,3)=1PE1V+1VE(JVE(1IV))
ISN 0098      A(L,4)=-CC*ALB
ISN 0099      IC(L,4)=1PE1V+1VB(JWB(1IV))
ISN 0100      GO TO 10
C
C
C * MOM. X PZ VUL. TIPO 3 *
C
ISN 0101      3 INZ(1)=6
ISN 0102      A(L,1)=-CC*(VLD+ALB)+FDXH
ISN 0103      IC(L,1)=1PE1V+1V
ISN 0104      A(L,2)=-CC*VLD
ISN 0105      IC(L,2)=1PE1V+1VD(JVD(1IV))
ISN 0106      A(L,3)=-CC*ALB
ISN 0107      IC(L,3)=1PE1V+1VB(JWB(1IV))
ISN 0108      GO TO 10
C
C
C * MOM. X PZ VUL. TIPO 4 *
C
ISN 0109      4 INZ(1)=6

```

```

00001160
00001165
00001170
00001180
00001190
00001200
00001210
00001220
00001230
00001240
00001250
00001260
00001270
00001280
00001290
00001300
00001310
00001320
00001330
00001340
00001350
00001360
00001370
00001380
00001390
00001400
00001410
00001420
00001430
00001440
00001450
00001460
00001470
00001480
00001490
00001500
00001510
00001520
00001530
00001540
00001550
00001560
00001570
00001580
00001590
00001600
00001610
00001620
00001630
00001640
00001650
00001660
00001670
00001680
00001690
00001700
00001710
00001720

```

ISN 0110	A(L,1)=CC*(WLC-VLE)+FOXH	00001730
ISN 0111	IC(L,1)=(PELV+IV	00001740
ISN 0112	A(L,2)=-CC*VLE	00001750
ISN 0113	IC(L,2)=(PELV+IVE(JVE(IV))	00001760
ISN 0114	A(L,3)=CC*WLC	00001770
ISN 0115	IC(L,3)=(PELV+IVC(JWC(IV))	00001780
ISN 0116	GO TO 10	00001790
	C	00001800
	C	00001810
	C	00001820
	* MM. X P/ VOL. TIPO 6 *	00001830
	6 INZ(L)=6	00001840
ISN 0117	A(L,1)=CC*(VLD+WLC)+FOXH	00001850
ISN 0118	IC(L,1)=(PELV+IV	00001860
ISN 0119	A(L,2)=CC*VLD	00001870
ISN 0120	IC(L,2)=(PELV+IVD(JVD(IV))	00001880
ISN 0121	A(L,3)=CC*WLC	00001890
ISN 0122	IC(L,3)=(PELV+IVC(JWC(IV))	00001900
ISN 0123	GO TO 10	00001910
ISN 0124		00001920
	C	00001930
	C	00001940
	C	00001950
	* MM. X P/ VOL. TIPO 7 *	00001960
	7 INZ(L)=7	00001970
ISN 0125	A(L,1)=CC*(VLD-VLE+WLC)+FOXH	00001980
ISN 0126	IC(L,1)=(PELV+IV	00001990
ISN 0127	A(L,2)=CC*VLD	00002000
ISN 0128	IC(L,2)=(PELV+IVD(JVD(IV))	00002010
ISN 0129	A(L,3)=-CC*VLE	00002020
ISN 0130	IC(L,3)=(PELV+IVE(JVE(IV))	00002030
ISN 0131	A(L,4)=CC*WLC	00002040
ISN 0132	IC(L,4)=(PELV+IVC(JWC(IV))	00002050
ISN 0133	GO TO 10	00002060
ISN 0134		00002070
	C	00002080
	C	00002090
	C	00002100
	* MM. X P/ VOL. TIPO 5 (REGULAR) *	00002110
	5 INZ(L)=5	00002120
ISN 0135	A(L,1)=CC*(VLD-VLE+WLC-WLB)+FOXH	00002130
ISN 0136	IC(L,1)=(PELV+IV	00002140
ISN 0137	A(L,2)=CC*VLD	00002150
ISN 0138	IC(L,2)=(PELV+IVD(JVD(IV))	00002160
ISN 0139	A(L,3)=-CC*VLE	00002170
ISN 0140	IC(L,3)=(PELV+IVE(JVE(IV))	00002180
ISN 0141	A(L,4)=CC*WLC	00002190
ISN 0142	IC(L,4)=(PELV+IVC(JWC(IV))	00002200
ISN 0143	A(L,5)=-CC*WLB	00002210
ISN 0144	IC(L,5)=(PELV+IVB(JWB(IV))	00002220
ISN 0145		00002230
ISN 0146	10 N2=INZ(L)-2	00002240
ISN 0147	A(L,N2)=-C1	00002250
ISN 0148	IC(L,N2)=(PERI+IV	00002260
ISN 0149	N1=N2+1	00002270
ISN 0150	A(L,N1)=C1	00002280
ISN 0151	IC(L,N1)=(PERI+IV	00002290
ISN 0152	N1=N1+1	00002300
ISN 0153	A(L,N0)=UA(1	00002310
ISN 0154	IC(L,N0)=(PERI+IV	00002320
ISN 0155	o(L)=DXG	00002330
ISN 0156	9 L=L+1	00002340
	C	00002350
	C**** EQ. DA CONS. DE MASSA ****	

154 0157	C	DA LI JV=LIV	00002310
154 0158	C	CG=X(1)/X(IV)	00002320
154 0159	C	JE=JVELIV	00002330
154 0160	C	JD=JVDIV	00002340
154 0161	C	JQ=JMBIV	00002350
154 0162	C	JR=JACTIV	00002360
154 0163	C	JFJE=NE-DICL=KXVJES	00002370
154 0164	C	IFJD=NC-DICL=XLWJDI	00002380
154 0165	C	IFJA+NE-DICL=XLWJDI	00002390
154 0166	C	IFJC+NE-DICL=XLWJDI	00002400
154 0167	C	INDIC=STIPVJIV	00002410
154 0168	C	GU TOI21,22,23,24,25,26,27,INDIC	00002420
154 0169	C		00002430
154 0170	C		00002440
154 0171	C		00002450
154 0172	C		00002460
154 0173	C		00002470
154 0174	C		00002480
154 0175	C		00002490
154 0176	C		00002500
154 0177	C		00002510
154 0178	C		00002520
154 0179	C		00002530
154 0180	C		00002540
154 0181	C		00002550
154 0182	C		00002560
154 0183	C		00002570
154 0184	C		00002580
154 0185	C		00002590
154 0186	C		00002600
154 0187	C		00002610
154 0188	C		00002620
154 0189	C		00002630
154 0190	C		00002640
154 0191	C		00002650
154 0192	C		00002660
154 0193	C		00002670
154 0194	C		00002680
154 0195	C		00002690
154 0196	C		00002700
154 0197	C		00002710
154 0198	C		00002720
154 0199	C		00002730
154 0200	C		00002740
154 0201	C		00002750
154 0202	C		00002760
154 0203	C		00002770
154 0204	C		00002780
154 0205	C		00002790
154 0206	C		00002800
154 0207	C		00002810
154 0208	C		00002820
154 0209	C		00002830
154 0210	C		00002840
154 0211	C		00002850
154 0212	C		00002860
154 0213	C		00002870
154 0214	C		00002880
154 0215	C		00002890
154 0216	C		00002900
154 0217	C		00002910
154 0218	C		00002920
154 0219	C		00002930
154 0220	C		00002940
154 0221	C		00002950
154 0222	C		00002960
154 0223	C		00002970
154 0224	C		00002980
154 0225	C		00002990
154 0226	C		00003000

21 INZLI)=4
 A(L,1)=CB*CLB
 I(L,1)=IPEI2+JVETIV
 A(L,2)=CB*CLB
 I(L,2)=IPEI2+JMBIV
 GU TO 12

* CENS. DE MASSA P/ VOL. TIPO 1 *

22 INZLI)=5
 A(L,1)=CB*CLD
 I(L,1)=IPEI2+JVDIIV
 A(L,2)=CB*CLE
 I(L,2)=IPEI2+JVETIV
 A(L,3)=CB*CLB
 I(L,3)=IPEI2+JMBIV

* CENS. DE MASSA P/ VOL. TIPO 2 *

23 INZLI)=4
 A(L,1)=CB*CLD
 I(L,1)=IPEI2+JVDIIV
 A(L,2)=CB*CLE
 I(L,2)=IPEI2+JMBIV
 GU TO 12

* CENS. DE MASSA P/ VOL. TIPO 3 *

24 INZLI)=4
 A(L,1)=CB*LE
 I(L,1)=IPEI2+JVETIV
 A(L,2)=CB*CLC
 I(L,2)=IPEI2+JACTIV
 GU TO 12

* CENS. DE MASSA P/ VOL. TIPO 4 *

26 INZLI)=4
 A(L,1)=CB*CLD
 I(L,1)=IPEI2+JVDIIV

* CENS. DE MASSA P/ VOL. TIPO 6 *

