

Doação de  
TOFANI à  
Biblioteca do IPR

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS - UFMG/CNEN  
DIVISÃO DE REATORES

Junho, 1971

ESTUDO DE ASPECTOS TÉRMICOS DE UM  
RECIPIENTE PARA TRANSPORTE DE ELEMENTOS  
COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS

Newton Moreira Leal

Tese submetida ao Curso de Ciências e Técnicas  
Nucleares da Universidade Federal de Minas Ge-  
rais, como parte dos requisitos necessários  
para a obtenção do grau de Mestre em Ciências

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Térmica do IPR, dentro do programa de atividades do mesmo.

Agradeço ao Prof. Milton Campos, Diretor do Instituto de Pesquisas Radiativas, permitindo a elaboração desta tese.

Exprimo meus agradecimentos ao MSc. João Luiz Campos pela eficiente orientação e interesse durante a elaboração de todas as fases deste estudo.

Meus agradecimentos se estendem também ao Dr. Paulo de Carvalho Tófani pelas sugestões feitas, ao pessoal da Seção de Matemática Aplicada pela ajuda prestimosa na elaboração do programa; à Srta. Yêda Maria Rodrigues pelo trabalho diligente de datilografia e ao Sr. Alvaro Santana Filho, pela confecção criteriosa dos desenhos.

## SUMÁRIO

Os elementos combustíveis de reatores nucleares, após terem sido irradiados, devem ser transportados do local do reator à usina de reprocessamento em recipientes especialmente projetados para tal fim, obedecendo uma série de normas de segurança. Sob o ponto de vista térmico, tais recipientes devem dissipar o calor gerado em seu interior e absorvido por radiação solar de tal modo que a temperatura da superfície não exceda 82°C e a de seu interior não comprometa a integridade dos elementos combustíveis.

Este trabalho analisa aspectos térmicos de um recipiente capaz de transportar 9 elementos combustíveis do tipo MPR (ou maior número de elementos combustíveis tipo TRIGA ou ARGONAUTA), no qual a extração de calor é feita por água em circulação natural, e a dissipação de calor para o meio ambiente é feita por convecção livre e radiação.

As distribuições de temperatura e fluxos de calor foram determinados por um código de cálculo escrito em FORTRAN II, que utiliza como subprograma alguns parâmetros obtidos por um aparelhamento experimental que simula os fenômenos térmicos do recipiente por analogia elétrica.

PARTE I - GENERALIDADES SOBRE RECIPIENTES PARA TRANSPORTE  
DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

I.1. INTRODUÇÃO .....	1
I.2. NORMAS RELATIVAS AO TRANSPORTE DE MATERIAL IRRADIA- DO .....	2
I.3. INTERLIGAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DO PROJETO DE UM RECIPI- ENTE PARA TRANSPORTE DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS IRRADI- ADOS .....	5
I.4. DISSIPACÃO DE CALOR POR UM RECIPIENTE PARA TRANSPOR- TE DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS .....	6

PARTE II - REPECI EM ESTUDO

II.1. ORIGEM E FINALIDADE DO TRABALHO.....	9
II.2. ASPECTOS TÉRMICOS ABORDADOS NESTE TRABALHO .....	10

PARTE III - ESTUDO DOS MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

III.1. OPÇÕES PARA O TRATAMENTO DO PROBLEMA .....	12
III.2. TERMOSIFONAMENTO .....	13
III.3. EQUACIONAMENTO GERAL DO PROBLEMA .....	14

PARTE IV - PARTE EXPERIMENTAL

IV.1. GENERALIDADES .....	19
IV.2. RELAÇÕES DE ANALOGIA ENTRE OS SISTEMAS ELÉTRICO E TÉRMICO .....	20
IV.3. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA PA- RA SE UTILIZAR NA EXPERIÊNCIA ANALÓGICA .....	22
IV.4. APARELHO SIMULADOR .....	26
IV.5. OBTENÇÃO DAS RESISTÊNCIAS TÉRMICAS À DISSIPACÃO DO CALOR PELA SUPERFÍCIE DO RECIPIENTE .....	27
IV.6. SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES NA EXPERIÊNCIA .....	31

	pág.
IV.7. RESULTADOS OBTIDOS .....	33
IV.8. CONCLUSÕES .....	33
ANEXO A -- PERDAS DE CARGA .....	35
ANEXO B -- DEDUÇÃO DAS FÓRMULAS IV-11 e IV-16 .....	39
ANEXO C -- CORREÇÕES A SERIEM FEITAS SOBRE OS DADOS EXPERIMENTAIS .....	43
ANEXO D -- DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE DA SOLUÇÃO ELETROLÍTICA .....	45
ANEXO E -- OBTENÇÃO DA FÓRMULA IV-24 .....	47
NOMENCLATURA	
BIBLIOGRAFIA	

P A R T E I

GENERALIDADES SOBRE RECEPTORES PARA TRANSPORTES

DE RECEPTORES COMERCIAIS IRRADIADOS

- 1.1. INTRODUÇÃO
- 1.2. NORMAS RELATIVAS AO TRANSPORTE DE MATERIAL IRRADIADO
- 1.3. INTERPRETAÇÃO DAS ETIQUETAS DE PERIGO DE UM RECEPTOR PARA TRANSPORTE DE RECEPTORES COMERCIAIS IRRADIADOS
- 1.4. DISTRIBUIÇÃO DE CALOR POR UM RECEPTOR PARA TRANSPORTE DE RECEPTORES COMERCIAIS IRRADIADOS

## 1.1. INTRODUÇÃO

Durante o funcionamento dos reatores de potência o combustível nuclear passa por uma série de transformações que implicam na sua substituição muito antes dos materiais físséis terem ~~se~~<sup>ido</sup> totalmente consumidos. Em primeiro lugar, o acúmulo dos produtos de fissão que atuam como venenos do meio e o empobrecimento de isótopos físséis - U233, U235 ou Pu-239 - podem decrescer a reatividade a tal ponto que as exigências operacionais do reator não são mais satisfeitas. Além do mais, as variações das dimensões, forma e propriedades mecânicas que ocorrem devido à exposição contínua e à acumulação dos produtos de fissão limitam o tempo de permanência do combustível no reator. Finalmente, circunstâncias acidentais, tais como ruptura da blindagem, falhas na solda, "burnout", corrosão etc, tornam necessária a reposição do combustível. Entretanto, qualquer que tenha sido a causa de sua retirada do reator, o combustível ainda contém uma considerável quantidade de isótopos físséis e freqüentemente de espécies férteis, devendo, portanto, sofrer reprocessamento a fim de se recuperar de maneira a mais econômica êstes materiais valiosos para serem reutilizados em reatores ou outros propósitos nucleares [1].

