

CTA - **NOTA TÉCNICA**  
**IEA/NT-08/84**  
12.06.84

ESTUDO INICIAL DA TERMO-HIDRÁULICA DO  
REATOR REGENERADOR BINÁRIO

por

Marcio da Silveira Luz  
Walter José Ferreira

**Centro Técnico Aeroespacial**  
**Instituto de Estudos Avançados**  
**Rodovia dos Tambois, Km 5,5**  
**12.200 - São José dos Campos - SP**  
**Brasil**

## SUMÁRIO

Dando sequência ao desenvolvimento do Reator Regenerador Binário, neste trabalho, é analisada a configuração física do reator e as vantagens e desvantagens dos diversos tipos de espaçadores.

Para se simular o comportamento termo-hidráulico e obter dados para uma primeira avaliação da geometria do núcleo, usou-se o código COBRA III C para estudar os efeitos da altura e diâmetro da vareta, temperatura de entrada do fluido refrigerante, pressão do sistema, passo helicoidal e da razão passo/diâmetro da vareta.

## ABSTRACT

*Continuing the development of the Binary Breeder Reactor, its physical configuration and the advantages of different types of spacers are analysed in this work.*

*In order to simulate the thermo-hydraulic behaviour and obtain data for a preliminary evaluation of the core geometry, the COBRA III C code was used to study the effects of the length and diameter of the fuel element, the coolant inlet temperature, the system pressure, helicoidal pitch and the pitch to diameter ratio.*

ÍNDICE

1	- Introdução	01
2	- Escolha do Tipo ou Configuração Física do Reator	02
3	- Escolha do Tipo do Espaçador	03
4	- Simulação do Comportamento Termo-Hidráulico do Núcleo do Reator	06
4.1	- Introdução	06
4.2	- Cálculo de $\Delta p$ , $T_{Na}$ e $T_{clad}$	06
4.3	- Efeito do Comprimento do Canal	09
4.4	- Efeitos das Correlações Envolvendo Transferência de Calor	09
4.5	- Efeitos da Temperatura de Entrada do Fluido Refrigerante	13
4.6	- Efeitos da Pressão do Sistema	13
4.7	- Efeitos do Passo Helicoidal	13
5	- Conclusão	19
6	- Bibliografia	21

ÍNDICE DAS FIGURAS

- Fig.1 - Coeficiente de Arrasto para Diversos Tipos de Espaçadores
- Fig.2.a - Feixe de Varetas de Combustível usado nos Cálculos com o COBRA IIIC
- Fig.2.b - Distribuição Axial do Fluxo Relativo de Calor
- Fig.2.c - O Espaçador Helicoidal
- Fig.3 - Variação da Queda de Pressão no Canal com o Diâmetro da Vareta de Combustível
- Fig.4 - Variação da Temperatura do Encamisamento com o Diâmetro da Vareta de Combustível
- Fig.5 - Variação da Diferença de Temperatura do Fluido Refrigerante entre a Entrada e a Saída do Subcanal com o Diâmetro da Vareta de Combustível
- Fig.6.a - Perfil Axial da Temperatura no Encamisamento da Barra nº1 em um Feixe de 7 Barras
- Fig.6.b - Perfil Axial da Temperatura no Centro da Barra de Combustível nº 1 em um Feixe de 7 Barras
- Fig.7 - Variação da Temperatura de Saída do Refrigerante com a Temperatura de Entrada
- Fig.8.a - Variação da Pressão com o Diâmetro da Vareta tendo como Parâmetro o Passo do Helicoide
- Fig.8.b - Variação da Temperatura Média entre os Subcanais com o Diâmetro da Vareta tendo como Parâmetro o Passo do Helicoide

NOMENCLATURA

- A - Área
- d - Diâmetro da vareta de combustível
- H - Comprimento útil ou aquecido da vareta de combustível ou do sub canal
- m - Fluxo de massa do refrigerante
- p - Pressão do fluido refrigerante
- p - Passo (ver fig.2.C)
- P<sub>h</sub> - Passo do helicóide (ver fig.2.C)
- P - Potência
- q̇ - Fluxo de calor
- Q - Vazão do fluido refrigerante
- T<sub>clad</sub> - Temperatura do encamisamento
- T<sub>Na</sub> - Temperatura do fluido refrigerante
- T<sub>in</sub> - Temperatura do fluido refrigerante na entrada do subcanal
- T<sub>saída</sub> - Temperatura do fluido refrigerante na saída do subcanal
- Δ - Variação tomada entre o valor do parâmetro considerado na entrada e na saída do subcanal

## 1. INTRODUÇÃO

Em continuidade ao desenvolvimento do Reator Regenerador Binário (Binary Breeder Reactor-BBR), [1], [2] e [3], neste trabalho vai-se iniciar o estudo termo-hidráulico do reator. Nesta fase só será de interesse a análise do núcleo, de tal maneira que se possa realimentar os estudos de neutronics e estabelecer preliminarmente a configuração do mesmo.

Por uma questão de consistência vai-se iniciar o estudo da termo-hidráulica com a análise das duas configurações básicas para o reator: piscina ou "loop", fornecendo-se subsídios para que se possa fazer uma opção.

O passo seguinte será a escolha do tipo de espaçador entre as varetas de combustível, o que será objeto de análise na seção 3.

Após a escolha do tipo do reator e do espaçador, passa-se propriamente ao estudo termo-hidráulico do núcleo. Nesta fase de cálculos vai-se usar o código COBRA III C, o que apresenta algumas restrições: no estágio atual, no BBR, se planeja usar feixes com 217 varetas ou mais, mas o COBRA III C foi aplicado admitindo-se 7 varetas somente. Uma vez que o COBRA III C só analisa um feixe, implicitamente se admitiu que o núcleo seja homogêneo sob o ponto de vista termo-hidráulico, isto é, que em todos os feixes as diferenças de pressão e temperatura bem como a vazão que os atravessa sejam as mesmas.

As simulações do comportamento do núcleo são apresentadas na seção 4 e as conclusões deste trabalho estão mostradas na seção 5.

## 2. ESCOLHA DO TIPO OU CONFIGURAÇÃO FÍSICA DO REATOR

Não existe na literatura [5], [6] nenhum parâmetro que seja determinante no que tange à escolha do tipo do reator - tanto a configuração piscina quanto a "loop" apresentam, quando confrontadas, vantagens e desvantagens. Um bom resumo das mesmas é apresentado no trabalho de Taylor e Cage [7] do qual se retirou o seguinte quadro e fez-se algumas adições:

### ALGUNS ASPECTOS DA COMPARAÇÃO ENTRE OS REATORES TIPO "LOOP" E PISCINA

#### CONFIGURAÇÃO "LOOP"

- 1 - Maior liberdade de escolha para a otimização e localização de componentes.
- 2 - Vaso do reator de menor dimensão podendo ser produzido separadamente, ao passo que o do tipo piscina, sendo muito maior, deve ser fabricado no local, dificultando o controle de sua qualidade.
- 3 - Geometria simples entre as partes quentes e frias do reator, mais fáceis de analisar e isolar.
- 4 - O suporte do núcleo requer uma estrutura menor por causa da menor dimensão e da blindagem externa.
- 5 - Bomba do primário com eixo mais curto.
- 6 - Os trocadores de calor intermediários podem ter uma maior queda de pressão, possibilitando uma melhor distribuição do escoamento.
- 7 - Mais fácil de acomodar monitores de neutrons para a avaliação do estado de desligamento ("shut-down") do núcleo.
- 8 - Possibilita a inspeção das tubulações do "loop" uma vez que estas são acessíveis pelo lado de fora do vaso, tornando possível um trabalho de manutenção em um dos "loops", isolando-o por meio de uma válvula, sem interromper a operação do reator.
- 9 - Tempo de construção mais curto em cerca de 10%.

#### CONFIGURAÇÃO PISCINA

- 1 - Geometria do circuito primário de sódio é mais simples.
- 2 - O circuito primário de sódio opera com temperaturas mais baixas e está livre de flutuações, significativas de pressão e temperatura.
- 3 - Uma parcela mínima da estrutura está submetida a altas temperaturas.
- 4 - O sistema de remoção do calor do decaimento, que é completamente indepen-

dente dos outros sistemas de transporte de calor, pode ser facilmente acomodado.

- 5 - A inércia térmica e a configuração do circuito primário, o tornam mais tolerante a transientes e falhas de componentes.
- 6 - A pequena queda de pressão entre o caroço e o trocador de calor intermediário permite o uso de bombas a baixas temperaturas.
- 7 - Na eventualidade de um vazamento do sódio primário, a superfície livre continua a cobrir todos os componentes, de tal forma que o fluxo bombeado possa continuar.
- 8 - Como a tampa do vaso é muito grande, tem a vantagem de, ao ser suspensa, deixar a descoberto o caroço, a blindagem, os trocadores de calor e as bombas. Contudo, a inspeção e a manutenção da tubulação e estrutura é mais difícil.
- 9 - Alguns aspectos genéricos são vantajosos na análise da segurança e no projeto de sistemas relacionados com a segurança.