```

SN 0203      IC(L,2)=IPE1J+JWC(IV)
SN 0204      GO TO 22
C
C * CONS. DE MASSA P/ VOL. TIPO 7 *
C
SN 0205      27 INZ(L)=5
SN 0206      A(L,1)=CB*CLD
SN 0207      IC(L,1)=IPE12+JVD(IV)
SN 0208      A(L,2)=-CB*CLE
SN 0209      IC(L,2)=IPE12+JVE(IV)
SN 0210      A(L,3)=CB*CLC
SN 0211      IC(L,3)=IPE1J+JWC(IV)
SN 0212      GO TO 12
C
C * CONS. DE MASSA P/ VOL. TIPO 5 (REGULAR) *
C
SN 0213      25 INZ(L)=6
SN 0214      A(L,1)=CB*CLD
SN 0215      IC(L,1)=IPE12+JVD(IV)
SN 0216      A(L,2)=-CB*CLE
SN 0217      IC(L,2)=IPE12+JVE(IV)
SN 0218      A(L,3)=CB*CLC
SN 0219      IC(L,3)=IPE1J+JWC(IV)
SN 0220      A(L,4)=-CB*CLG
SN 0221      IC(L,4)=IPE1J+JWB(IV)
SN 0222      12 NI=INZ(L)-1
SN 0223      A(L,NI)=1.
SN 0224      IC(L,NI)=IPE1V+IV
SN 0225      NI=NI+1
SN 0226      A(L,NI)=-1.
SN 0227      IC(L,NI)=IPE1V+IV
SN 0228      B(L)=0.
SN 0229      11 L=L+1
C
C**** EQ. DE MOMENTO NA DIRECAO Y ****
C
SN 0230      DO=0.5/UX(1)
SN 0231      DO IS J=L,UVV
SN 0232      CB=DD*CLY(J)
SN 0233      JE=JVE(IVE(J))
SN 0234      JD=JVD(IV(J))
SN 0235      VAJ=VA(J,1)
SN 0236      IF(JE.NE.0)VAE=VA*JE,1)
SN 0237      IF(JD.NE.0)VAD=VA*(JD,1)
SN 0238      JAE=JA(IVE(J),1)
SN 0239      JAD=JA(IV(J),1)
SN 0240      JAE1=JA(IVE(J),1+1)
SN 0241      JAD1=JA(IV(J),1+1)
SN 0242      FY=CROSSP(VAJ,DETYPDEN,VISC)
SN 0243      FNYV=.5*FY*CNV(J)*ABS(VAJ)
SN 0244      IF(FY.EQ.0)GO TO 36
SN 0245      INZ(L)=1
SN 0246      A(L,1)=-CB*(JAE+JAD)
SN 0247      IC(L,1)=IPE22+J
SN 0248      GO TO 37
SN 0249      36 INZ(L)=0
SN 0250      37 INDI=17(PJV(J)
SN 0251      GO TO(31,32,33,34),INDI

```

	C		00003470
	C	* MOD. Y P/ JUNCAO TIPO 1 *	00003480
	C		00003490
ISN 0255		31 INZ(L)=INZ(L)+4	00003500
ISN 0256		N3=INZ(L)-3	00003510
ISN 0257		ALL(N3)=0.5*VAE+CD*(UAE1+UAD1)+FNWY	00003520
ISN 0258		IC(L,N3)=1PE12+J	00003530
ISN 0259		N2=N3+1	00003540
ISN 0260		ALL(N2)=0.25*(VAE)	00003550
ISN 0261		IC(L,N2)=1PE 2+JVE(IVE(J))	00003560
ISN 0262		GO TO 38	00003570
	C		00003580
	C	* MOD. Y P/ JUNCAO TIPO 2 *	00003590
	C		00003600
ISN 0263		32 INZ(L)=INZ(L)+4	00003610
ISN 0264		N3=INZ(L)-3	00003620
ISN 0265		ALL(N3)=-0.5*VAD*CD*(UAE1+UAD1)+FNWY	00003630
ISN 0266		IC(L,N3)=1PE12+J	00003640
ISN 0267		N2=N3+1	00003650
ISN 0268		ALL(N2)=-0.25*(VAD)	00003660
ISN 0269		IC(L,N2)=1PE12+JVD(IVD(J))	00003670
ISN 0270		GO TO 38	00003680
	C		00003690
	C	* MOD. Y P/ JUNCAO TIPO 3 *	00003700
	C		00003710
ISN 0271		33 INZ(L)=INZ(L)+3	00003720
ISN 0272		N2=INZ(L)-2	00003730
ISN 0273		ALL(N2)=CD*(UAE1+UAD1)+FNWY	00003740
ISN 0274		IC(L,N2)=1PE12+J	00003750
ISN 0275		GO TO 38	00003760
	C		00003770
	C	* MOD. Y P/ JUNCAO TIPO 4 (REGULAR)	00003780
	C		00003790
ISN 0276		34 INZ(L)=INZ(L)+5	00003800
ISN 0277		N4=INZ(L)-4	00003810
ISN 0278		ALL(N4)=0.5*(VAE-VAD)+CD*(UAE1+UAD1)+FNWY	00003820
ISN 0279		IC(L,N4)=1PE12+J	00003830
ISN 0280		N3=N4+1	00003840
ISN 0281		ALL(N3)=-0.25*(VAD)	00003850
ISN 0282		IC(L,N3)=1PE12+JVD(IVD(J))	00003860
ISN 0283		N2=N3+1	00003870
ISN 0284		ALL(N2)=0.25*(VAE)	00003880
ISN 0285		IC(L,N2)=1PE12+JVE(IVE(J))	00003890
ISN 0286		35 N1=N2+1	00003900
ISN 0287		ALL(N1)=C1	00003910
ISN 0288		IC(L,N1)=1PER1+IVE(J)	00003920
ISN 0289		N0=N1+1	00003930
ISN 0290		ALL(N0)=-C1	00003940
ISN 0291		IC(L,N0)=1PER1+IVD(J)	00003950
ISN 0292		U(L)=-GY*CLY(J)	00003960
ISN 0293		L=L+1	00003970
ISN 0294		15 CONTINUE	00003980
	C		00003990
	C	**** EQ. DO MOMENTO NA DIRECAO Z ****	00004000
	C		00004010
ISN 0295		DJ 14 J=1, JJW	00004020
ISN 0296		C2=00*CLZ(J)	00004030
ISN 0297		J6=JWB(IVB(J))	00004040

```

15N 0298      JC=JWC(IVC(J))                00004050
15N 0299      WAB=AA(J,I)                00004060
15N 0300      IF(JB=AA(J)WAB=AA(JB,I)    00004070
15N 0301      IF(JC=AA(J)WAC=AA(JC,I)    00004080
15N 0302      UAB=UA(IVB(J),I)          00004090
15N 0303      UAC=UA(IVC(J),I)          00004100
15N 0304      UAB1=UA(IVB(J),I+1)        00004110
15N 0305      UAC1=UA(IVC(J),I+1)        00004120
15N 0306      FZ=CRDSSFLAWJ,DET,DEW,V[SC] 00004130
15N 0307      FNRZ=.5*FZ*ONZ(IJ)*ABS(WAB) 00004140
15N 0308      IF(IVB(I)GO TO 56          00004150
15N 0309      INZ(L)=1                    00004160
15N 0310      A(L,I)=-CE*(UAB+UAC)        00004170
15N 0311      IC(L,I)=(PEIJ+J)           00004180
15N 0312      GO TO 57                    00004190
15N 0313      56 INZ(L)=0                 00004200
15N 0314      57 INZ(L)=(IIPJ+J)          00004210
15N 0315      GO TO(51,52,53,54),INZ(L)  00004220
C
C      * MOM. 2 P/ JUNCAO TIPO 1 *
C
15N 0316      51 INZ(L)=INZ(L)+4          00004230
15N 0317      N3=INZ(L)-3                00004240
15N 0318      A(L,N3)=0.5*WAB*CE*(UAB1+UAC1)+FNRZ 00004250
15N 0319      IC(L,N3)=(PEIJ+J)          00004260
15N 0320      N2=N3+1                    00004270
15N 0321      A(L,N2)=0.25*(WAB)         00004280
15N 0322      IC(L,N2)=(PEIJ+JWB1(IVB(J))) 00004290
15N 0323      GO TO 58                    00004300
C
C      * MOM. 2 P/ JUNCAO TIPO 2 *
C
15N 0324      52 INZ(L)=INZ(L)+4          00004310
15N 0325      N3=INZ(L)-3                00004320
15N 0326      A(L,N3)=-0.5*WAC+CE*(UAB1+UAC1)+FNRZ 00004330
15N 0327      IC(L,N3)=(PEIJ+J)          00004340
15N 0328      N2=N3+1                    00004350
15N 0329      A(L,N2)=-0.25*(WAC)        00004360
15N 0330      IC(L,N2)=(PEIJ+JWC(IVC(J))) 00004370
15N 0331      GO TO 58                    00004380
C
C      * MOM. 2 P/ JUNCAO TIPO 3 *
C
15N 0332      53 INZ(L)=INZ(L)+3          00004390
15N 0333      N2=INZ(L)-2                00004400
15N 0334      A(L,N2)=CE*(UAB1+UAC1)+FNRZ 00004410
15N 0335      IC(L,N2)=(PEIJ+J)          00004420
15N 0336      GO TO 58                    00004430
C
C      * MOM. 2 P/ JUNCAO TIPO 4 (REGULAR) *
C
15N 0337      54 INZ(L)=INZ(L)+5          00004440
15N 0338      N4=INZ(L)-4                00004450
15N 0339      A(L,N4)=0.5*(WAB+WAC)+CE*(UAB1+UAC1)+FNRZ 00004460
15N 0340      IC(L,N4)=(PEIJ+J)          00004470
15N 0341      N3=N4+1                    00004480
15N 0342      A(L,N3)=-0.25*(WAC)        00004490
15N 0343      IC(L,N3)=(PEIJ+JWC(IVC(J))) 00004500
15N 0344      GO TO 58                    00004510
15N 0345      GO TO 58                    00004520
15N 0346      GO TO 58                    00004530

```