Uma vez que nem todos os países possuem usinas de reprocessamento e mesmo aquelas que as possuem não as têm na proximidade das centrais nucleares, surge a necessidade de transporte desses elementos combustíveis irradiados, providência que, além da adequação dos recipientes, exige especiais cuidados, uma vez que o decaimento radioativo posterior à sua retirada do reator e conseqüente resfriamento em piscinas apropriadas produz não só calor, mas também radiações. Para tanto existem recipientes apropriados, construídos segundo certas normas internacionais e designados por recipientes para transporte de elementos combustíveis irradiados, e que, para maior simplicidade, neste trabalho serão abreviados por RTTECI.

.YT.

Esses recipientes mostrados nas figuras 1, 2 e 3 [2], [3] são perfeitamente estanques e devem permitir a dissipação de calor gerado em seu interior e blindar convenientemente os elementos combustíveis. A blindagem deve ser tal que impeça que o público seja exposto a níveis perigosos de radiação [4] e a dissipação de calor deve ser tal que não impeça o seu manuseio.

Básicamente, é um recipiente cilíndrico, ôco, vedado nas extremidades, uma das quais com tampo removível. Possui uma blindagem construída por um elemento pesado, como, por exemplo, o chumbo, contida por duas paredes cilíndricas em aço, como mostrado nas figuras 2 e 3.

A superfície externa é aletada para maior retirada de calor e conferir-lhe maior resistência em casos de choques mecânicos (por exemplo, queda). Por isso suas aletas são de tipo mais robusto, ou seja, de perfil retangular. Internamente são dotados de um engradamento metálico como mostra a figura 2, onde os elementos combustíveis são alojados como em células. As paredes que constituem o engradamento têm como finalidade adicional oferecer um outro caminho à transferência de calor para o exterior.

Os RETECI's podem ser dispostos com seu eixo longitudinal em posição horizontal ou vertical como mostra a figura 1 e suas aletas podem ser circulares ou longitudinais, como mostram as figuras 1, 2 e 3.

## 1.2. NOTAS

O transporte de elementos combustíveis gastos, de reatores de potência, é governado por regulamentos do "Department of Transportation" (DOT), e da U. S. Atomic Energy Commission. O objetivo principal destes regulamentos é, naturalmente, proteger o público, restringindo rigorosa



mente a quantidade de radiação e contaminação a que ele ficará exposto [4].

De acordo com esta filosofia, o "United States Department of Transportation" dividiu o material radioativo em sete grupos, conforme figuras 4 e 5, levando em consideração o grau de radio toxicidade do isótopo de interesse e dividiu as embalagens para transporte nos tipos A e B [4].

Pequenas quantidades de material mais tóxico e grandes quantidades de material menos tóxico podem ser transportados no mesmo tipo de embalagem.

As embalagens do tipo A são limitadas para pequenas quantidades de material radioativo que, se se desprenderem no caso da destruição da embalagem, não causarão consequências catastróficas [4].

Os tipos B se destinam ao transporte de maiores quantidades de material radioativo e são projetados para contê-lo sob condições acidentais hipotéticas durante o transporte.

A tabela da figura 7 serve para determinar o tipo de embalagem em função do grupo isotópico.

Quantidades de material radioativo maiores que as especificadas para o tipo B devem ser transportadas em embalagem especialmente aprovadas pela USAEC e pelo Department of Transportation.

As tabelas das figuras 4, 5 e 6 podem ser usadas para classificar o material radioativo.

mente a quantidade de radiação e contaminação a que ele ficará exposto [4].

De acordo com esta filosofia, o "United States Department of Transportation" dividiu o material radioativo em sete grupos, conforme figuras 4 e 5, levando em consideração o grau de radio toxicidade do isótopo de interesse e dividiu as embalagens para transporte nos tipos A e B [4].

Pequenas quantidades de material mais tóxico e grandes quantidades de material menos tóxico podem ser transportados no mesmo tipo de embalagem.

As embalagens do tipo A são limitadas para pequenas quantidades de material radioativo que, se se desprenderem no caso da destruição da embalagem, não causarão consequências catastróficas [4].

Os tipos B se destinam ao transporte de maiores quantidades de material radioativo e são projetados para contê-lo sob condições acidentais hipotéticas durante o transporte.

A tabela da figura 7 serve para determinar o tipo de embalagem em função do grupo isotópico.

Quantidades de material radioativo maiores que as especificadas para o tipo B devem ser transportadas em embalagem especialmente aprovadas pela USAEC e pelo Department of Transportation.

As tabelas das figuras 4, 5 e 6 podem ser usadas para classificar o material radioativo.

Dentre as normas existentes, citam-se as mais importantes, sendo que as que interessam mais diretamente são as normas técnicas.

#### Normas quanto à integridade de contenção e blindagem [4]

- i) Teste de impacto no qual o recipiente é deixado cair de uma altura de 9 m sobre uma placa indeformável sem que haja desprendimento do produto de seu interior
- ii) Teste de penetração no qual é largado de 1 m de altura sobre uma barra de 15 cm de diâmetro por 20 cm de comprimento de aço doce. O eixo longitudinal da barra deve ser perpendicular à superfície da embalagem, no instante do impacto [4].
- iii) Teste de compressão no qual deve suportar 5 vezes seu próprio peso, uniformemente distribuído sobre a área total do recipiente.
- iv) Teste de imersão, para demonstrar que o recipiente é à prova de vazamento a uma profundidade de 15 m de água.
- v) Teste térmico no qual, imediatamente após os testes de impacto e penetração, o recipiente deve suportar uma temperatura de 800°C durante 30 minutos, na superfície. Isso simula um caso de acidente por fogo.