Com a crescente preocupação com o uso da energia nuclear por parte de segmentos da sociedade e como o BBR seria eventualmente um dos primeiros reatores deste tipo a ser construído no país, o aspecto segurança se reveste de especial importância, o que torna a opção pela configuração piscina a mais natural.

### 3. ESCOLHA DO TIPO DE ESPAÇADOR

Para se fazer a simulação termo-hidráulica do núcleo do reator, é fundamental a escolha do tipo de espaçador que será usado entre as varetas de uma célula de combustível.

Na escolha do tipo de espaçador, deve-se levar em conta tanto os aspectos termo-hidráulicos quanto os estruturais, sendo os principais listados abaixo:

#### CARACTERÍSTICAS TERMO-HIDRÁULICAS

- Mínima queda de pressão no fluido refrigerante;
- Melhor distribuição do escoamento e, conseqüentemente da temperatura, de corrente do fluxo cruzado ("cross-flow"), que deve ser máximo;
- Mínimos fatores de canal quente ("hot channel factors"), devidos às incertezas nos cálculos.



### CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

- Resistência à vibração do elemento combustível;
- Mínimo contato entre o combustível e o espaçador, o que origina pontos quentes no encamisamento;
- Resistência ao inchamento e fluência do material estrutural;
- Menor desgaste e melhor resistência à fadiga.

No trabalho de de Stordeur [8], vê-se que o espaçador helicoidal é o que possui o menor coeficiente de arrasto e, conseqüentemente o que introduz a menor queda de pressão no escoamento, como mostra a fig. 1.

O espaçador helicoidal é o que introduz o maior fluxo cruzado entre os subcanais, ao passo que nos do tipo grade o fluxo cruzado é admitido ser somente uma perturbação do escoamento axial.

O estudo dos fatores de canal quente será objeto de um detalhado trabalho futuro, não sendo, portanto, oportuno se tecer considerações a este respeito, mas se pode adiantar que estão mais ligados à precisão dos cálculos efetuados do que propriamente, ao tipo de espaçador usado.

O espaçador helicoidal é o que dá a maior rigidez ao conjunto, proporcionando um melhor comportamento estrutural do núcleo quando sujeito à vibrações.

Apesar de, neste tipo de espaçador, o contato com as varetas de combustível não ser o mínimo, é bem pequeno, não gerando grandes problemas de pontos quentes.

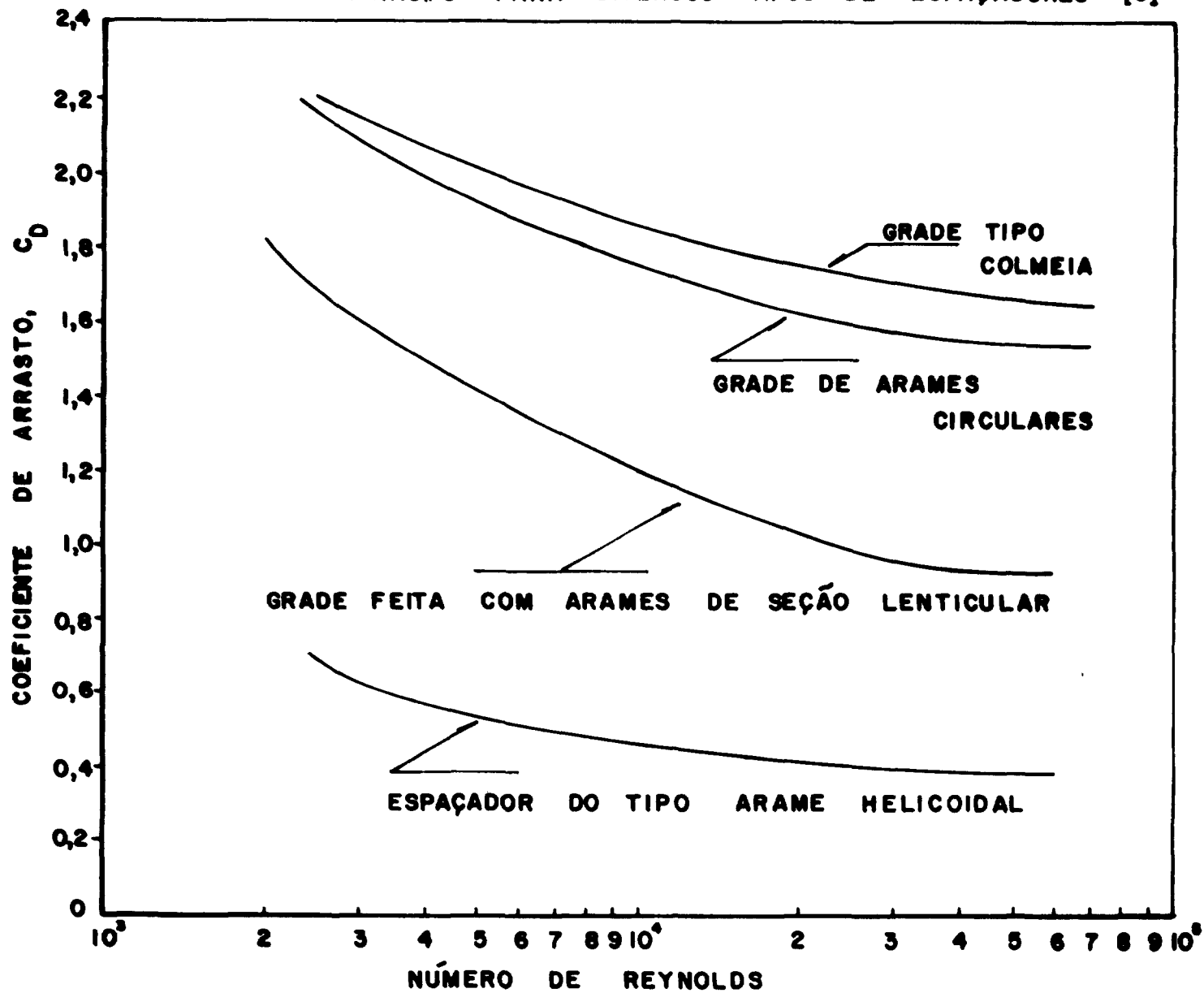
Como as duas últimas características estruturais acima listadas são de natureza metalúrgica, não serão aqui analisadas.

Uma desvantagem do espaçador helicoidal é que este induz alguma distorção helicoidal no elemento combustível, o que pode causar uma leve assimetria na temperatura do encamisamento.

Como conclusão, pode-se afirmar que o espaçador helicoidal é de especial interesse quando se tiver pequenas distâncias entre os elementos combustíveis.

Uma alternativa ao uso do espaçador acima, seria as grades transversais distribuídas axialmente ao longo das varetas. Este tipo de espaçador introduz menos elementos metálicos no núcleo que o helicoidal e não provoca distorção nos elementos combustíveis. São caras e devido ao pequeno espaço entre as grades e as varetas podem provocar o bloqueio de qualquer material estranho presente no refrigerante. Ademais, como se vê na fig. 1 es

FIG.1- COEFICIENTE DE ARRASTO PARA DIVERSOS TIPOS DE ESPAÇADORES [8]



te espaçador tende a provocar uma alta resistência ao escoamento do fluido refrigerante, aumentando a queda de pressão. O espaçador do tipo grade é mais recomendável no caso de maiores distâncias entre os elementos combustíveis, tais como aquelas encontradas em reatores rápidos refrigerados a gás (GCFR).

Sendo o BBR um reator do tipo LMFBR planejado para o uso de sódio como refrigerante, possuindo, portanto, pequenos espaços entre as varetas de combustível, opta-se, seguindo-se a tendência mais atual e as considerações aqui expostas, pelo espaçador do tipo arame helicoidal.

#### 4. SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TERMO-HIDRÁULICO DO NÚCLEO DO REATOR

##### 4.1 - INTRODUÇÃO

Nesta seção serão mostrados os resultados obtidos em 296 processamentos do COBRA III C, nos quais se fez variar o comprimento aquecido ou útil da vareta (ou seja, do canal considerado), o seu diâmetro, o passo, o passo do helicóide, uma vez que na seção 3 se optou pelo espaçador do tipo arame helicoidal, e também, a temperatura de entrada do fluido refrigerante nos sub-canais. As faixas de variação dos parâmetros aqui considerados foram as mais frequentemente encontradas na literatura [5] e [6] e são mostradas nas figuras a seguir.