```

ISN 0347      N2=N3+1
ISN 0348      A(L,N2)=D.25* (WAB)
ISN 0349      IC(L,N2)=(PE1J+JWB(I*V(J)))
ISN 0350      58 N1=N2+1
ISN 0351      A(L,N1)=C1
ISN 0352      IC(L,N1)=(PER1+IVB(I))
ISN 0353      ND=N1+1
ISN 0354      A(L,ND)=-C1
ISN 0355      IC(L,ND)=(PER1+IVC(J))
ISN 0356      B(L)=-GZ*CLZ(J)
ISN 0357      L=L+1
ISN 0358      14 CONTINUE
ISN 0359      8 CONTINUE

C
C**** EQ. DO MOMENTO X NA CHICANA ****
C
ISN 0360      IPE11=I11*IPE1
ISN 0361      IPE1IV=IPE11+IV
ISN 0362      IPE112=IPE11+IIV2
ISN 0363      DJ 15 IV=1,11V
ISN 0364      AAX=AX(I*V)/ARC(I*V)
ISN 0365      UAI=AAK*ABS(UAI*IV,I11)
ISN 0366      OH=OHG(I*V)
ISN 0367      IREG=AREG(I*V)
ISN 0368      FX=FAFKOM(UAI,OH,DEN,VISC,IREG,DX(I11))
ISN 0369      A(L,1)=-1.
ISN 0370      IC(L,1)=IPE11+IV
ISN 0371      A(L,2)=1.
ISN 0372      IC(L,2)=IPE112+IV
ISN 0373      A(L,3)=C11*IV**X*UAI*AAK
ISN 0374      IC(L,3)=IPE11V+IV
ISN 0375      INZ(L)=3
ISN 0376      A(L)=-ZL*C11*V*DX(I11)*GX
ISN 0377      L=L+1
ISN 0378      15 CONTINUE

C
C**** EQUALIZACAO DAS VELOCIDADES U NOS NIVEIS I E II ****
C
ISN 0379      DJ 15 IV=1,11V1
ISN 0380      IV0=IVS(IV)
ISN 0381      A(L,1)=1.
ISN 0382      IC(L,1)=IIV+IV0
ISN 0383      A(L,2)=-1.
ISN 0384      IC(L,2)=(PE1IV+IV)
ISN 0385      INZ(L)=2
ISN 0386      B(L)=0.
ISN 0387      L=L+1
ISN 0388      16 CONTINUE

C
C      CONSERVACAO DE MASSA NO PLANO II
C
ISN 0389      DJ 92 I=1,11V
ISN 0390      A(L,1)=AX(I)
ISN 0391      IC(L,1)=IPE1IV+I
ISN 0392      92 CONTINUE
ISN 0393      INZ(L)=11V
ISN 0394      B(L)=F
ISN 0395      L=L+1

```

```

00004630
00004640
00004650
00004660
00004670
00004680
00004690
00004700
00004710
00004720
00004730
00004740
00004750
00004760
00004770
00004780
00004790
00004800
00004810
00004820
00004830
00004840
00004850
00004860
00004870
00004880
00004890
00004900
00004910
00004920
00004930
00004940
00004950
00004960
00004970
00004980
00004990
0005000
0005010
0005020
0005030
0005040
0005050
0005060
0005070
0005080
0005090
0005100
0005110
0005120
0005130
0005140
0005150
0005160
0005170
0005180
0005190
0005200

```

```

C
C**** EQUALIZACAO DA PERDA DE CARGA NAS CHICANAS ****
C
ISN 0396          DO 17 IV=1,IV          00005210
C
C
C
C
ISN 0397          NN=JVE(IV)            00005220
ISN 0398          IF(NN.EQ.0)GO TO 18    00005230
ISN 0400          A(L,1)=1.              00005240
ISN 0401          A(L,2)=-1.            00005250
ISN 0402          IC(L,2)=IPE(12)+IVE(JVE(IV)) 00005260
ISN 0403          A(L,3)=-1.            00005270
ISN 0404          IC(L,3)=IPE(12)+IV     00005280
C
C
C
C
ISN 0405          * DIFERENCA DE PRESSOES NA DIRECAO Y * I1=I1+1 * 00005290
ISN 0406          IC(L,3)=IVE(JSIV(JVE(IV))) 00005300
ISN 0407          A(L,4)=1.              00005310
ISN 0408          IC(L,4)=IVD(JSIV(JVE(IV))) 00005320
ISN 0409          INZ(L)=4               00005330
ISN 0410          B(L)=0.                00005340
ISN 0410          GO TO 19                00005350
C
C
C
C
ISN 0411          * DIFERENCA DE PRESSOES NA DIRECAO Z * 00005360
ISN 0412          18 NN=JAC(IV)          00005370
ISN 0413          IF(NN.EQ.0)GO TO 20    00005380
ISN 0414          A(L,1)=1.              00005390
ISN 0415          IC(L,1)=IPE(12)+IV     00005400
ISN 0416          A(L,2)=-1.            00005410
ISN 0417          IC(L,2)=IPE(12)+IVC(JAC(IV)) 00005420
ISN 0418          A(L,3)=-1.            00005430
ISN 0419          IC(L,3)=IVD(JSIV(JVD(IV))) 00005440
ISN 0420          A(L,4)=1.              00005450
ISN 0421          IC(L,4)=IVC(JSIV(JAC(IV))) 00005460
ISN 0422          INZ(L)=4               00005470
ISN 0423          B(L)=0.                00005480
ISN 0424          GO TO 19                00005490
C
C
C
C
ISN 0425          * PRESSAO INICIAL IPO,NO NIVEL I1+1 * 00005500
ISN 0426          20 A(L,1)=1.           00005510
ISN 0427          IC(L,1)=IPE(12)+IV     00005520
ISN 0428          INZ(L)=1               00005530
ISN 0429          B(L)=PO                00005540
ISN 0429          IVP,1=IV               00005550
ISN 0430          19 L=L+1                00005560
ISN 0431          17 CONTINUE            00005570
ISN 0432          N2M=0                  00005580
ISN 0433          CALL MASP1 (NTOT,TOL,IS,N2M,KNI) 00005590
ISN 0434          I1ER=I1ER+1            00005600
C
C
C
C
C**** ARMAZENAMENTO DOS RESULTADOS DA MATRIZ ****
C****
C****
ISN 0435          I1CNP=0                00005700
ISN 0436          DO 23 I=1,I1          00005710
ISN 0437          I1PER=I1PER*(I-1)      00005720
ISN 0438          DO 29 IV=1,IV         00005730
ISN 0439          I1OTA=I1PER(1)+IV     00005740
ISN 0440          P(IV,I1)*X(I1OTA)      00005750

```

ISN 0441	IOTA=IOTA+IV	00005790
ISN 0442	U(IV,1)=X(IOTA)	00005800
ISN 0443	DELTA=ABS(U(IV,1)-U(IV,1))/U(IV,1)	00005810
ISN 0444	IF(DELTA-TOLE)29,29,46	00005820
ISN 0445	45 ICOMP=ICOMP+1	00005830
ISN 0446	29 CONTINUE	00005840
ISN 0447	28 CONTINUE	00005850
ISN 0448	I=I+1	00005860
ISN 0449	IOTA=IPER*I1-JJV-JJW	00005870
ISN 0450	DO 30 IV=1,11V	00005880
ISN 0451	IOT=IOTA+IV	00005890
ISN 0452	P(IV,1)=X(IOT)	00005900
ISN 0453	30 CONTINUE	00005910
ISN 0454	DO 35 I=1,111	00005920
ISN 0455	IPER1=IPER*(1-I)+IIV2	00005930
ISN 0456	DO 45 J=1,JJV	00005940
ISN 0457	IOTA=IPER1+J	00005950
ISN 0458	V(J,1)=X(IOTA)	00005960
ISN 0459	45 CONTINUE	00005970
ISN 0460	IOTA=IPER1+JJV	00005980
ISN 0461	DO 46 J=1,JJW	00005990
ISN 0462	IOT=IOTA+J	00006000
ISN 0463	W(J,1)=X(IOT)	00006010
ISN 0464	46 CONTINUE	00006020
ISN 0465	35 CONTINUE	00006030
ISN 0466	IF(IIT)4-1MAX166,67,67	00006040
ISN 0467	66 IF(ICOMP-ICM)68,68,65	00006050
ISN 0468	65 DO 59 I=1,11	00006060
ISN 0469	DO 71 IV=1,11V	00006070
ISN 0470	U(IV,1)=POND*U(IV,1)+APOND*U(IV,1)	00006080
ISN 0471	71 CONTINUE	00006090
ISN 0472	69 CONTINUE	00006100
ISN 0473	DO 72 I=1,111	00006110
ISN 0474	DO 73 J=1,JJV	00006120
ISN 0475	V(J,1)=POND*V(J,1)+APOND*V(J,1)	00006130
ISN 0476	73 CONTINUE	00006140
ISN 0477	DO 74 J=1,JJW	00006150
ISN 0478	W(J,1)=POND*W(J,1)+APOND*W(J,1)	00006160
ISN 0479	74 CONTINUE	00006170
ISN 0480	72 CONTINUE	00006180
ISN 0481	DO 10 75	00006190
ISN 0482	67 WRITE(6,100)ITER,NZM	00006200
ISN 0483	WRITE(6,200)	00006210
ISN 0484	GO TO 76	00006220
ISN 0485	66 WRITE(6,100)ITER,NZM	00006230
ISN 0486	WRITE(6,300)ITULE	00006240
ISN 0487	76 WRITE(6,110)	00006250
ISN 0488	SUMP1=0.	00006260
ISN 0489	SUMPU=0.	00006270
ISN 0490	DO 77 IV=1,11V	00006280
ISN 0491	WRITE(6,120)IV,(P(IV,1),I=1,IIM1)	00006290
ISN 0492	IF(IV.EQ.1VPO)WRITE(6,121)	00006300
ISN 0493	SUMP1=SUMP1+P(IV,1)	00006310
ISN 0494	SUMPU=SUMPU+P(IV,IIM1)	00006320
ISN 0495	77 CONTINUE	00006330
ISN 0496	XMED1=SUMP1/11V	00006340
ISN 0497	XMEDU=SUMPU/11V	00006350
ISN 0498	DIFP=XMED1-XMEDU	00006360