#### Normas técnicas

- i) A temperatura máxima externa não deve ser superior a 82°C em condições normais de operação (DOT). Este limite especificado pela AIEA é de 50°C, podendo atingir 82°C sob condições de plena carga [6].
- ii) Durante o tempo de simulação de acidente por fogo as temperaturas atingidas pelos elementos combustíveis não devem comprometer a sua integridade.

### 3.3. INTERLIGAÇÃO ENTRE AS ÁREAS DE PROJETO DE UM RECIPIENTE

No projeto de um recipiente, quatro áreas principais de interesse devem ser integradas. São elas: contenção, prevenção de criticidades de, blindagem e remoção de calor. É impossível isolar completamente cada área das outras três porque há partes que se interpenetram, sendo que os parâmetros de um aspecto não podem ser otimizados sem levar em consideração os outros. Por exemplo, uma blindagem de certa espessura pode ser ideal do ponto de vista de transferência de calor, mas podendo manter a taxa de radiação abaixo do nível permissível. Assim, "cada decisão feita deve ser vista à luz de seu efeito global sobre as exigências básicas de cálculo" [7].

Vejamos, resumidamente, como estas áreas de cálculo estão interligadas [7].

#### BLINDAGEM

A espessura das paredes de material usado como blindagem biológica para atenuar a radiação constitui uma barreira à condução do calor. Acrescente-se a isto quaisquer vazios ou maus contatos entre as superfícies de chumbo e de aço que criam resistências térmicas provocando temperaturas internas mais altas. Deve-se também considerar as tensões que o recipiente deve suportar se o chumbo derreter e se expandir num caso de acidente por fogo (\*).

#### CONTENÇÃO

O uso de uma estrutura para proteção em casos de queda oferece uma resistência adicional à dissipação de calor se o recipiente deve permanecer sob convecção natural na atmosfera. A espessura das paredes

(\*) casos previstos por norma

de aço para prover resistência à penetração também oferece resistência à transferência de calor.

Em contraste, o uso de aletas - além de incrementar o coeficiente global de transferência de calor - provém, para o conjunto, integridade estrutural, aumentando a rigidez e auxiliando na absorção de choques.

#### PREVENÇÃO DE CRITICALIDADE

Para transporte de grandes quantidades de combustível irradiado, torna-se necessário, em alguns casos, construir dentro do recipiente ou em um de seus componentes um absorvedor de nêutrons cuja fusão não deve ocorrer nem mesmo durante um acidente por fogo (\*). A localização e configuração do absorvedor é importante se ele representar de algum modo uma barreira à transmissão de calor entre o elemento combustível e a atmosfera.

#### 1.4. DISSIPACÃO DE CALOR POR UM REPECI

Sob o ponto de vista puramente técnico, a função de um REPECI é a de dissipar o calor gerado pelos elementos combustíveis nele contidos.

Descritivamente, pode-se dizer que o percurso do calor é o seguinte:

1. Condução de calor no interior do próprio elemento combustível
2. Transmissão de calor entre os elementos combustíveis e a parede in-

---

(\*) caso previsto por norma.

terna do recipiente. Isso ocorre de três maneiras diferentes:

- i) radiação entre os elementos combustíveis e as paredes do engradamento
  - ii) condução de calor pelo engradamento
  - iii) convecção ao fluido, submetido a termosifonamento no interior do REPECI
3. Condução de calor pela blindagem
4. Dissipação de calor ao meio ambiente. Este calor é constituído de duas parcelas, a primeira proveniente do calor gerado pelos elementos combustíveis e a segunda proveniente do calor solar, resultante da absorção parcial dos raios solares incidentes sobre a superfície externa do REPECI.

Os gradientes de temperatura originam tensões térmicas no interior dos diversos componentes do recipiente, principalmente tendo-se em vista que materiais diferentes com diferentes coeficientes de expansão entram na sua confecção. Naturalmente a sua consideração num projeto é importante, mas não serão abordadas neste trabalho por se tratar de problemas tipicamente de mecânica pura [8].

P A R T E   I I

REPECI EM ESTUDO

II.1. ORIGEM E FINALIDADE DO TRABALHO

II.2. ASPECTOS TÉCNICOS ABORDADOS NESTE TRABALHO

## II.1. ORIGEM E FINALIDADE DO TRABALHO

Este trabalho se destina a servir de base para um futuro projeto de um REFECI com algumas modificações e/ou expansões.

Como os problemas térmicos estudados são inerentes à maior parte de tais recipientes, a escolha de um tipo para efeito de estudo poderia ter sido aleatória. A escolha de um recipiente de dimensões mostradas na figura 8 se deveu ao fato de este tipo poder transportar elementos combustíveis de qualquer reator de pesquisa brasileiro atual, TRIGA, ARGONAUTA ou IEAR-1.

Dessa forma, o estudo não é, pois, específico, visando o transporte de um tipo particular de elemento combustível.

As dimensões internas do recipiente foram ditadas pelas dimensões do elemento combustível mostrado na figura 9 [9], bastante semelhantes aos do reator de São Paulo, cuja escolha se deveu ao fato de, no início, não se ter em mãos fotografias e desenhos do elemento combustível de São Paulo que, por ser o maior dos três reatores, foi escolhido como referência para o dimensionamento da cavidade interna do recipiente, capaz de alojar nove elementos combustíveis.

Durante o transporte, esta cavidade deverá conter um fluido que servirá como meio eficaz de transferência de calor do elemento combustível às paredes do recipiente.



Tendo em vista o elemento combustível escolhido, e por comparação com as dimensões de recipientes para transporte de outros elementos combustíveis, chegou-se à conclusão sobre as dimensões do recipiente, mostradas na figura 8.

Uma vez prefixadas as dimensões internas, as dimensões externas ~~deveriam ser dimensionadas~~ <sup>deveriam ser dimensionadas</sup> em função da espessura da blindagem. Como o cálculo desta espessura não foi concluído no IPR, fixou-se esta em 22 cm, por comparação com recipientes existentes [2].

## II.2. ASPECTOS TÉRMICOS ABORDADOS NESTE TRABALHO

Neste trabalho são estudados os seguintes aspectos:

1. Remoção de calor dos elementos combustíveis por termosifonamento
2. Condução de calor pela blindagem
3. Dissipação de calor para o meio ambiente, que se dá por convecção e radiação.