Como dados de entrada, admitiu-se baseado nos estudos iniciais do reator um fluxo de massa por unidade de área de:  $5,016 \times 10^3 \text{ kg/s.m}^2$  ( $3,7 \times 10^6 \text{ lb/hr-ft}^2$ ) e um fluxo médio de calor de  $1,688 \text{ MW/m}^2$  ( $0,535 \times 10^6 \text{ Btu/hr-ft}^2$ ), [1], [2] e [3]. Deve-se notar que, como se variou o diâmetro da vareta, utilizou-se o fluxo médio de calor como constante e não a potência linear ("linear power" ou "linear rating").

O feixe de varetas de combustível usado neste trabalho é mostrado na fig. 2.a., a distribuição axial do fluxo relativo de calor é vista na fig. 2.b. e o espaçador helicoidal está ilustrado na fig. 2.c.

A adaptação do código COBRA III C aos LMFBRs não apresentou muitos problemas. Uma vez que este programa foi desenvolvido para PWRs, bastou se trocar a biblioteca de dados da água pelos do sódio e também as correlações envolvendo troca de calor.

##### 4.2 - CÁLCULO DE $\Delta p$ , $T_{Na}$ e $T_{clad}$

Dispondo-se do comprimento da vareta e da distribuição axial do

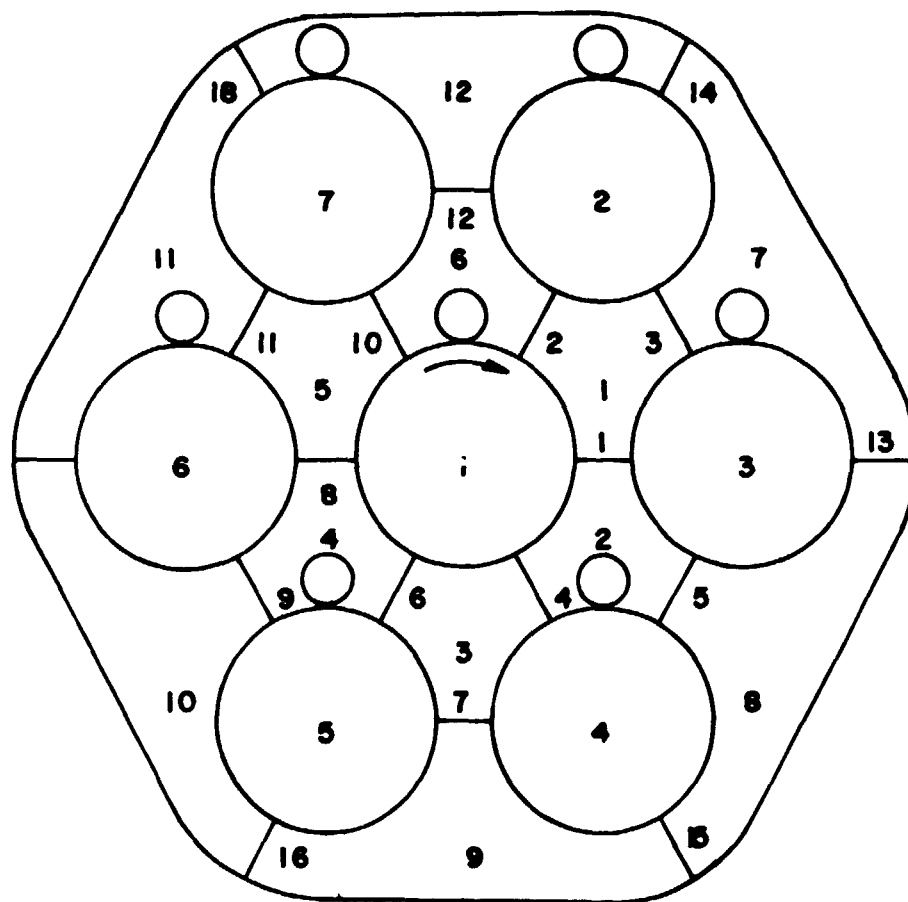


FIG.: 2.a - FEIXE DE VARETAS DE COMBUSTÍVEL  
USADA NOS CÁLCULOS COM O  
COBRA III C

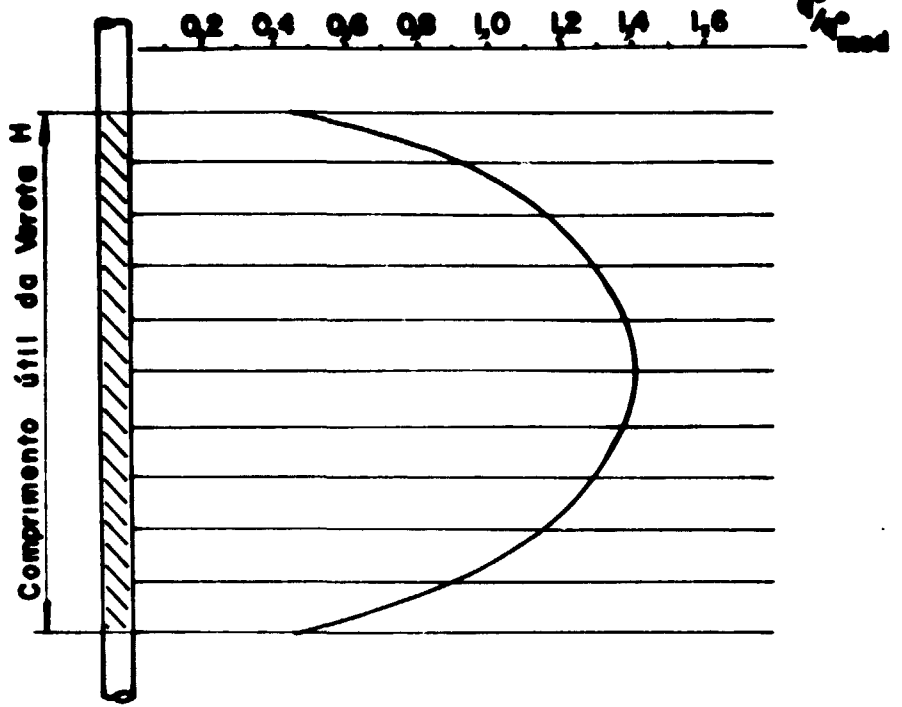


FIG. 2b : Distribuição Axial do fluxo Relativo de Calor [3],[9]

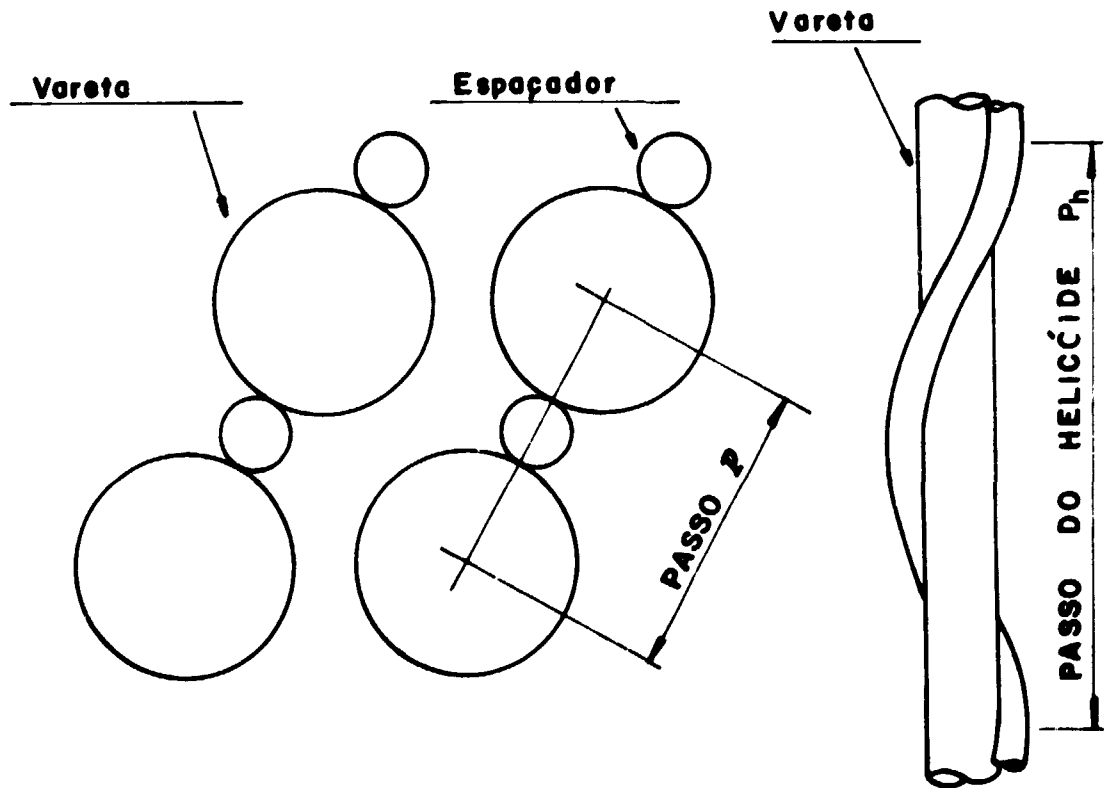


FIG. 2c : O Espaçador Helicoidal

fluxo de calor, calculou-se  $\Delta p$ ,  $T_{Na}$  e  $T_{clad}$ , tendo-se como parâmetros a razão passo/diâmetro da vareta de combustível e o comprimento desta última. Os resultados obtidos foram plotados nas figs. 3, 4 e 5.