```

ISN 0500      WRITE(6,111)XMED1,XMEDU,DIFP
ISN 0501      WRITE(6,140)
ISN 0502      F = .D
00006370
00006380
00006390
00006400
00006410
00006420
00006430
00006440
00006450
00006460
00006470
00006480
00006490
00006500
00006510
00006520
00006530
00006540
00006550
00006560
00006570
00006580
00006590
00006600
00006610
00006620
00006630
00006640
00006650
00006660
00006670
00006680
00006690
00006700
00006710
00006720
00006730
00006740
00006750
00006760
00006770
00006780
00006790
00006800
C
C**** REAVALIACAO DA VAZAO VOLUMETRICA - F (M**3/S)
C
DO 78 IV=1,IV
U1(=J(IV,I))
FXU=U1[*AX(IV)
WRITE(6,120)IV,(U(IV,I),I=1,I1),FXU
F = F + FXU
78 CONTINUE
WRITE(6,160)
DO 79 J=1,JJV
WRITE(6,170)U,(V(J,I),I=1,I11)
79 CONTINUE
WRITE(6,180)
DO 80 J=1,JJW
WRITE(6,190)U,(W(J,I),I=1,I11)
80 CONTINUE
RETURN
C
C**** FORMATUS DE IMPRESSAO ****
C
100 FORMAT(1',1X,'ITERACAO ',12,5X,'N2M=',13)
110 FORMAT(1',52X,' PRESSUES ',//,2X,'VOLUME',4X,'NIVEL**I=1',4X,
: 'NIVEL**I=2',4X,'NIVEL**I=3',4X,'NIVEL**I=4',4X,'NIVEL**I=5',4X,
: 'NIVEL**I=6')
111 FORMAT(7,2X,'MEDIAS',4X,E10.4,60X,E10.4,/,2X,
: 'PERDA DE CARGA TOTAL =',E10.4)
120 FORMAT(10',3X,12,2X,6(4X,E10.4))
121 FORMAT(1',55X,'**PU**')
140 FORMAT(1',49X,'** VELOCIDADES AXIAIS (U) **',//,2X,'VOLUME',4X,
: 'NIVEL**I=1',4X,'NIVEL**I=2',4X,'NIVEL**I=3',4X,'NIVEL**I=4',4X,
: 'NIVEL**I=5',4X,'VAZAO M3/S')
160 FORMAT(1',49X,'** VELOCIDADES TRANS. (V) **',//,2X,'JUNCAO',4X,
: 'NIVEL**I=1',4X,'NIVEL**I=2',4X,'NIVEL**I=3',4X,'NIVEL**I=4')
170 FORMAT(10',3X,12,2X,6(4X,E10.4))
180 FORMAT(1',49X,'** VELOCIDADES TRANS. W **',//,2X,'JUNCAO',4X,
: 'NIVEL**I=1',4X,'NIVEL**I=2',4X,'NIVEL**I=3',4X,'NIVEL**I=4')
190 FORMAT(7,3X,12,2X,6(4X,E10.4))
200 FORMAT(//,1X,'LIMITE DE ITERACOES ATINGIDO')
300 FORMAT(//,1X,'ATINGIDA A TOLERANCIA (INDICADA ** TOLE=',E6.1)
END
00006810
00006820
00006830
00006840
00006850
00006860
00006870
00006880
00006890
00006900
00006910
00006920
00006930
00006940
00006950
00006960
00006970
00006980
00006990

```


NÍVEL 21.7 (JAN 73)

05/360 FORTRAN 4

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=02,LINCONT=60,SIZE=0000N,
SOURCE,ENCOD,NDLIST,NDOECK,LDAD,MAP,NREDIT,NDID,XREF

```

C*****0000010
C*                                *0000020
C*                                *0000030
C*                                *0000040
C*  DISTRIBUICAO DE VELOCIDADES EM UM TROCADIA DE CALOR DE CARACA *0000050
C*  E TUBOS COM CHICANAS DE SEGMENTOS DE PLACAS *0000060
C*                                *0000070
C*****0000080
C                                0000090
C|-----|0000100
C|  - IDENTIFICACAO DO ROTULO DOS COMANDOS COMMON - |0000110
C|-----|0000120
C| ROTULO | BLOCOS LIGADOS PELO COMMON |0000130
C|-----|0000140
C| /LGDOM/ | BLOCK - GEOMET - CHICAN - DISVEL - UGLOBL - MAIN |0000150
C| /GDM / | GEOMET - DISVEL - MAIN |0000160
C| /DJM / | DISVEL - UGLOBL - MAIN |0000170
C| /GDM / | GEOMET - CHICAN - DISVEL - MAIN |0000180
C| /GCO / | GEOMET - CHICAN - DISVEL |0000190
C| /CD / | CHICAN - DISVEL |0000200
C| /DU / | DISVEL - UGLOBL |0000210
C|-----|0000220
C| VAR. DIMENSAO | REPRESENTA | UNIDADE |0000230
C|-----|0000240
C| LCHIC (NCHIC) | CONSTANTE AUXILIAR | |0000250
C| UA (11V,11TOT) | COMPON. AXIAL DE VELOCIDADE (DIR - X) | M / S |0000260
C| VA (11JV,11TOT) | COMPON. TRANSVERSAL DE VELOC. (DIR - Y) | M / S |0000270
C| WA (11JW,11TOT) | COMPON. TRANSVERSAL DE VELOC. (DIR - Z) | M / S |0000280
C|-----|0000290
C                                0000300
C  SUBROTINE DISVEL (11,11TOT,11V,11VPO,11JV,11JW,NCHIC,PRD) 0000310
C                                0000320
C  COMMON /GD / DX(13) 0000330
C  COMMON /DU / LCHIC(3) 0000340
C  COMMON /GO / U(16,5),V(13,4),W(10,4) 0000350
C  COMMON /GDM / A1(13,13),A2(10,13) 0000360
C  COMMON /GDM / UA(16,14),VA(13,13),WA(10,13) 0000370
C  COMMON /GCO / JS1V(13),JS1W(10),11 0000380
C  COMMON /GDM / AX(16),1VE(13),1VD(13),1V3(10),1VC(10) 0000390
C  COMMON /LGDOM/ JVE(16),JVD(16),JW(16),JWC(16),1VS(16) 0000400
C                                0000410
C----- VELOCIDADES AXIAIS UA(11,1) - TODOS OS NIVEIS -----0000420
C                                0000430
C  IM1 = 11TOT + 1 0000440
C  DU 71 1V=1,11V 0000450
C  UA(11V,1) = .0 0000460
C  UA(11V,IM1) = .0 0000470
C  DU 72 N=1,NCHIC 0000480
C  NL=2*11*(N-1) 0000490
C  LCHIC(N)=NL 0000500
C  NN=N/2 0000510
C  NN=N-NN-NN 0000520
C  IF (NN)74,73,74 0000530
C  73 UA(11V,NL)=U(1VS(11V),1) 0000540
C  IF (N - NCHIC)8,83,83 0000550
C  8 DO 75 1*2,111 0000560
    
```

15N 0002
15N 0003
15N 0004
15N 0005
15N 0006
15N 0007
15N 0008
15N 0009
15N 0010

15N 0011
15N 0012
15N 0013
15N 0014
15N 0015
15N 0016
15N 0017
15N 0018
15N 0019
15N 0020
15N 0021
15N 0022
15N 0023