Não será abordada a condução de calor através do engradamento por condução e nem a radiação entre os elementos combustíveis e as paredes internas. Este estudo é importante para o projeto de um RETECI, mas não se justifica nesta tese, pois além de ultrapassar o interesse da mesma, tal estudo deveria levar em conta as dimensões reais dos elementos combustíveis, o que não se tem em mãos.

Assim, o trabalho torna-se mais generalizado, pois o termosifonamento, aspecto estudado com maior ênfase, é também o processo de transmissão de calor em outros equipamentos tais como radiadores e transformadores.

P A R T E   I I I

ESTUDO DOS MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

- III.1. OPÇÕES PARA O TRATAMENTO DO PROBLEMA
- III.2. TERMOSIFONAMENTO
- III.3. EQUACIONAMENTO GERAL DO PROBLEMA

### III.1. OPÇÕES PARA O TRATAMENTO DO PROBLEMA

O calor dissipado pela superfície externa de um REBECI se origina de duas fontes: o calor gerado no interior do recipiente devido ao queimamento do combustível irradiado e o calor solar, resultante da parcela absorvida dos raios solares incidentes sobre a superfície, como ilustrado na figura 10.

O problema pode ser tratado por três formas distintas:

#### 1. Tratamento puramente analítico

Procura-se traduzir em correlações matemáticas os vários fenômenos envolvidos. Não se adotou esta orientação porque o tratamento matemático seria exaustivo e, mesmo assim, dever-se-ia tomar muitos valores empíricos que, além de não se ter em mãos atualmente, resultariam num certo grau de incerteza das correlações obtidas.

#### 2. Tratamento teórico-experimental

Escolheu-se este, tendo-se em vista que é interessante um desenvolvimento matemático complementado com dados experimentais. Este tratamento é o mais simples, pois traduz em correlações matemáticas os fenômenos mais simples e precisos, sendo que os parâmetros que para sua obtenção necessitariam de complexo desenvolvimento matemático foram obtidos por uma experiência de simulação relativamente simples e precisa.

#### 3. Tratamento puramente experimental

Com a adoção dessa orientação, todos os fenômenos térmicos envolvidos seriam tratados experimentalmente, desde os mais simples - para os quais existem correlações já largamente utilizadas e que dão resultados confiáveis - aos mais complexos. Por isso não se adó

tu tal processo, que poderia ser justificável se se tratasse de estudar um tipo de recipiente para um projeto completamente especificado, o que não é o caso deste trabalho, de cunho um pouco mais generalizado.

### III.2. TERMOSIFONAMENTO

A água envolvendo os elementos combustíveis tem sua temperatura aumentada enquanto que a água nos canais externos, em contato com as paredes internas do recipiente, cede o calor ao corpo do recipiente. Como estes canais estão ligados em circuito fechado, surge uma circulação de água devido unicamente às diferenças de densidades de mesma entre estes canais (termosifonamento), como mostra a figura 11.

O mecanismo da retirada e transferência de calor pode ser descrito da forma seguinte:

Primeiramente há transmissão de calor no interior do elemento combustível que, ao atingir a superfície, é absorvido pela água em circulação com uma vazão *u* e também é transmitido por radiação às paredes de engradamento, e deste por condução às paredes internas do recipiente. Todo o calor que aí chega flui por condução pela blindagem para a parte externa e, daí, para o meio ambiente, por convecção e radiação.

### III.3. EQUACIONAMENTO DO PROBLEMA

#### i) Aspecto Térmico

O calor retirado dos elementos combustíveis pela vazão nos canais ascendentes provoca um aumento de temperatura na água, calculado pela equação

$$T_1 - T_4 = \frac{\dot{Q}_g}{c_p \times \dot{m}_i} \quad (\text{III-1})$$

onde

- $T_1$  é a temperatura máxima interna
- $T_4$  é a temperatura mínima interna
- $\dot{Q}_g$  é a taxa de geração de calor
- $c_p$  é o calor específico da água
- $\dot{m}_i$  é a vazão da água

A partir do ponto 1 (ver figura 11), a água começa a ceder calor às paredes internas do recipiente.

Em regime estacionário o calor gerado no interior dos elementos combustíveis deve ser integralmente transmitido a estas paredes, ou seja, o aumento de temperatura da água no ramo ascendente deve ser numericamente igual ao abaixamento de temperatura no ramo descendente.

Se  $\frac{dq}{dA}$  é a taxa de absorção de calor por unidade de área pela superfície interna do recipiente, e valor de  $\int_A \frac{dq}{dA} dA$ , integrado em toda a superfície interna fornece o valor global de calor absor-

vido por esta.

Seu  $\frac{dQ}{dA}$  função da posição e do campo de temperaturas  $T_i$ :

$$\frac{dQ}{dA} = \Phi(T_i, z) \quad (\text{III-2})$$

Então, a equação (1) se transforma em:

$$T_1 - T_4 = \frac{1}{c \cdot m} \int_A \Phi(T_i, z) dA \quad (\text{III-3})$$

O valor da integral da equação (III-3) foi obtido experimentalmente, subdividindo-a em três parcelas -  $\Psi_s$ ,  $\Psi_l$  e  $\Psi_i$ , referentes à parte superior, lateral e inferior da superfície interna do recipiente.

As experiências explicadas na parte IV do trabalho, deram o valor integrado do fluxo de calor para as regiões, em função das temperaturas internas  $T_{si}$  e  $T_{li}$  (temperaturas médias na região superior e lateral da água em termosifonamento).

Agora, a integral se transforma em:

$$\int_A \Phi(T_i, z) dA = \Psi_s(T_{si}, T_{li}) + \Psi_l(T_{si}, T_{li}) + \Psi_i(T_{si}, T_{li}) \quad (\text{III-4})$$

## ii) Aspecto Hidráulico

O objetivo é determinar o valor da vazão de água em termosifonamento em função da carga térmica do recipiente.