Da fig. 3, considerando-se um mesmo valor do diâmetro da vareta,  $d$ , vê-se que, quanto menor for o  $p/d$ , maior será a diferença de pressão necessária para fazer o fluido refrigerante cruzar o subcanal. Isto é natural, pois, com a diminuição da área de passagem (i.e, diminuição de  $p/d$ ), a velocidade e, conseqüentemente, o Número de Reynolds e o fator de atrito aumentam. Pelas mesmas razões acima, para um mesmo  $p/d$ , vê-se que, quanto menor for o diâmetro da vareta, maior será o  $\Delta p$ .

Na fig. 4, para uma temperatura de entrada no subcanal,  $T_{in}$  de 360°C e para vários valores do comprimento da vareta, construiu-se um gráfico temperatura do encamisamento medida na sua superfície externa, na saída do subcanal, versus diâmetro da vareta de combustível. Os resultados foram obtidos para valores de  $p/d$  1,1 e 1,2. Vê-se que, para  $p/d = 1,1$  e  $H$  maior do que 90cm, a temperatura do encamisamento excedeu ao seu valor máximo de tolerância: 788°C.

A fig. 5 mostra o comportamento da diferença de temperatura do fluido refrigerante com o diâmetro da vareta de combustível para valores de  $p/d$  iguais a 1,1 e 1,2 e 1,3. Vê-se que quanto menor for o  $p/d$ , maior será o  $\Delta T$ .

#### 4.3 EFEITO DO COMPRIMENTO DO CANAL

Simulou-se os efeitos do comprimento útil do subcanal (i.e. da vareta de combustível) numa faixa admitida pela literatura: 90 a 120cm. Como já foi adiantado na seção 4.2, os resultados estão apresentados nas figuras 3, 4 e 5. Obviamente para canais mais longos ter-se-á maiores quedas de pressão e diferenças de temperatura no fluido refrigerante.

#### 4.4 EFEITOS DAS CORRELAÇÕES ENVOLVENDO TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Originalmente o COBRA III C usa um valor médio para o coeficiente de transferência de calor para o sódio: 5000 Btu/hr-ft<sup>2</sup>.°F e, em seguida, faz um refino nos cálculos usando a correlação de Dittus-Boelter, deixando, entretanto, ao usuário a liberdade de substituir a correlação acima pela que considerar mais conveniente.

Uma mudança na correlação empregada implica na alteração do coeficiente de filme, e, correspondentemente nas temperaturas no encamisamento e