```

ISN 0073      IF (JVD(IV).NE.0)XMA=VA(JVD(IV),1)*AY(JVD(IV),1)      00001150
ISN 0075      VA(JVE(IV),1)=-PRD*(UA(IV,2)*AX(IV)-XMA)/AY(JVE(IV),1)  00001160
ISN 0076      WA(JWB(IV),1)=(PRD-1.)*(UA(IV,2)*AX(IV)-XMA)/AZ(JWB(IV),1)  00001170
ISN 0077      NV=IV      00001180
ISN 0078      IV=JVC(JWB(IV))      00001190
ISN 0079      VA(JVE(IV),1)=-UA(IV,2)*AX(IV)-WA(JWB(IV),1)*AZ(JVC(IV),1))/  00001200
      :AY(JVE(IV),1)      00001210
ISN 0080      IV=JVE(JVE(IV))      00001220
ISN 0081      IF (JWB(IV))1,2,1      00001230
ISN 0082      2 WA(JWC(IV),1)=0.      00001240
ISN 0083      XMA=0.      00001250
ISN 0084      IF (JWB(IV).NE.0)XMA=WA(JWB(IV),1)*AZ(JWB(IV),1)      00001260
ISN 0086      VA(JVE(IV),1)=-UA(IV,2)*AX(IV)-VA(JVD(IV),1)*AY(JVD(IV),1)*XMA)/  00001270
      :AY(JVE(IV),1)      00001280
ISN 0087      IV=JVE(JVE(IV))      00001290
ISN 0088      IF (JVE(IV))2,3,2      00001300
ISN 0089      3 WA(JWC(IV),1)=(UA(IV,2)*AX(IV)-VA(JVD(IV),1)*AY(JVD(IV),1))/  00001310
      :AZ(JWC(IV),1)      00001320
ISN 0090      IF (JWC(NV).NE.0)WA(JWC(NV),1)=0.      00001330
ISN 0092      IV=JVE(JVE(NV))      00001340
ISN 0093      IF (JWC(NV).NE.0)NV=JVC(JWC(NV))      00001350
ISN 0095      IF (JVD(NV).NE.0)NV=JVD(JVD(NV))      00001360
ISN 0097      IF (JWC(IV))2,4,2      00001370
ISN 0098      4 VA(JVE(IV),1)=-UA(IV,2)*AX(IV)-VA(JVD(IV),1)*AY(JVD(IV),1)/  00001380
      :AY(JVE(IV),1)      00001390
ISN 0099      IV=JVS(JVE(IV))      00001400
ISN 0100      IF (JVE(IV))4,5,4      00001410
ISN 0101      5 JIFX=DX(1)/DX(1TOT)      00001420
ISN 0102      ISIG=4      00001430
ISN 0103      NN=NCM1/2      00001440
ISN 0104      REST=NN+NN-NCM1C      00001450
ISN 0105      IF (REST.NE.0)ISIG=-1      00001460
ISN 0107      I=1TOT      00001470
ISN 0108      COR=ISIG*OIFX      00001480
ISN 0109      DO 6 J=1,JJY      00001490
ISN 0110      6 VA(J,1)=COR*VA(J,1)      00001500
ISN 0111      DO 7 J=1,JJX      00001510
ISN 0112      7 WA(J,1)=COR*WA(J,1)      00001520
ISN 0113      WRITE(6,401)(1,I=1,1TOT)      00001530
ISN 0114      DO 46 IV=1,1IV      00001540
ISN 0115      WRITE(6,400)IV,UA(IV,1),I=1,1TOT)      00001550
ISN 0116      46 CONTINUE      00001560
ISN 0117      WRITE(6,402)(1,I=1,1TOT)      00001570
ISN 0118      DO 47 J=1,JJY      00001580
ISN 0119      WRITE(6,400)J,VA(J,1),I=1,1TOT)      00001590
ISN 0120      47 CONTINUE      00001600
ISN 0121      WRITE(6,403)(1,I=1,1TOT)      00001610
ISN 0122      DO 48 J=1,JJX      00001620
ISN 0123      WRITE(6,400)J,(WA(J,1),I=1,1TOT)      00001630
ISN 0124      48 CONTINUE      00001640
ISN 0125      RETURN      00001650
C      00001660
C----- FORMATOS DE IMPRESSAO ----- 00001670
C      00001680
ISN 0126      400 FORMAT(7,1X,12,13(1X,E9,3))      00001690
ISN 0127      401 FORMAT('1',1X,'VELOCIDADES AXIAIS UA',7,3X,13(1X,'NIVEL ',12))  00001700
ISN 0128      402 FORMAT('1',1X,'VELOCIDADES TRANSVERSAIS VA',7,3X,13(1X,'NIVEL ',  00001710
      :12))      00001720
ISN 0129      403 FORMAT('1',1X,'VELOCIDADES TRANSVERSAIS WA',7,3X,13(1X,'NIVEL ',  00001730
      :12))      00001740
ISN 0130      END      00001750

```

LEVEL 21.7 1 JAN 73 1

DS/360 FORTRAN K

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=02,LINECNT=60,SIZE=0000,
SOURCE,EBCDIC,NOLIST,NODECK,LOAD,MAP,NODEIT,NODI,XREF

```

*****00000010
C*                                *00000020
C*          * SUBROTINA BYPASS *   *00000030
C*                                *00000040
C*          DISTRIBUICAO DE VELOCIDADES EM UM FEIXE DE TUBOS *00000050
C*                                *00000060
*****00000070
C|-----|00000080
C|          - IDENTIFICACAO DO ROTULO DOS COMANDOS COMMON - |00000090
C|-----|00000100
C| ROTULO | BLOCOS LIGADOS PELO COMMON |00000110
C|-----|00000120
C| /BLBP / | BLOCK - BYPASS |00000130
C| /BLMBP / | BLOCK - MAIN - BYPASS |00000140
C| /BLGMP / | BLOCK - GEOMET - BYPASS |00000150
C| /BLMGMP / | BLOCK - MAIN - GEOMET - BYPASS |00000160
C| /MBP / | MAIN - BYPASS |00000170
C| /MBPM / | GEOMET - BYPASS - MAIN |00000180
C| /MMPU / | MAIN - BYPASS - UGLDGL |00000190
C| /GMP / | GEOMET - BYPASS |00000200
C| /MSGMP / | MASPI - CHICAN - BYPASS |00000210
C|-----|00000220
C| VAR. (DIMENSÃO) | REPRESENTA | UNIDADE |00000230
C|-----|00000240
C| NTOT | NUMERO TOTAL DE EQUACOES - CHICAN | |00000250
C| | NTOT=(I1-I2)*I2*I1V+J1V+J2K)+3*I1V | |00000260
C| A (NTOT,I1V) | MATRIZ DOS COEFICIENTES DAS EQUACOES | |00000270
C| IC (NTOT,I1V) | NUM. DA COLUNA DA MATRIZ OCUPADA PELO ELEM | |00000280
C| INZ(NTOT) | NUM. DE ELEMENTOS DA LINHA | |00000290
C| B (NTOT) | MATRIZ B DAS EQUACOES | |00000300
C| X (NTOT) | RESULTADO (MASPI) | |00000310
C| VIA (NLY) | VETOR AUXILIAR DE VELOCIDADE NOS TUBOS | M / S |00000320
C|-----|00000330
C |00000340
15N 0002 SUBROUTINE BYPASS (I1V,NLY,ITER0,MBP,P1,P2,DIT) 00000350
C |00000360
15N 0003 COMMON /MBP / VT(I),VBP,IMED,PMED,C1,C7,C8, 00000370
: |00000380
: | C9,LA ,VISCH,RDH,NLU,NLO 00000390
15N 0004 COMMON /MMPU / VM(16) 00000400
15N 0005 COMMON /BLBP / TOLA,TJLE,(MAX,158 00000410
15N 0006 COMMON /GMP / ZTV(16) 00000420
15N 0007 COMMON /MBPM / CORPM( 7) 00000430
15N 0008 COMMON /BLGMP / ZTL(16,7),NYT(16),LY(16,7) 00000440
15N 0009 COMMON /BLMGMP / LA0J(16),ZTUS (7) 00000450
15N 0010 COMMON /MSGMP / A(268,16),B(268),X(268),IC(268,16),INZ(268) 00000460
C |00000470
15N 0011 DIMENSION VIA(7) 00000480
15N 0012 DOUBLE PRECISION A,B,X 00000490
15N 0013 INTEGER*2 IC,INZ 00000500
C |00000510
C----- INICIALIZACAO -----|00000520
C |00000530
15N 0014 ITER=0 00000540
15N 0015 DO 1 I=1,NLY 00000550
15N 0016 1 VIA(I)=VT(I) 00000560
15N 0017 V0A=VBP 00000570

```

```

C
C----- MONTAGEM DA MATRIZ DO SISTEMA -----
C
28 PMED=15*(P1+P2)
DENH=AMONEL(PMED,TMED)
L2=C77/DENH
L4=P1*C2
C5=C87/DENH
C6=C97/DENH
C
C----- CONSERVACAO DO 'MOMENTUM' NOS TUBOS -----
C
DO 10 L=1,NLY
VTL=A6S(VTAIL)
FA=FAFNIC(VTL,DIT,DENH,VISCH)
INZ(L)=2
B(L)=C4
ALL(1)=FA*VTL*CCMPRIL
IC(L,1)=L
ALL(2)=C2
10 IC(L,2)=NLU
C
C----- CONSERVACAO DO 'MOMENTUM' NO BYPASS -----
C
IF(A6P)12,12,11
11 INZ(L)=2
V8=ASS(V8A)
FA=FAFRIA(V8,ROH,VISCH)
ALL(1)=C1
IL(L,1)=NLU
ALL(2)=FA*ROH*V8
IC(L,2)=NLU
B(L)=C4
C=L+1
C
C----- CONSERVACAO DE MASSA -----
C
12 DO 13 L=1,NLY
ALL(1)=ZTURB(L)
13 IC(L,1)=I
INZ(L)=NLY
IF(A6P)15,15,14
14 INZ(L)=NLU
ALL(NLU)=C5
IC(L,NLU)=NLU
15 B(L)=C6
NZM=1
C
C----- SOLUCAO DO SISTEMA -----
C
CALL MASPI(L,TOLA,ISB,NZH,KN)
ITERB=ITERB+1
ITER=ITER+1
ICOMP=0
C
C----- ARMAZENAMENTO DOS RESULTADOS -----
C
DO 20 N=1,NLY

```