A força motriz ou ascensional do termosifonamento é proveniente das diferenças de densidade média nos ramos ascendente e descendente, e é calculada pela fórmula:

$$F_m = \left[ \int \rho_d(z) dz - \int \rho_a(z) dz \right] \times g \quad (\text{III-5})$$

onde

$\rho_d$  é a densidade média da água no ramo descendente  
 $\rho_a$  é a densidade média da água no ramo ascendente

devendo ser numericamente igual às perdas de carga devidas ao atrito através dos canais e perdas de cargas localizadas tais como expansão, contração e mudanças de direção. Essas perdas são calculadas no Anexo F.

#### Interligação das duas partes

Uma vez que o campo de temperaturas no interior do recipiente é determinado pela vazão e esta é dependente do campo de temperaturas, os valores finais da vazão, das funções  $\psi_i(T_{s,i}, T_{c,i})$  e do campo de temperatura são obtidos após algumas reiterações.

O cálculo manual seria extremamente trabalhoso. O processo adotado foi o de elaborar uma programação para computador digital.

As etapas do cálculo são as enumeradas abaixo e cujo diagrama de bloco é mostrado na figura 17, e cuja listagem se encontra nas páginas 51 a 59.

1. Arbitra-se um valor para a vazão  $w$  e para a temperatura máxima da água  $T_1$ .
2. Obtém-se os campos de temperaturas e os valores das funções  $\Psi(T_1, T_2)$ .
3. Com o campo de temperaturas assim determinado, verifica-se a força ascensional é exatamente igual às perdas de carga. Caso afirmativo, o programa está terminado. Caso contrário e arbitra-se outro valor para a vazão em função da qual outro campo de temperatura e no vos valores das funções  $\Psi(T_1, T_2)$  são encontrados. Fazer a mesma verificação e se o programa não fechar, a partir desse ponto os valores da vazão são determinados através da equação de uma reta tendo como ordenada a diferença entre as perdas de carga e a força ascensional e, como abcissa, a vazão. Para uma diferença nula entre as perdas de carga e a força ascensional, determina-se o novo valor da vazão e se repetem os cálculos.



P A R T E I V

- IV.1. GENERALIDADES
- IV.2. RELAÇÕES DE ANALOGIA ENTRE OS SISTEMAS ELÉTRICO E TÉRMICO
- IV.3. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA PARA SE UTILIZAR NA EXPERIÊNCIA ANALÓGICA
- IV.4. APARELHO SIMULADOR
- IV.5. OBTENÇÃO DAS RESISTÊNCIAS TÉRMICAS À DISSIPACÃO DO CALOR PELA SUPERFÍCIE DO RECIPIENTE
- IV.6. SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES NA EXPERIÊNCIA

#### IV.1. GENERALIDADES

Quando dois fenômenos obedecem equações matemáticas semelhantes - ditos fenômenos análogos - é possível estudar um deles transpondo os resultados ou concluindo o que se quer para o outro através de relações análogicas que ligam os dois [10].

Isto significa que a equação de descrição do comportamento de um sistema pode ser utilizada em outro sistema, simplesmente pela mudança das variáveis. Por exemplo, o fluxo de calor através de uma resistência térmica é análogo ao fluxo de corrente em uma resistência elétrica porque ambos os tipos de fluxo obedecem a equações semelhantes. Se substituirmos, na equação de fluxo de calor  $\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_t}$  o símbolo de potencial de temperatura  $T$  pelo de potencial elétrico  $V$ , e o símbolo de resistência térmica  $R_t$  pelo da resistência elétrica  $R_e$  obtemos a equação para a corrente:

$$i = \frac{\Delta V}{R_e}$$

Assim, tendo-se de determinar fluxos de calor e as distribuições de temperatura em um recipiente cilíndrico de parede espessa, dentro do qual há geração de calor, pode-se estudar um caso mais simples através de uma analogia - no caso a analogia elétrica - onde se mede potencial em lugar de temperatura, corrente em lugar de calor e resistência elétrica em lugar de resistência térmica.

O estudo do problema fica assim grandemente simplificado uma vez que as medidas elétricas são mais fáceis de serem feitas sem carregarem consigo erros de incerteza tais como aconteceria no posicionamento ou colocação de termo-pares para medir temperaturas, e sem contar com

problemas inerentes à medida de fluxo de calor, extremamente difíceis de serem realizadas.

#### IV.2. RELAÇÕES DE ANALOGIA ENTRE OS SISTEMAS ELÉTRICO E TÉRMICO

Quer-se simular a condução de calor através do corpo cilíndrico maciço da figura 12.A por uma analogia elétrica. Utilizando um modelo de certo material de resistividade  $\rho$  conhecida, e na escala  $\lambda$  conforme figura 12.B as relações analógicas são deduzidas da forma que se segue:

O fluxo total de calor  $\dot{Q}$ , através do corpo da figura 12.A é dado por:

$$\dot{Q} = kA \frac{\Delta T}{\Delta l} \quad (IV-1)$$

onde

- A é a área transversal do corpo
- $\Delta T$  é a diferença de temperatura entre as extremidades
- $\Delta l$  é o comprimento do corpo.

A corrente elétrica  $i$  que atravessa o modelo é dado pela relação:

$$i = \frac{A_m \times \Delta V}{\rho \times \Delta l_m} \quad (IV-2)$$

onde:

- $A_m$  é a área transversal do modelo
- $V$  é a diferença de voltagem entre os extremos do modelo

$A_m$  é a área transversal do modelo  
 $\Delta V$  é a diferença de voltagem entre os extremos do modelo  
 $\rho$  é a resistividade do modelo  
 $\Delta L_m$  é o comprimento do modelo.