**FIG. 3: VARIACÃO DA QUEDA DE PRESSÃO NO CANAL COM DIÂMETRO DA VARETA DE COMBUSTÍVEL**

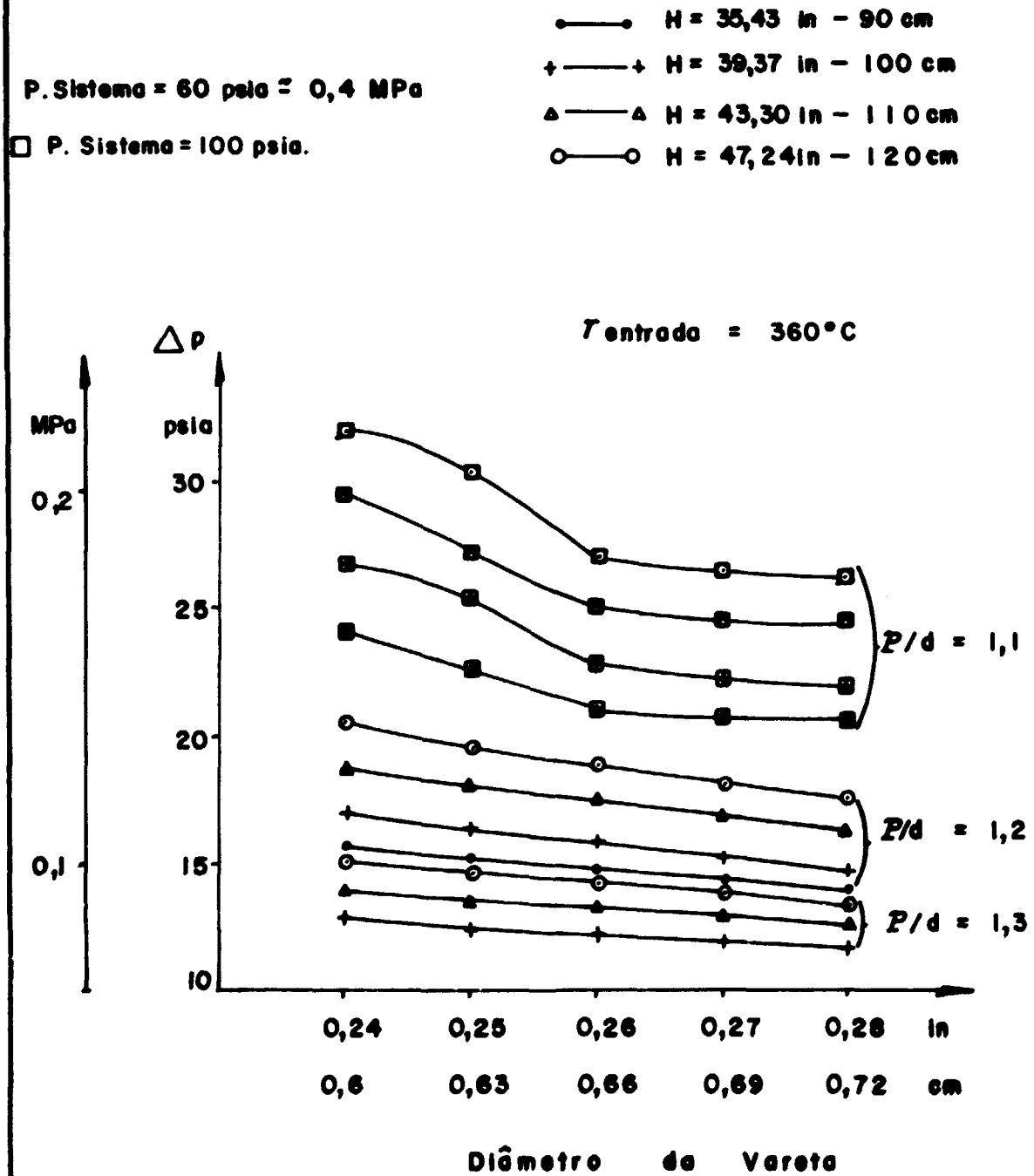


FIG. 4. VARIÇÃO DA TEMPERATURA DO ENCAMISAMENTO COM O DIÂMETRO DA VARETA DE COMBUSTÍVEL

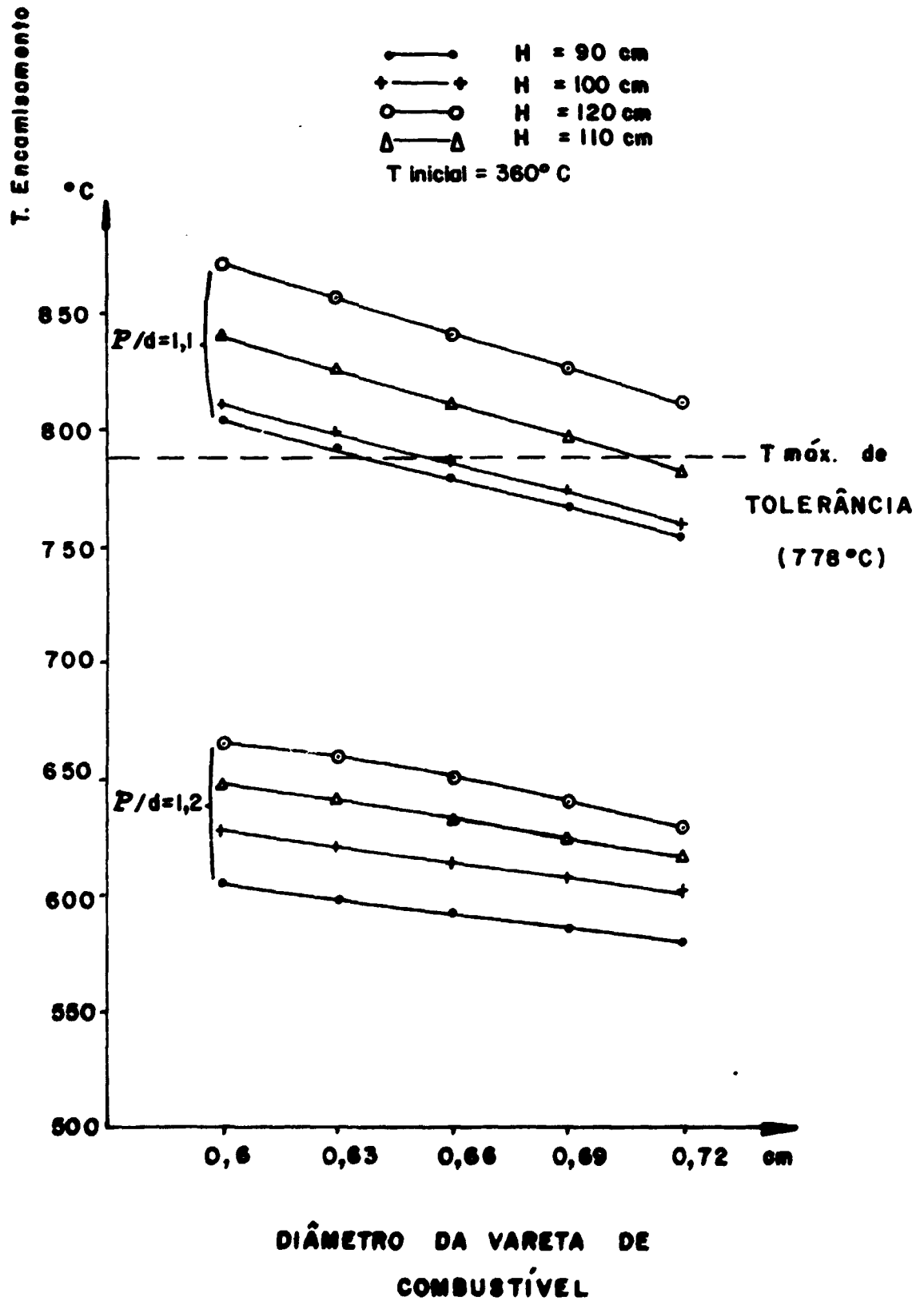
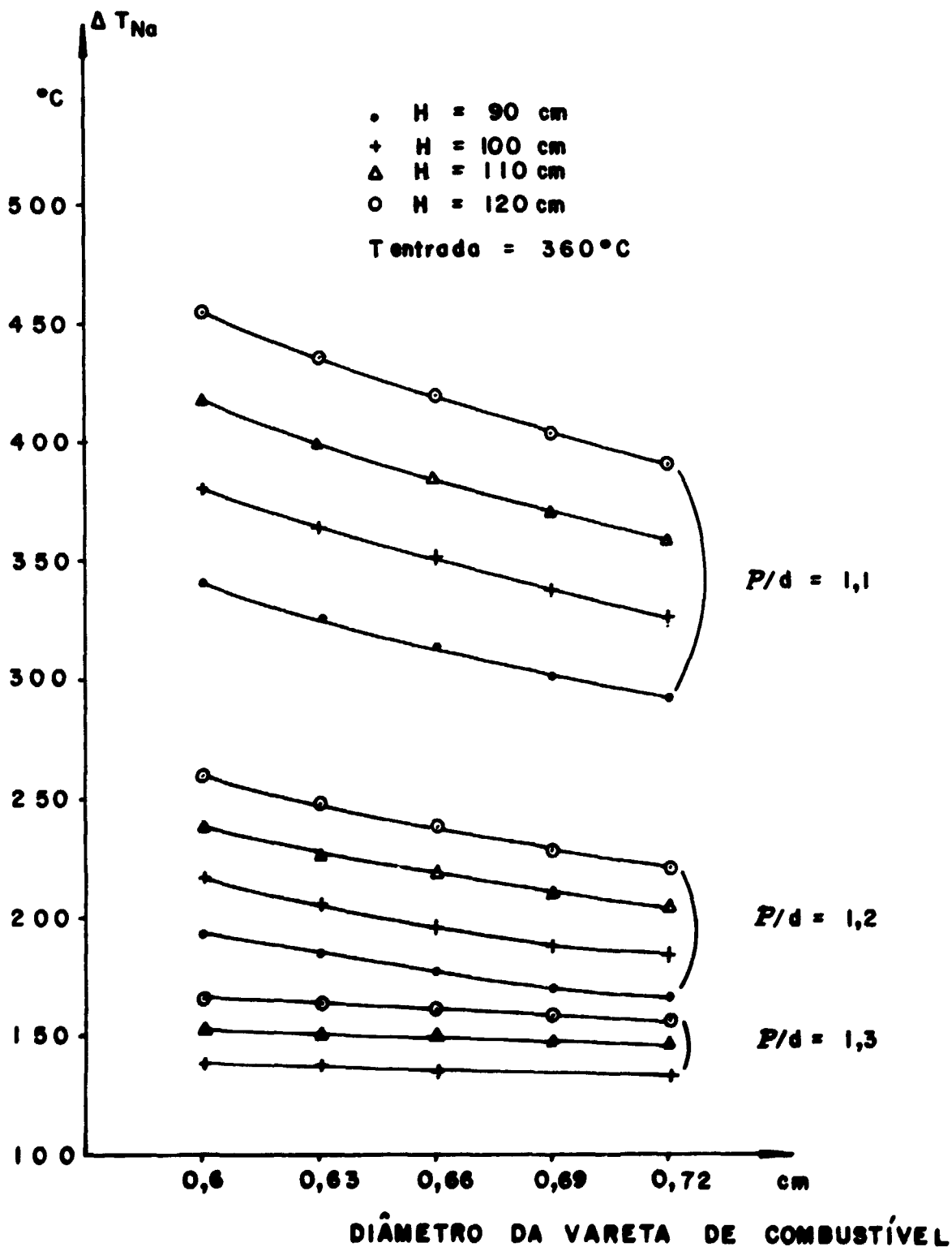




FIG. 5 - VARIÇÃO DA DIFERENÇA DE TEMPERATURA DO FLUIDO REFRIGERANTE ENTRE A ENTRADA E A SAÍDA DO SUBCANAL COM O DIÂMETRO DA VARETA DE COMBUSTÍVEL



centro da vareta. Para se visualizar estas variações escolheu-se a barra número 1 e se estudou o seu perfil axial de temperatura, usando-se as correlações de Dittus-Boelter, Borishanskii, West e Schad [10], [11], [12], como mostram as figuras 6.a e 6.b.

#### 4.5 EFEITOS DA TEMPERATURA DE ENTRADA DO FLUIDO REFRIGERANTE

Com o diâmetro da vareta de 0,64cm e a razão  $p/d$  de 1,1, para a já mencionada faixa de interesse do comprimento útil do subcanal, fez-se variar a temperatura de entrada de 360°C a 400°C, sendo os seus valores na saída mostrados na fig. 7. Nesta, além das temperaturas médias de saída estão também plotados os seus respectivos valores máximos. Concordando naturalmente com a fig. 4, a fig. 7 mostra que a temperatura de saída aumenta com  $H$ , ao se considerar um mesmo valor de entrada. Fixando-se  $H$ , vê-se que a variação da temperatura de saída com relação a de entrada é linear.

#### 4.6 EFEITOS DA PRESSÃO DO SISTEMA

Na fig.3 são mostrados valores calculados para as pressões do sistema de 0,41 MPa (60 psia) e 0,68 Mpa (100 psia) sem que fossem notadas quaisquer diferenças em  $\Delta p$ , parâmetro este sim importante, pois influi diretamente na potência da bomba necessária à recirculação do fluido refrigerante.

#### 4.7 EFEITO DO PASSO HELICOIDAL

Representou-se nas figs. 8.a e 8.b, respectivamente a variação de pressão e a da temperatura com o diâmetro da vareta, em ambos os casos tendo-se como parâmetro o passo do helicóide.

Da fig. 8.a vê-se que  $\Delta p$  aumenta com a diminuição do passo helicoidal, o que intensifica o fluxo cruzado e a turbulência do escoamento.

Uma vez que o fluxo de calor e a temperatura de entrada do refrigerante foram tomadas como constante, não se registrou nenhuma variação em  $\Delta T$  no sódio, como mostra a figura 8.b.

FIG.6a - PERFIL AXIAL DA TEMPERATURA NO  
ENCAMISAMENTO DA BARRA N°1 ,  
EM UM FEIXE DE 7 BARRAS.