```

15N 0058      VT(N)=X(N)                                00001150
15N 0059      DELT=ABS((VT(N)-VTA(N))/VT(N))          00001160
15N 0060      VTA(N)=(VT(N)+VTA(N))*5                00001170
15N 0061      IF(DELTA-TOLC)20,20,21                  00001180
15N 0062      21 ICOMP=ICOMP+1                          00001190
15N 0063      20 CONTINUE                               00001200
15N 0064      P2=X(NC0)                                 00001210
15N 0065      IF(ASP)25,25,22                          00001220
15N 0066      22 VBP=X(NLD)                             00001230
15N 0067      DELT=ABS((VBP-VBA)/VBP)                 00001240
15N 0068      VBA=.5*(VBA+VBP)                        00001250
15N 0069      IF(DELTA-TOLC)25,25,24                  00001260
15N 0070      24 ICOMP=ICOMP+1                          00001270
15N 0071      25 IF(ICOMP)26,27,26                     00001280
15N 0072      26 IF(ITER-IMAX)26,27,27                 00001290
C-----
C----- CALCULO DAS VELOCIDADES MEDIAS NOS VOLUMES ----- 00001300
C-----
C-----
27 DO 8 IV=1,1IV
15N 0073      VPT=0.
15N 0074      N=NYE(IV)
15N 0075      DO 7 N1=1,N
15N 0076      7 VPT=VPT+ZT(L(IV,N))*VE(LY(IV,N))
15N 0077      VHL(IV)=VPT/ZTY(IV)
15N 0078      6 IF(FLAG(IV).EQ.1)VHL(IV)=-VHL(IV)
15N 0079      PMED = .5 * (P1 + P2)
15N 0080      RETURN
15N 0081      END
15N 0082
15N 0083

```

LEVEL 21.7 (JAN 73)

05/360 FORTRAN 3

COMPILER OPTIONS - NAME= MAIN,OPT=02,LINENO=50,SIZE=0000K,
SOURCE=F50010,NOLIST,Y00ELK,000,MAP,N0001T,N010,XREF

```

C*****#0000010
C#0000020
C#0000030
C#0000040
C#0000050
C#0000060
C#0000070
C*****#0000080
C-----|0000090
C| - IDENTIFICACAO DO NUMERO DOS COMANDOS COMMON - |0000100
C-----|0000110
C| ROTELO | BLOCOS ALIADOS PELO COMMON |0000120
C-----|0000130
C| ZBLU / | BLOC - UGLOBL |0000140
C| ZBLGU / | BLOC - GEOMET - CHICAN - UGLOBL |0000150
C| ZBLGUM / | BLOC - GEOMET - UGLOBL - MAIN |0000160
C| ZBLGUM/ | BLOC - GEOMET - CHICAN - DISVEL - UGLOBL - MAIN |0000170
C| ZUM / | UGLOBL - MAIN |0000180
C| ZUM / | DISVEL - UGLOBL - MAIN |0000190
C| ZYSPU / | MAIN - BYPASS - UGLOBL |0000200
C| ZU / | GEOMET - UGLOBL |0000210
C| ZGU / | GEOMET - CHICAN - UGLOBL |0000220
C| ZU / | DISVEL - UGLOBL |0000230
C-----|0000240
C| VALDIMENSAM | REPRESENTA | UNIDADE |0000250
C-----|0000260
C| 14 | TIV,ITOTI | TEMP. MEDIA DO VOL. DE CONTROLE-CARGACA | G. C. |0000270
C| 14 | TIV,ITOTI | TEMP. MEDIA DO VOL. DE CONTROLE-TUOS | G. C. |0000280
C| CONVEA(14,111) | COEF. DE TROCA DE CALOR - CARGACA | W/M**2.K |0000290
C| CONVEA(14,112) | COEF. DE TROCA DE CALOR - TUOS | W/M**2.K |0000300
C| UGLOB (14,113) | COEF. GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR | W/M**2.K |0000310
C-----|0000320
C |0000330
C SUBROUTINE UGLOBL (ITOTI,ITV,ITPD,NCHIC,PMED,CPA,CPH,RHO,DENI) |0000340
C |0000350
C COMMON ZUM / UGLOBL(16,13),TAT(16,13),TAT(16,13), |0000360
C |0000370
C COMMON ZU / UGLOBL(16,13),CONVEA(16,13) |0000380
C COMMON ZU / UGLOBL(16,13),CONVEA(16,13) |0000390
C COMMON ZBLU / UGLOBL(16,13),CONVEA(16,13) |0000400
C COMMON ZBLGU / UGLOBL(16,13),CONVEA(16,13) |0000410
C COMMON ZBLGUM / UGLOBL(16,13),CONVEA(16,13) |0000420
C COMMON ZYSPU / UGLOBL(16,13),CONVEA(16,13) |0000430
C COMMON ZU / UGLOBL(16,13),CONVEA(16,13) |0000440
C COMMON ZBLGU / UGLOBL(16,13),CONVEA(16,13) |0000450
C COMMON ZBLGUM / UGLOBL(16,13),CONVEA(16,13) |0000460
C |0000470
C |0000480
C |0000490
C |0000500
C |0000510
C |0000520
C |0000530
C |0000540
C |0000550
C |0000560

```

```

15X 0021      AN=KXKAL(T(I),I)                00000070
15X 0022      PAT=AXM1/CPAYKA                00000060
15X 0023      CJ=KXKAL(X)                   00000050
15X 0024      PR=KXKAL(TIA)                 00000040
15X 0025      TR=KXKAL(T)                   00000030
C                                                    00000020
C**** CALCULO DO COEF. DE CONVECCAO PARA NIVEIS COM CHICANA
C
15X 0026      4 REYS=10*(TAD*(CAL(I),I)+DIX(CIV,I))*0.5 00000010
15X 0027      W=1/2                            00000000
15X 0028      AL=1/3*W                          00000000
15X 0029      T=0.5*W                            00000000
15X 0030      T1=T*(1.0+I)*D(I)*W*(1+I)        00000000
15X 0031      CONVA=KX*(CCHIC(I)*D(I)*REYB*PR)  00000000
15X 0032      T1=KX*(C(TAD*(CAL(I),I)+DIX(CIV,I))  00000010
15X 0033      CONVA=CONVA+KX*REYS/(CCHIC(I)*D(I)*  00000020
15X 0034      W=1.0*W                            00000030
C                                                    00000040
C**** CALCULO DO COEF. DE CONVECCAO PARA NIVEIS ENTRE CHICANAS
C
15X 0035      5 W=0.1                            00000060
15X 0036      W=0.1                            00000070
15X 0037      W=0.1                            00000070
15X 0038      W=0.1                            00000070
15X 0039      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000080
15X 0040      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0041      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0042      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0043      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0044      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0045      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0046      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0047      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0048      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0049      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0050      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0051      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0052      6 T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0053      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0054      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0055      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0056      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0057      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0058      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0059      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0060      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0061      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0062      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0063      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
15X 0064      T1=T*(1+I)*D(I)*W*(1+I)        00000090
C                                                    00000100
C**** CALCULO DO COEF. DE CONVECCAO DO FLUIDO NOS TUBOS
C
15X 0065      6 AN=KXKAL(T(I),I)                00000100
15X 0066      XY(I)=1/ISSH(T(I),I)            00000100
15X 0067      PAT=AXM1/CPH/AN*I*0.111        00000100
15X 0068      REYB=KX*(CCHIC(I)*D(I)*XY(I)*0.111/  00000100
15X 0069      CONVA=1.023*AN*REYB*PRIN/DIT    00000100
C                                                    00000100
C**** CALCULO DO COEF. GLOBAL DE TRANSMISSAO DE CALOR
C
15X 0070      CONV=0.001/CONVA+1./CONVA+BASEC  00000110
15X 0071      CONV(CIV,I)=1./CONV            00000110
15X 0072      CONVA(CIV,I)=CONVA            00000110
15X 0073      CONV(CIV,I)=CONV              00000110
15X 0074      3 CONTINUE                      00000110
15X 0075      1 CONTINUE                      00000110
15X 0076      W=0.001                          00000110
15X 0077      W=0

```