Dividindo-se a equação (1) pela equação (2) tem-se

$$\frac{Q}{I} = \rho k \left( \frac{A \times \Delta L_m}{A_m \times \Delta L} \right) \frac{\Delta T}{\Delta V} \quad (\text{IV-3})$$

Fazendo

$$\frac{Q}{I} = \beta \quad (\text{IV-4})$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta V} = \xi \quad (\text{IV-5})$$

e notando que

$$\frac{A \times \Delta L_m}{A_m \times \Delta L} = \lambda \quad (\text{IV-6})$$

vem

$$\beta = \rho k \lambda \xi \quad (\text{IV-7})$$

As resistências térmica e elétrica podem ser postas sob as seguintes formas:

$$R_t = \frac{\Delta T}{Q} \quad (\text{IV-8})$$

.JT.

$$R_e = \frac{\Delta V}{i} \quad (\text{IV-9})$$

Dividindo a equação (8) pela equação (9), vem:

$$\frac{R_t}{R_e} = \frac{\Delta T \times i}{\Delta V \times \dot{Q}} = \frac{\xi}{\sigma}$$

ou

$$R_t = \frac{\xi}{\sigma} \times R_e \quad (\text{IV-10})$$

O quadro abaixo sintetiza as relações analógicas:

QUADRO IV.1

CASO REAL	CASO ANALÓGICO	RELAÇÃO
Diferença de temperatura ( $\Delta T$ )	Diferença de potencial ( $\Delta V$ )	$\Delta T = \xi \times \Delta V$
Fluxo de calor ( $\dot{Q}$ )	Corrente elétrica ( $i$ )	$\dot{Q} = \beta \times i$
Resistência térmica ( $R_t$ )	Resistência elétrica ( $1/R_e$ )	$R_t = (\xi/\beta) R_e$
Condutividade térmica ( $k$ )	Condutividade elétrica ( $\gamma_s$ )	$k\beta = \rho/\lambda\xi$

IV-3. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA PARA SE UTILIZAR NA EXPERIÊNCIA ANALÓGICA

Como nas relações analógicas comparece o valor da condutividade térmica  $k$  do material do recipiente e como no caso em foco materiais diferentes com diferentes condutividades térmicas estão presentes, sur-

ge a necessidade de se calcular um valor efetivo para a condutividade térmica, tal que mantidas as mesmas condições permite a passagem do mesmo fluxo de calor.

Considerou-se dois casos:

1. Calculou-se coeficiente efetivo para a parte superior do recipiente, a qual compreende um tronco de cone sendo o raio menor igual ao raio interno do recipiente e o raio maior igual ao raio externo. Ver figura 24.
2. Calculou-se um coeficiente efetivo para a parte lateral, a qual corresponde o restante do recipiente quando se retiram os dois troncos de cone, o superior e o inferior, conforme mostra a figura 24.

#### PARTE SUPERIOR

A fórmula deduzida no Anexo B para a resistência térmica oferecida pela blindagem superior quando três materiais diferentes estão presentes é a seguinte:

$$R_{ts} = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{k_i} \frac{h_i - h_{i-1}}{(\alpha h_i + B_1)(\alpha h_{i-1} + B_1)} \quad (\text{IV-11})$$

onde (Ver figura 24 para definição de algumas dimensões)

$k_i$  é o coeficiente de condutividade térmica dos materiais presentes

$\alpha$  é o coeficiente angular da reta  $B_1 B_4$ .

Para um recipiente com as mesmas dimensões e a mesma diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa, mas construído de apenas um material, ela se reduz à seguinte:

.yF.

$$R_{ts2} = \frac{1}{\pi k_{efs}} \frac{l_3}{(\alpha l_3 + B_1) B_1} \quad (IV-12)$$

onde

$k_{efs}$  é o coeficiente de condutividade efetivo para a parte superior

Ver figura 24 para definição das outras dimensões.

Naturalmente que

$$R_{ts1} = R_{ts2} \quad (IV-13)$$

tendo-se então

$$k_{efs} = \frac{l_3}{(\alpha l_3 + B_1) B_1} \frac{1}{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{k_i} \frac{l_i - l_{i-1}}{(\alpha l_i + B_1)(\alpha l_{i-1} + B_1)}} \quad (IV-14)$$

O valor obtido para  $k_{efs}$  é igual a

$$k_{efs} = 0,0744 \quad (IV-15)$$

#### PARTE LATERAL

A fórmula deduzida no Anexo B para a resistência térmica oferecida pela blindagem quando diferentes materiais estão presentes é a seguinte:

.yr.

$$R_{tl1} = \frac{1}{2\pi h_0} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{k_i} \left[ \ln\left(\frac{k_i}{k_{i-1}}\right) - \ln\left(\frac{B_i}{B_{i-1}}\right) \right] \quad (\text{IV-16})$$

onde

$$h_0 = 2 B_0$$

$k_i$  = coeficiente de condutividade térmica dos materiais presentes.

Ver figura 24 para definição de algumas dimensões.

Mantidas as mesmas condições para um recipiente confeccionado de um único material a fórmula IV. 16 se reduz à seguinte:

$$R_{tl2} = \frac{1}{2\pi h_0 k_{efl}} \left[ \ln\left(\frac{k_4}{k_1}\right) - \ln\left(\frac{B_4}{B_1}\right) \right] \quad (\text{IV-17})$$

Pondo-se

$$R_{tl1} = R_{tl2} \quad (\text{IV-18})$$

tem-se que

$$k_{efl} = \frac{\ln\left(\frac{k_4}{k_1}\right) - \ln\left(\frac{B_4}{B_1}\right)}{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{k_i} \left[ \ln\left(\frac{k_i}{k_{i-1}}\right) - \ln\left(\frac{B_i}{B_{i-1}}\right) \right]} \quad (\text{IV-19})$$

O valor calculado para  $k_{efl}$  é igual a

$$k_{efl} = 0,07 \quad (\text{IV-20})$$



#### IV.4. APARELHO SIMULADOR

A simulação elétrica da transmissão de calor pelo RETECCI foi realizada por um aparelho mostrado na figura 14.

O aparelho reproduz apenas um setor de 15° do recipiente completo em escala 1:2. Esta representação parcial é válida, uma vez que não há intercâmbio de calor entre os setores do recipiente. No anexo 2 encontram-se as correções a serem feitas nas medidas das experiências para se extrapolar os valores ao recipiente inteiro.

As faces laterais interna e externa são realizadas analógicamente por placas curvas de cobre e as faces superior e inferior, internas e externas, por placas planas do mesmo material. A resistência térmica da blindagem é simulada por uma solução eletrolítica cuja resistividade é calculada no Anexo D, e para as resistências térmicas das interfaces recipiente/ar são utilizadas resistências variáveis.

O objetivo do aparelho é medir o valor dos fluxos de calor através das paredes internas do recipiente, ou seja, o levantamento das funções  $\dot{Q}_i(T_{s_i}, T_{l_i})$  definidas na parte II do trabalho.