- CORRELAÇÃO DE DITTUS-BOELTER.(água)
- +—+ " " BORISHANSKII
- " " WEST (FFTF)
- △—△ " " SCHAD (CRBR)

$T_{in} = 360^{\circ}\text{C}$

$p/d = 1,1$

$d = 0,6 \text{ cm}$

$H = 120 \text{ cm}$

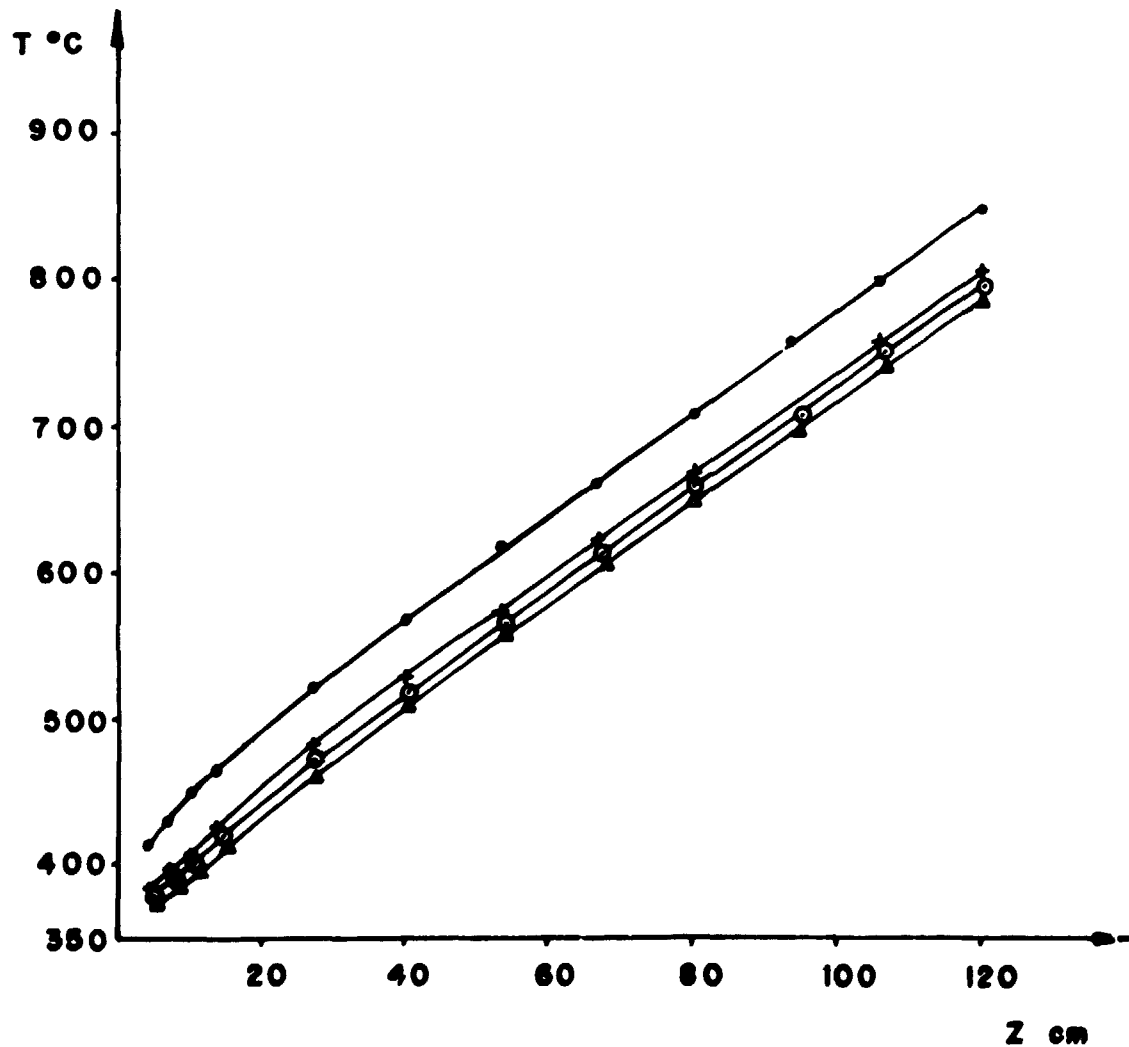
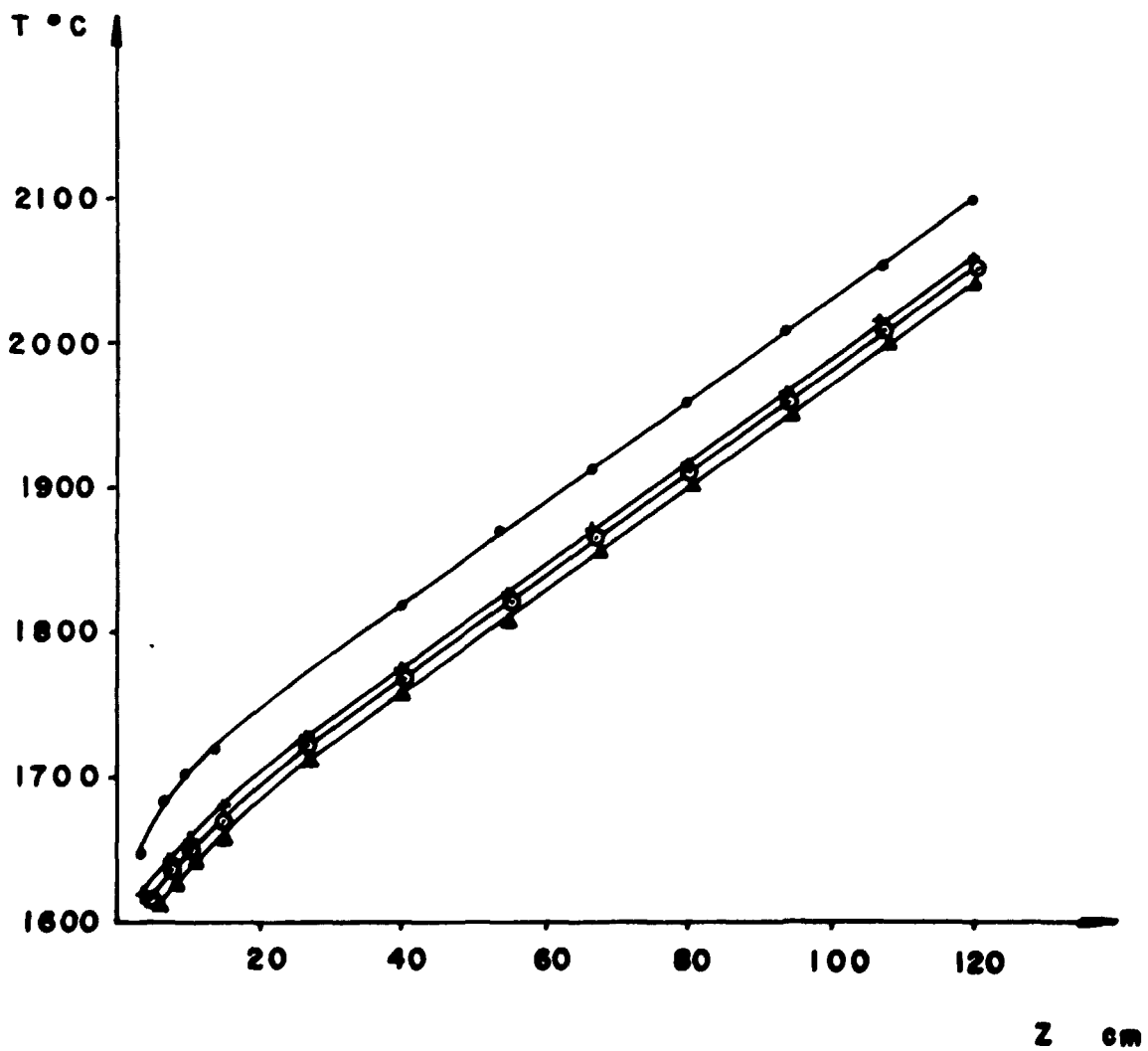