```

C-----
C1 * FUNÇÃO PARA CÁLCULO DA VISCOSIDADE DO FLUIDO DOS TUBOS *
C-----
C1 *
C1 *
C1 *
FUNCTION VISCOS(TEMP,DI)
DATA W/200.77,07000.7,07273.107
VISCOS=0.01743*(TEMP+200)
RETURN
END
C-----
C1 * FUNÇÃO PARA CÁLCULO DA VISCOSIDADE DO FLUIDO DOS TUBOS *
C-----
C1 *
C1 *
C1 *
FUNCTION VISCOS(TEMP)
DATA W/200.77,07273.107,07569.07,0707273.107
VISCOS=0.01743*(TEMP+200)+0.00007*(TEMP+200)**2
RETURN
END
C-----
C1 * FUNÇÃO PARA CÁLCULO DO FATOR DE ATRITO NO BY-PASS *
C-----
C1 *
C1 *
C1 *
FUNCTION FATORA (D,REY,VISC)
DATA W/1.48,0.00007
FATORA=0.0456*(D/REY)**0.25*(VISC/1000)**0.75
RETURN
END
C-----
C1 * CÁLCULO DO FATOR DE ATRITO NA DIREÇÃO AXIAL
C-----
C1 *
C1 *
C1 *
FUNCTION FATORA(ReY,DI,DE,VISC)
DATA W/1.48,0.00007
FATORA=0.0456*(DI/ReY)**0.25*(VISC/1000)**0.75
RETURN
END
C-----
C1 * FUNÇÃO PARA CÁLCULO DO FATOR DE ATRITO P/ FLUXO CROZADO
C-----
C1 *
C1 *
C1 *
FUNCTION CROSS(ReY,DI,DE,VISC)
DATA W/200.77,07000.7,07273.107,07569.07
K=CROSS*ABS(1-V/D)**0.5
FUNCTION FATORA(ReY,DI,DE,VISC)
DATA W/1.48,0.00007
FATORA=0.0456*(DI/ReY)**0.25*(VISC/1000)**0.75
RETURN
END
C-----
C1 * FUNÇÃO PARA CÁLCULO DO FATOR ATRITO NA CHICLONA
C-----
C1 *
C1 *
C1 *
FUNCTION FATORA(ReY,DI,DE,VISC,REG,KLI)
ReY=ReY*(DI+DE)**0.5/VISC
FAFRON = 0.0456 * (ReY ** 0.25 * (1-0.551) ** 0.75)
IF (ReY.GT.1000.) FAFRON = 16.75 * (ReY**(-1.3911))
IF (ReY.GT.1000.) FAFRON = 2.95 * (ReY**(-1.09))
IF (REG = 1) / 2.3
1 FAFRON=FAFRON*(DI,DE,VISC)*KLI/DR
RETURN
2 FAFRON = 1.05 * FAFRON
RETURN
3 FAFRON = 1.95 * FAFRON
RETURN
END

```

01	-----	00000720
01	-----	00000720
01	* FUNÇÃO PARA CÁLCULO DA DENSIDADE DO FLUÍDO DE CARGA	00000740
01	* ANOS (TEMP. EM GRAUS CELSIUS) AT/MS/M**21	00000750
01	-----	00000750
01	-----	00000770
	PARA: (DN ANO) (F)	00000780
	DATA: (7/23/2007, 07, 07/23/07, 0037357	00000790
	ANOS: (A*11+01)*L1	00000800
	ALTO:	00000810
	END	00000820
	-----	00000830
01	-----	00000830
01	* FUNÇÃO PARA CÁLCULO DA VISCOSIDADE DO FLUÍDO DE CARGA	00000850
01	* ANOS (TEMP. EM GRAUS CELSIUS) AT/MS/M**21	00000860
01	-----	00000870
01	-----	00000887
	PARA: (DN ANO) (F)	00000890
	DATA: (7/23/2007, 07, 07/23/07, 0037357, 07/23/07, 07/23/07	00000900
	ANOS: (A*11+01)*L1	00000910
	ALTO: (A*11+01)*L1	00000920
	ALTO: (A*11+01)*L1	00000930
	ALTO:	00000940
	END	00000950
	-----	00000960
01	-----	00000970
01	* FUNÇÃO PARA CÁLCULO DA CONDUTIV. TÉRMICA DO FLUÍDO DE CARGA	00000980
01	* ANOS (TEMP. EM GRAUS CELSIUS) AT/MS/M**21	00000990
01	-----	00001000
01	-----	00001010
	PARA: (DN ANO) (F)	00001020
	DATA: (7/23/2007, 07, 07/23/07, 0037357, 07/23/07, 07/23/07, 07/23/07	00001030
	ANOS: (A*11+01)*L1	00001040
	ALTO:	00001050
	END	00001060
	-----	00001070
01	-----	00001080
01	* FUNÇÃO PARA CÁLCULO DA CONDUTIV. TÉRMICA DOS TUBOS	00001090
01	* ANOS (TEMP. EM GRAUS CELSIUS) AT/MS/M**21	00001100
01	-----	00001110
01	-----	00001120
	PARA: (DN ANO) (F)	00001130
	DATA: (7/23/2007, 07, 07/23/07, 07/23/07, 07/23/07, 07/23/07, 07/23/07	00001140
	ANOS: (A*11+01)*L1	00001150
	ALTO: (A*11+01)*L1	00001160
	ALTO:	00001170
	END	00001180