IV.5. OBTENÇÃO DAS RESISTÊNCIAS TÉRMICAS À DISSIPACÃO DO CALOR PELA SUPERFÍCIE DO RECIPIENTE

Fixou-se, desde o início, o formato, dimensões, número de aletas e material utilizado na sua construção. Para a superfície aletada do recipiente foram computadas as resistências térmicas para o calor dissipado por convecção ( $R_{tc}$ ) e radiação ( $R_{tr}$ ), que são agrupadas para dar uma resistência térmica total  $R_{tt}$ .

RADIAÇÃO

Foi considerado como área de transferência de calor por radiação pelas paredes laterais  $A_{lr}$  a área da envoltória do recipiente aletado (ver figura 13)

$$A_{lr} = \pi (D + e) L \quad (IV-21)$$

onde

D é o diâmetro externo do recipiente

$e$  é a largura das aletas

L é a altura do recipiente.

Desde que para recipientes aletados os lados são considerados radiadores com cavidades (cavity-type radiators) uma emissividade efetiva  $\xi$  pode ser calculada pela fórmula [4]

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{s}{S} \left( \frac{1}{\epsilon_a} - 1 \right)} \quad (IV-22)$$

.yr.

onde

$\xi_n$  é a emissividade do recipiente e aletas

$s$  é a distância média entre aletas, face a face

$S$  é definido como

$$S = s + \omega l \quad (\text{IV-23})$$

O coeficiente de transmissão de calor por radiação  $h_r$  é calculado pela fórmula

$$h_r = \frac{0,17 \times 10^{-4}}{T_{ex} - T_{ca}} \left[ \left( \frac{T_{ex}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{ca}}{100} \right)^4 \right] \frac{\text{cal}}{\text{seg. cm}^2} \quad (\text{IV-24})$$

e anexo E

onde

$T_{ex}$  é a temperatura externa do recipiente em graus Kelvin

$T_{ca}$  é a temperatura do ambiente em graus Kelvin

O fluxo de calor por radiação  $\dot{Q}_r$  é dado pela fórmula

ou 
$$\dot{Q}_r = h_r A_r (T_{ex} - T_{ca})$$

$$\dot{Q}_r = \frac{T_{ex} - T_{ca}}{R_{tr}} \quad (\text{IV-25})$$

onde  $A_r$  é a área de radiação em  $\text{cm}^2$

$R_{tr}$  é a resistência térmica à radiação dada por:

$$R_{tr} = \frac{1}{h_r \cdot A_r} \quad (\text{IV-26})$$

.yr.

### CONVECCÃO

O calor dissipado por convecção  $\dot{Q}_c$  é dado pela fórmula:

$$\dot{Q}_c = h_c A_c (T_{ex} - T_{ar}) \quad \text{ou}$$

$$\dot{Q}_c = \frac{T_{ex} - T_{ar}}{R_{tc}} \quad (\text{IV-27})$$

onde

$h_c$  é o coeficiente de transmissão por convecção calculado pela fórmula

$$h_c = 0,312 \times 10^{-4} (T_{ex} - T_{ar})^{1/3} \quad | \text{II} | \text{e anexo E} \quad (\text{IV-28})$$

$A_c$  é a área de convecção

$R_{tc}$  = resistência térmica à convecção dada por

$$R_{tc} = \frac{1}{h_c A_c}$$

Como se trata de recipiente aletado a área de convecção  $A_c$  é dada por [2]

$$A_c = \pi D L - m Y_0 L + 2 l m L' \eta \quad (\text{IV-29})$$

onde

- $m$  é o número de aletas
- $Y_0$  é a espessura das aletas
- $L'$  é a altura das aletas
- $\eta$  é a (eficiência) das aletas
- $L$  é a altura do recipiente.

A eficiência  $\eta$  da aleta é dada pela expressão

$$\eta = \frac{t g h (b)}{b} \quad (\text{IV-30})$$

onde

b é o parâmetro da aleta dado por

$$b = l \sqrt{\frac{a^2 h_c}{k \gamma_0}} \quad (IV-31) \quad |21$$

onde

$\gamma_0$  é a espessura das aletas

$l$  é a largura das aletas

$k$  é a condutividade térmica das aletas

$h_c$  é o coeficiente convectivo da transmissão de calor da superfície.

Baseado nos gráficos das figuras 15 e 16, fez-se uma subrotina cuja listagem é mostrada na página 62 designada por subrotina REND, na qual o valor de entrada é o coeficiente de transmissão por convecção e o valor de saída para o aço 304-SS.

Como visto, a área efetiva de transferência de calor por convecção depende da eficiência das aletas  $\eta$ , que, por sua vez, depende do coeficiente convectivo de transferência de calor  $h_c$ .

A resistência térmica total pode ser calculada da seguinte forma: o calor dissipado por convecção  $\dot{Q}_c$  e por radiação  $\dot{Q}_r$  são dados pelas expressões

$$\dot{Q}_c = h_c \times A_c \times \Delta T$$

$$\dot{Q}_r = h_r \times A_r \times \Delta T$$

onde

$\Delta T$  é a diferença de temperatura entre o recipiente e o ambiente.

.yr.

O calor total dissipado é igual à soma do calor dissipado por radiação e por convecção.

$$\dot{Q}_t = \Delta T (A_c \times h_c + A_n \times h_n)$$

$$\dot{Q}_t = \frac{\Delta T}{\frac{l}{A_c h_c + A_n h_n}} \quad (\text{IV-32})$$

A resistência térmica total  $R_{tt}$  à dissipação de calor pela superfície do recipiente é dada por:

$$R_{tt} = \frac{l}{A_c h_c + A_n h_n} \quad (\text{IV-33})$$

Fêz-se dois programas de computador que utilizam a subrotina REND e que estão listados nas páginas 60 e 61 para calcular as resistências térmicas totais, das superfícies superior e lateral do recipiente, respectivamente, obtendo-se os gráficos das figuras 18 e 19. Em função destes obtêm-se dois outros mostrados nas figuras 20 e 21, aplicando as relações analógicas deduzidas na parte IV.2 e cuja finalidade é evidenciada na parte IV.5.