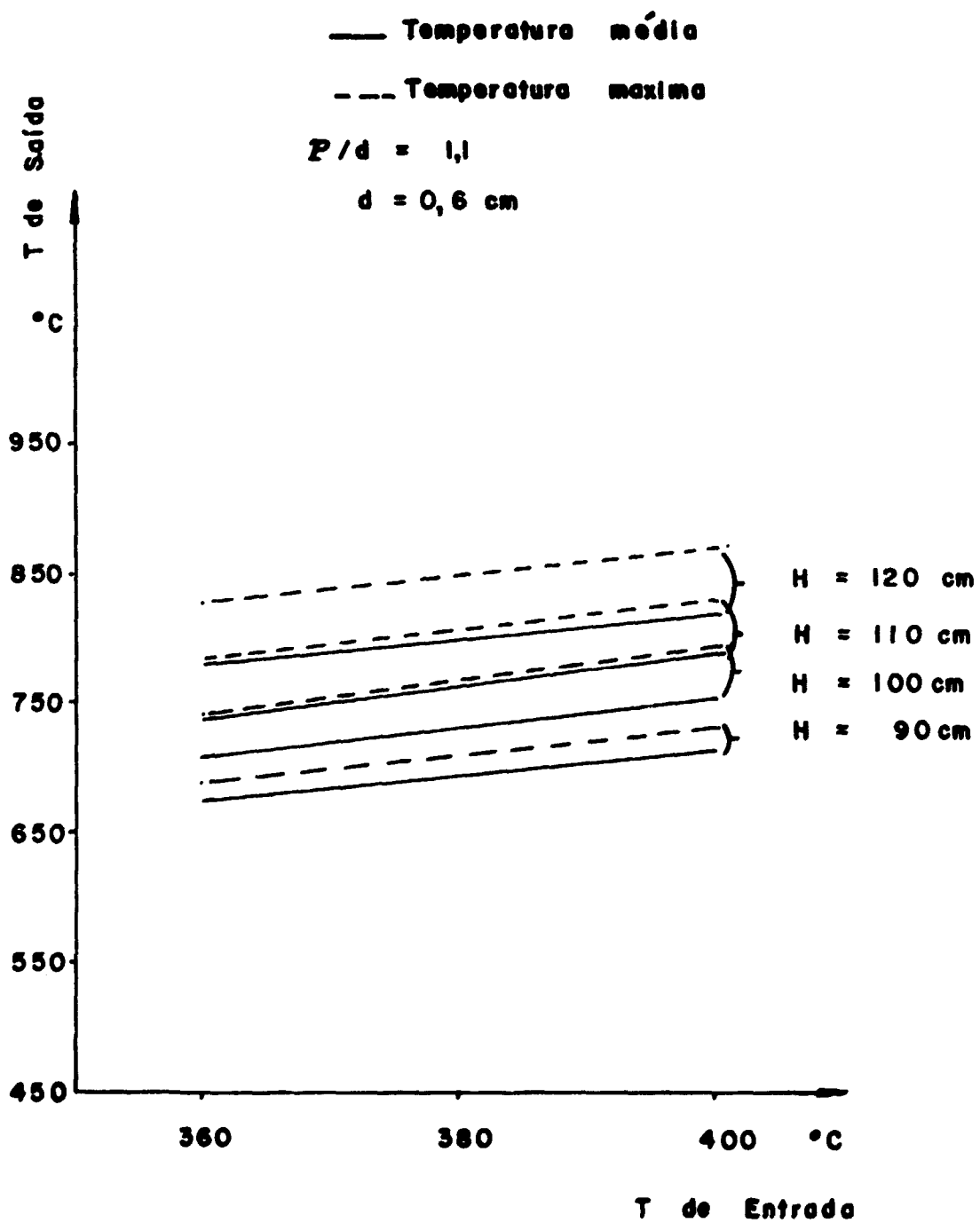
FIG. 66 - PERFIL AXIAL DA TEMPERATURA NO CENTRO DA BARRA DE COMBUSTÍVEL Nº 1, EM UM FEIXE DE 7 BARRAS.

—●— CORRELAÇÃO DE DITTUS-BOELTER (água)  
+—+ " " BORISHANSKII  
○—○ " " WEST (FFTF)  
△—△ " " SCHAD (CRBR)

$T_{in} = 360^{\circ}\text{C}$   
 $P/d = 1,1$   
 $d = 0,6 \text{ cm}$   
 $H = 120 \text{ cm}$



**FIG. 7 - VARIACÃO DA TEMPERATURA DE SAIDA DO REFRIGERANTE COM A TEMPERATURA DE ENTRADA**



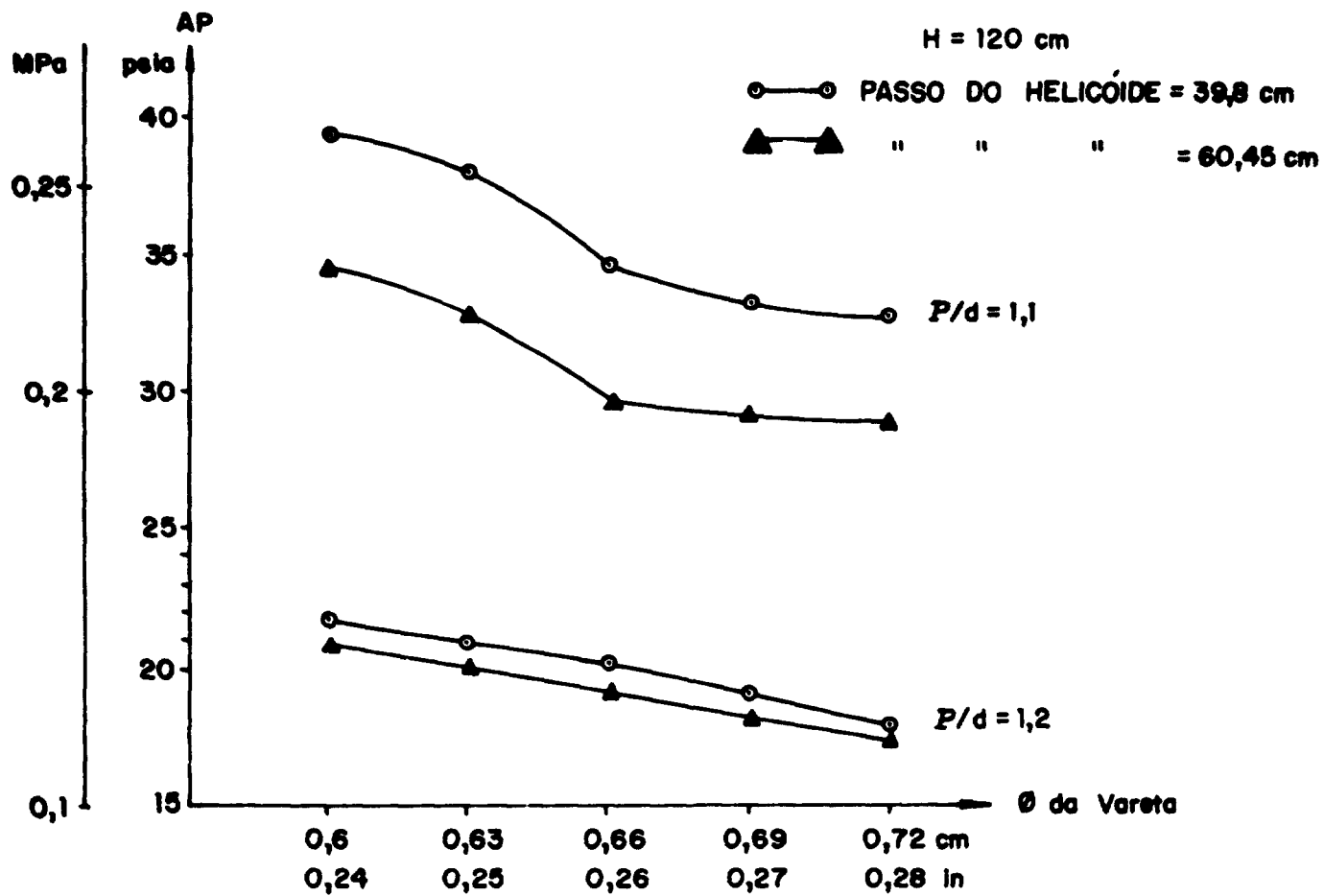


FIG. 8a - VARIÇÃO DA PRESSÃO COM O DIÂMETRO DA VARETA TENDO COMO PARÂMETRO O PASSO DO HELICÓIDE.