```

00001190
01-----|00001200
02  FUNCOES PARA CALCULO DA AREA DO 'RAY-PASS'|00001210
03-----|00001220
04  FUNCTION AREAUP ( I,TEIA )|00001230
05|00001240
06  PASSO = PASSO DO PARAFUSO DE CONTROLE DO 'RAY-PASS' CMX|00001250
07  Z12 = DIMENSÃO DA BARRA DE ARTICULAÇÃO = L2 (CM)|00001260
08  X0 = DIST. DO EIXO DA ARTICULAÇÃO DO CHAPA = L1 (CM)|00001270
09  X1 = Z1|00001280
10  X2 = Z2|00001290
11  X3 = Z3|00001300
12  X4 = DIMENSÃO DA CHAPA|00001310
13  X5 = L1|00001320
14  X6 = L2|00001330
15  X7 = X6|00001340
16  X8 = Z1|00001350
17  X9 = Z2|00001360
18  X10 = X6|00001370
19  X11 = Z1|00001380
20  X12 = DIST. TOTAL DA CHAPA|00001390
21  X13 = DIMENSÃO DO EIXO DO CHAPA|00001400
22  X14 = DIMENSÃO DO RAY DO FURTO DO CHAPA|00001410
23  X15 = DIST. DO PIVÔ DA RAY FIXA NA CHAPA = R0 (CM)|00001420
24  TOLC = TOLERÂNCIA DE CONVERGÊNCIA|00001430
25  MAX = LIMITE DE ITERAÇÕES PARA METODO ITERATIVO|00001440
26  CONV = CONST. PARA CONVERTER RADIANOS PARA GRÁUS = 180/PI|00001450
27  CONV = CONST. PARA CONVERTER MM*2 PARA CM*2|00001460
28|00001470
29  AREA PASSO Z12/2, X12 /100., X1 /10., Z1 /10., Z2 /10., Z3 /10., Z4 /10.,|00001480
30  X0 /10., X5 /10., Y0 /10., Y1 /10., Y2 /10., X6 /10., X7 /10., X8 /10.,|00001490
31  X9 /10., X10 /10., X11 /10., X12 /10., X13 /10., X14 /10., X15 /10.,|00001500
32  CONV /100., TOLC /10., MAX /10., CONV /100.|00001510
33|00001520
34  I = 1|00001530
35  AREA = 0|00001540
36  X1 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001550
37  X2 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001560
38  X3 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001570
39  X4 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001580
40  X5 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001590
41  X6 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001600
42  X7 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001610
43  X8 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001620
44  X9 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001630
45  X10 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001640
46  X11 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001650
47  X12 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001660
48  X13 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001670
49  X14 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001680
50  X15 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001690
51  X16 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001700
52  X17 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001710
53  X18 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001720
54  X19 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001730
55  X20 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001740
56  X21 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001750
57  X22 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001760
58  X23 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001770
59  X24 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001780
60  X25 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001790
61  X26 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001800
62  X27 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001810
63  X28 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001820
64  X29 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001830
65  X30 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001840
66  X31 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001850
67  X32 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001860
68  X33 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001870
69  X34 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001880
70  X35 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001890
71  X36 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001900
72  X37 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001910
73  X38 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001920
74  X39 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001930
75  X40 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001940
76  X41 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001950
77  X42 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001960
78  X43 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001970
79  X44 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001980
80  X45 = X12 / 100. + X1 / 100. + X13 / 100. + X14 / 100. + X15 / 100.|00001990
81  END|00002000

```

	2000001101	00000010
	2000001102	00000020
	2000001103	00000030
	2000001104	00000040
	2000001105	00000050
	2000001106	00000060
	2000001107	00000070
	2000001108	00000080
	2000001109	00000090
	2000001110	00000100
	2000001111	00000110
	2000001112	00000120
	2000001113	00000130
204	00000114	00000140
	00000115	00000150
	00000116	00000160
202	00000117	00000170
201	00000118	00000180
203	00000119	00000190
	00000200	00000200
	00000210	00000210
	00000220	00000220
	00000230	00000230
	00000240	00000240
	00000250	00000250
	00000260	00000260
	00000270	00000270
	00000280	00000280
	00000290	00000290
	00000300	00000300
	00000310	00000310
	00000320	00000320
	00000330	00000330
	00000340	00000340
	00000350	00000350
	00000360	00000360
	00000370	00000370
	00000380	00000380
	00000390	00000390
	00000400	00000400
	00000410	00000410
	00000420	00000420
	00000430	00000430
	00000440	00000440
	00000450	00000450
	00000460	00000460
	00000470	00000470
	00000480	00000480
	00000490	00000490
	00000500	00000500
	00000510	00000510
	00000520	00000520
	00000530	00000530
	00000540	00000540
	00000550	00000550
	00000560	00000560
	00000570	00000570
	00000580	00000580
	00000590	00000590
	00000600	00000600
	00000610	00000610
	00000620	00000620
	00000630	00000630

	00110040	00100040
	00110050	00100050
	00110060	00100060
	00110070	00100070
	00110080	00100080
	00110090	00100090
10	00110100	00100100
11	00110110	00100110
	00110120	00100120
	00110130	00100130
12	00110140	00100140
	00110150	00100150
13	00110160	00100160
	00110170	00100170
	00110180	00100180
	00110190	00100190
	00110200	00100200
	00110210	00100210
	00110220	00100220
	00110230	00100230
	00110240	00100240
	00110250	00100250
	00110260	00100260
	00110270	00100270
	00110280	00100280
	00110290	00100290
	00110300	00100300
	00110310	00100310
	00110320	00100320
	00110330	00100330
	00110340	00100340
	00110350	00100350
	00110360	00100360
	00110370	00100370
	00110380	00100380
	00110390	00100390
	00110400	00100400
	00110410	00100410
	00110420	00100420
	00110430	00100430
	00110440	00100440
	00110450	00100450
	00110460	00100460
	00110470	00100470
	00110480	00100480
	00110490	00100490
	00110500	00100500
	00110510	00100510
	00110520	00100520
	00110530	00100530
	00110540	00100540
	00110550	00100550
	00110560	00100560
	00110570	00100570
	00110580	00100580
	00110590	00100590
	00110600	00100600
	00110610	00100610
	00110620	00100620
	00110630	00100630
	00110640	00100640
	00110650	00100650
	00110660	00100660
	00110670	00100670
	00110680	00100680
	00110690	00100690
	00110700	00100700
	00110710	00100710
	00110720	00100720
	00110730	00100730
	00110740	00100740
	00110750	00100750
	00110760	00100760
	00110770	00100770
	00110780	00100780
	00110790	00100790
	00110800	00100800
	00110810	00100810
	00110820	00100820
	00110830	00100830
	00110840	00100840
	00110850	00100850
	00110860	00100860
	00110870	00100870
	00110880	00100880
	00110890	00100890
	00110900	00100900
	00110910	00100910
	00110920	00100920
	00110930	00100930
	00110940	00100940
	00110950	00100950
	00110960	00100960
	00110970	00100970
	00110980	00100980
	00110990	00100990
	00111000	00101000

	30 CONTINUE	00001270
	31 AXL=AXL+AL	00001280
	32 IF (ABS(AXL)) GO TO 23	00001290
	33 GO TO 27	00001300
	34 CONTINUE	00001310
	35 IF (ABS(AXL)) GO TO 23	00001320
	36 AXL=AXL+AL	00001330
27	CONTINUE	00001340
28	AXL=AXL+AL	00001350
	37 AXL=AXL+AL	00001360
	38 IF (ABS(AXL)) GO TO 29	00001370
	39 AXL=AXL+AL	00001380
	40 CONTINUE	00001390
	41 AXL=AXL+AL	00001400
	42 IF (ABS(AXL)) GO TO 29	00001410
29	CONTINUE	00001420
	30 AXL=AXL	00001430
	31 IF (ABS(AXL)) GO TO 24	00001440
C	NOBILITACAO DE UM ELEMENTO DO VETOR B	00001450
30	IF (B)	00001460
	B=B+1	00001470
	31 CONTINUE	00001480
	32 IF (ABS(B)) GO TO 35	00001490
	33 B=B+1	00001500
	34 IF (ABS(B)) GO TO 31	00001510
	35 B=B+1	00001520
31	CONTINUE	00001530
30	CONTINUE	00001540
100	CONTINUE	00001550
C		00001560
C	DETERMINACAO DA MATRIZ TRANSPOSTA DE U	00001570
	30 GO TO 32	00001580
	31 CONTINUE	00001590
	32 IF (ABS(U)) GO TO 32	00001600
	33 U=U+1	00001610
	34 IF (ABS(U)) GO TO 32	00001620
	35 U=U+1	00001630
	36 IF (ABS(U)) GO TO 32	00001640
	37 U=U+1	00001650
	38 IF (ABS(U)) GO TO 32	00001660
	39 U=U+1	00001670
32	CONTINUE	00001680
	33 U=U+1	00001690
	34 IF (ABS(U)) GO TO 32	00001700
	35 U=U+1	00001710
	36 IF (ABS(U)) GO TO 32	00001720
	37 U=U+1	00001730
	38 IF (ABS(U)) GO TO 32	00001740
	39 U=U+1	00001750
C		00001760
C	AXL=0	00001770
	30 GO TO 32	00001780
	31 CONTINUE	00001790
	32 IF (ABS(AXL)) GO TO 40	00001800
	33 AXL=AXL+1	00001810
	34 IF (ABS(AXL)) GO TO 40	00001820
	35 AXL=AXL+1	00001830
	36 IF (ABS(AXL)) GO TO 40	00001840
	37 AXL=AXL+1	00001850
	38 IF (ABS(AXL)) GO TO 40	00001860
	39 AXL=AXL+1	00001870
40	CONTINUE	00001880
	31 AXL=AXL	00001890
40	AXL=0	00001900
	41 CONTINUE	00001910
	42	00001920

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. C.F. BRAUN Shell-Side flow movie on Lucite exchangers. Avaliado através da Heat Transfer Division of AIChE.
2. GUPTA, R.K. Flow pattern for baffled shell and tube exchangers. Ann Arbor, Michigan, 1957. (Ph.D. Thesis, University of Michigan).
3. KERN, D.Q. Process Heat Transfer. New York, N.Y., Mc Graw Hill, 1950. p.127-74.
4. DONOHUE, D.A. Heat transfer and pressure drop in heat exchanger. Ind. and Engng. Chem., 41(11) : 2499-511, 1949.
5. BULL, K.J. Exchanger design based on Delaware Research Program. Petro/Chem. Engng. (C):26-40 , 1960.
6. TINKER, T. General discussion on heat transfer , Inst. of Mech. Engng., London, England, 97-116, 1951.
7. TINKER, T. Shell-Side characteristics of Shell - and-tube heat exchangers. Transactions of the ASME, 80(1):36-52, 1958.
8. SHORT, B.E. Better methods to find pressure drop. Hydrocarbon Processing. 45:123-130, 1966.
9. PARKER, R.O.; MOK, J.I. Shell Side pressure Loss in baffled heat exchanger. British Chem. Engng. 13: 366-8, 1968.
10. PALEN, J.W.; TABOREK, J. Solution of shell side - flow pressure drop and heat transfer by stream analysis method. Chem. Engng. Progr. Symposium Series., 65(92):53-63, 1971

11. ROWE, D.S. COBRA IIIC, A digital computer program for steady state and transient thermal-hydraulic analysis of rod bundle nuclear fuel element. , 1973. (BNWL-1695)
12. ROWE, D. S., COBRA IV- I, An interim version of COBRA for thermal - hydraulic analysis of rod bundle nuclear fuel elements and cores., March 1976 (BNWL-1962).
13. KONUK, A.D. Pressure and flow distribution in the subchannels of rod bundles with segmental baffles. Santa Barbara, Calif., 1975. (Ph.D. Thesis, University of California).
14. SEA, W.T.; SCHMIDT, R.C. TH3D - A computer program for steady-state, thermal-hydraulic multichannel analysis., Argonne, Ill., Argonne National Lab. , 1974. (ANL-8112).
15. BENDING, M.J.; HUTCHISON, H.P. The calculation of steady state incompressible flow in large networks of pipes. Chem. Engng. Sci., 25:1857-64, 1973.
16. RODRIGUES, F.A. Subrotinas em FORTRAN-IV para solução de sistemas algébricos lineares. (Dissertação a ser apresentada no IPEN).
17. ECKERT, E.R.G.; DRAKE, R.M. Analysis of heat and mass transfer., New York, N.Y. Mc Graw Hill, 1972.
18. ZHUKAUSKAS, A.A. Heat transfer in banks of tubes., Mintis, Vilnius, Lithuania, 1968.
19. RENNE, K. Pressure drop performance of rod bundles in hexagonal arrangements, Int. J. Heat Transfer., 15:2499-517, 1972.
20. SULLIVAN, F.W.; BERGELIN, O.P. Heat transfer and fluid friction in a shell and tube heat exchanger with a single baffle. Chem. Engng. Progress Symp. Series Heat Transfer Louisville., 52(18):85-94 , 1956.

21. BELL, K.J.; BERGELIN, O.P. Flow through annular orifices, Trans. ASME, 80:593-601, 1958.
22. Mc ADAMS, W.M. Heat Transmission, 3.ed. , New York , N.Y., Mc Graw-Hill , 1954.
23. BOELTER, L.M.K.; YOUNG, G.; IVERSEN, N.W. Local Nusselt numbers in the entry regions of pipe for various entry configurations , Washington, D.C., 1948 (NACA TN-1451)
24. KAYS, W.M. Convective Heat and mass transfer., New York, N.Y., Mc Graw-Hill, 1966.
25. HASHEMI, M.H. Heat transfer and thermal performance of the rod bundle with grid spacers and segmental baffles, Santa Barbara, Calif., 1975 (Ph.D. Thesis, University of California).
26. WEISMAN, J.; TONG, L.S. Thermal Analysis of Pressurized Water Reactor., AN-NEC Monograph, ANS, 1970.
27. BORISHANSKIY, V.M. Transfer of heat from rod bundles placed at an angle to the incident liquid flow. Heat Transfer-Soviet Research, 3(4):193-8, 1971.
28. HSU, C.J. Heat transfer to liquid metals flowing past sphere and elliptical rod bundles., Int. J. Heat Mass Transfer., 8:303-15, 1965.
29. WILHELM, D. PHARTON 2 - Computer code for analysis accidents in a 1005 MWe Helium Cooled Fast Reactor. Institut für Neutronen physik und Reaktortechnik Projekt Schellen Brüter, Dez. 1977 (KFK-2561)
30. KAYS, W.M. Compact heat exchangers, New York, N.Y. Mc Graw-Hill, 1954