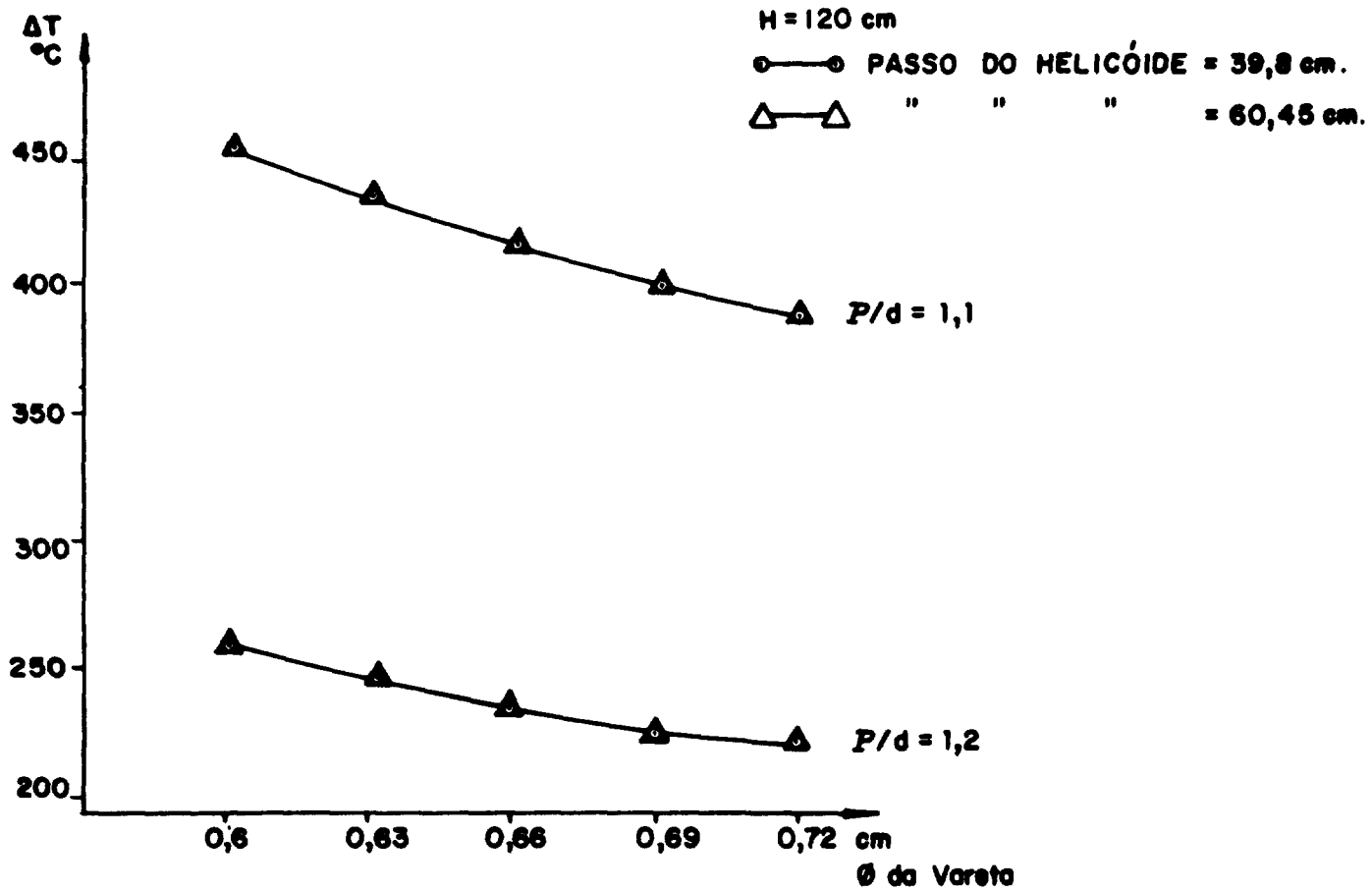


FIG. 8b - VARIACÃO DA TEMPERATURA MÉDIA ENTRE SUB-CANALIS COM O DIÂMETRO DA VARETA TENDO COMO PARÂMETRO O PASSO DO HELICÓIDE.

## 5. CONCLUSÃO

Primeiramente, se deve assinalar que, como é sabido, a potência de bombeamento necessária a fazer o sódio circular pelo primário é  $P=Q\Delta p$ ; sendo assim, não será interessante se trabalhar com valores muito altos de  $\Delta p$ . Por outro lado, comparando-se as figuras 3 e 4, vê-se que a região dos maiores valores de  $\Delta p$  é também a dos maiores  $\Delta T$  - sendo portanto a mais favorável no que diz respeito à transmissão do calor. Quanto a este aspecto, deve-se notar que, apesar de ser desejável uma máxima transferência do calor ao fluido refrigerante, este processo deve ser efetuado de maneira tal que a temperatura do encamisamento não exceda ao seu valor crítico mostrado na fig. 4.

Com o auxílio desta figura 4, que fornece dados sobre  $T_{clad}$ , é possível se fazer uma primeira estimativa para a faixa recomendável dos valores de  $H, d$  e  $p/d$ :

Para  $p/d = 1,1$ ,  $H$  deve ser menor ou igual a 90cm, para diâmetros da vareta de 0,6 a 0,72cm, como sugeridos pela literatura [5], [6].

Para  $p/d = 1,2$ , em toda a faixa considerada de  $H$  e  $d$ , não há restrições.

Extrapolando-se os resultados da figura 4, vê-se que para  $p/d > 1,2$  valem os últimos comentários acima.

Do exame das figuras 3, 5 e 8, nota-se que um valor aconselhável para  $p/d$  seria 1,2. Deixa-se, no entanto a fixação dos valores de  $H$  e  $d$  ao pessoal encarregado dos estudos de neutrônica, respeitando-se as faixas de valores aqui mostradas.

No que tange à temperatura de entrada do sódio subcanal, das figs. 4, 5 e 7, vê-se que esta deve ser a mais baixa possível, uma vez que a variação de  $\Delta T$  com  $T_{in}$  é linear. Entretanto, como existem limitações práticas para  $T_{in}$ , como por exemplo, no que diz respeito ao dimensionamento do trocador de calor primário, é aconselhável se deixar a determinação final de  $T_{in}$  para quando se analisar todo o circuito primário. Todavia, nesta fase de cálculos, pode-se admitir para  $T_{in}$  o valor 360°C, que é frequentemente encontrado na literatura, [5] e [6].

A figura 8.a indica que o  $\Delta p$  para um dado valor do passo helicoidal,  $p_h$ , depende fortemente do diâmetro da vareta considerada bem como da razão  $p/d$ . Sendo assim, é recomendável se deixar o estabelecimento de  $p_h$  para depois da fixação de  $d$  e  $H$ .

A pressão do sistema deverá ser estudada posteriormente levando-se



em conta a possibilidade do surgimento de vazios nos subcanais.

Finalmente, é preciso que se sublinhe mais uma vez que os resultados aqui obtidos são preliminares, devido a aspectos já mostrados na seção 1, e sujeitos a ulterior confirmação, quando se usar códigos com maior capacidade de processamento.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] ISHIGURO, Y.; DIAS, A.F. e GOUVÊA, A.S. - "UM LMFBR PARA A UTILIZAÇÃO DO TÓRIO E O PROJETO DAS VARETAS DE COMBUSTÍVEL DE  $U^{233}/Th$ " - LEA/NT-005/83
- [2] ISHIGURO, Y.; KONUK, A. e GOUVÊA, A.S. - "READORES REGENERADORES PARA O CICLO DO TÓRIO" - LEA/NT-002/82
- [3] ISHIGURO, Y. - "COMUNICAÇÃO PRIVADA"
- [4] ROWE, D.S. - "COBRA III C: A DIGITAL COMPUTER PROGRAM FOR STEADY STATE AND TRANSIENT THERMAL-HYDRAULIC ANALYSIS OF ROD BUNDLE NUCLEAR FUEL ELEMENTS" - BNWL - 1965 (1973)
- [5] WALTAR, A.E. and REYNOLDS, A.B. - "FAST BREEDER REACTORS" - PERGAMON PRESS. (1981)
- [6] TANG, Y.S.; COFFIELD JR, R.D. and MARKLEY, R.A. - "THERMAL ANALYSIS OF LIQUID-METAL FAST BREEDER REACTORS" - AMERICAN NUCLEAR SOCIETY (1978)
- [7] TAYLOR, D. and CAGE, F. - "LOOP AND POOL FAST REACTORS" in "OPTIMISATION OF SODIUM COOLED FAST REACTORS" - BRITISH NUCLEAR ENERGY SOCIETY (1977)
- [8] DE STORDEUR, A.N. - "DRAG COEFFICIENTS FOR FUEL ELEMENT SPACERS" - NUCLEONICS - VOL. 19, Nº 6 - JUN, 1961
- [9] EL-WAKIL, M.M. - "NUCLEAR HEAT TRANSPORT" - INTERNATIONAL TEXTBOOK COMPANY - (1977)
- [10] BORISHANSKII, V.M., GOTOVSKY, M.A. e FIRSOVA, E.V. - "HEAT TRANSFER TO LIQUID METAL FLOWING LONGITUDINALLY IN WETTED BUNDLES OF RODS" - SOV. AT. ENERGY 27, 549 (1969)
- [11] WEST, H., "HEAT TRANSFER CORRELATION RECOMMENDATION FOR FFTF" - WARD FRT-60, JULY, 1969
- [12] SCHAD, H.O., "HEAT TRANSFER CORRELATION FOR LMFBR DESIGN" - ARD-TH-426, NOVEMBER, 1969.