#### IV.5. SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES NA EXPERIÊNCIA

A determinação experimental das funções  $\Psi_i(T_s; T_i)$  e do campo de temperaturas é feita utilizando o aparelho mostrado na figura 14, segundo montagem e esquema elétrico mostrados nas figuras 22 e 23.

Os potenciais são medidos em relação à terra e a sequência das operações é a seguinte:

1. Colocar a placa interna <sup>superior</sup> a um certo potencial  $\Delta V S_i$
2. Colocar as placas internas lateral e <sup>inferior</sup> a um certo potencial  $\Delta V L_i$ , tal que

$$\Delta V L_i \leq \Delta V S_i$$

3. Ajustar os valores das resistências  $R_{le}$  e  $R_{se}$  até que coincidam com os valores dados pelos gráficos das figuras 20 e 21 para diferenças de potencial iguais a  $\Delta V L_e$  e  $\Delta V S_e$  respectivamente,

onde

$R_{le}$  simula a resistência oferecida à dissipação de calor pela superfície lateral do recipiente

$R_{se}$  simula a resistência oferecida à dissipação de calor pela superfície superior do recipiente

$\Delta V S_e$  diferença de voltagem entre a superfície externa superior e a terra

$\Delta V L_e$  diferença de voltagem entre a superfície externa lateral e a terra. Esses potenciais simulam as diferenças de temperatura entre a superfície do recipiente e o ar ambiente.

4. Medir as correntes  $i_1, i_2, i_3, i_4$  e  $i_5$  que são análogas, respectivamente, aos fluxos de calor absorvidos pelas superfícies internas lateral e inferior do recipiente e dos fluxos de calor dissipados pelas superfícies externas, superior e lateral do recipiente.
5. Aplicar as relações analógicas, corrigidas conforme quadro II, convertendo as medidas elétricas nos valores térmicos procurados, anexo C
6. Repetir a sequência de operações para outros valores do potencial das placas internas lateral e inferior para o mesmo potencial da placa interna superior.
7. Variar o potencial da placa superior interna e repetir o processo.

#### IV.7. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Da experiência realizada obteve-se os seguintes dados, mostrados nas figuras 27 a 31.

Uma subrotina feita, designada por FLUXO, engloba todos esses resultados, e para um par de valores TSI, TLI - temperaturas internas na parte superior e lateral - obtêm-se todos os outros valores FS, FL, FI, TLS e TLE - fluxos de calor absorvido pelas superfícies internas superior, lateral e inferior, e temperaturas externas superior e lateral, respectivamente. Essa subrotina foi introduzida no programa principal que interliga os cálculos térmicos e hidráulicos, conforme parte III.3.iii.

Dêsse programa resultou os valores dos fluxos de calor e a distribuição de temperaturas compatíveis com uma certa vazão e para uma temperatura interna máxima pré-fixada.

Obteve-se também as temperaturas atingidas pelo elemento combustível e seu revestimento, e as temperaturas das superfícies externas do recipiente, mostrados nas figuras 32, 33 e 34 em função do calor total gerado.

#### IV.8. CONCLUSÕES

- 1) Como a temperatura máxima na superfície externa do recipiente não deve exceder 82°C - conforme norma - a taxa de geração máxima permissível para o recipiente em questão fica limitada em 10 kW, segundo o gráfico na figura 32.



- 2) Utilizando os gráficos das figuras 33 e 34, e atento às limitações das temperaturas máximas permissíveis para o revestimento e o elemento combustível, observa-se que as temperaturas atingidas por estes estão muito aquém daqueles valores que iniciaram um processo de comprometimento de sua integridade.

Dessa forma, a limitação para a taxa máxima de geração fica determinada pelas temperaturas atingidas na superfície externa do recipiente.

A N E X O A

PERDAS DE CARGA

As perdas de carga computadas se referem àquelas devido à fricção ao longo dos canais no interior do recipiente, como mostra a figura 11, e às perdas localizadas - expansão, contração e mudança de direção.

PERDAS POR FRICÇÃO

Conforme mostra a figura 11, existem três tipos de canais para o escoamento do fluido refrigerante.

O primeiro tipo corresponde aos canais entre as placas dos elementos combustíveis, em número de noventa, possuindo os seguintes parâmetros:

$$\begin{aligned} D_h &= 0,95 \text{ cm} \\ A_p &= 3,52 \text{ cm}^2 \\ \dot{m}_1 &= \dot{m}_2/90 \end{aligned}$$

onde:

- $D_h$  é o diâmetro hidráulico do canal.
- $A_p$  é a área de passagem do canal.
- $\dot{m}_1$  é a vazão em um canal.
- $\dot{m}_2$  é a vazão total.

O segundo e terceiro tipos são canais periféricos, descendentes, nos quais o fluido refrigerante cede calor às paredes internas do recipiente.

Os do segundo tipo, de formato aproximadamente ~~quadrado~~ <sup>triangular</sup> e em número de ~~4~~ <sup>8</sup>, possui os seguintes parâmetros:

$$\begin{aligned} D_h &= 3,672 \text{ cm} \\ A_p &= 19,8032 \text{ cm}^2 \\ \dot{m}_1 &= 0,066 \end{aligned}$$

e para o terceiro tipo, de forma aproximadamente ~~quadrado~~ <sup>retangular</sup>, e em número de ~~4~~, tem-se:

$$\begin{aligned} D_h &= 5,6 \text{ cm} \\ A_p &= 35,6364 \text{ cm}^2 \\ \mu &= 0,118 \end{aligned}$$

As perdas por fricção  $\Delta P_f$  são calculadas pelas seguintes fórmulas [1] em função do regime de escoamento:

$$\Delta P_{ft} = \frac{2f L \rho v^2}{D_h} \quad \text{para regime turbulento (A.0)}$$

$$\Delta P_{fl} = \frac{64}{Re} \frac{L}{D_h} \frac{\rho v^2}{2} \quad \text{para regime laminar (A.1)}$$

onde

- $\mu$  viscosidade da água
- L- comprimento do canal
- $D_h$  - diâmetro do canal
- $R_e$  - número de Reynolds
- f- fator de fricção
- v- velocidade média da água

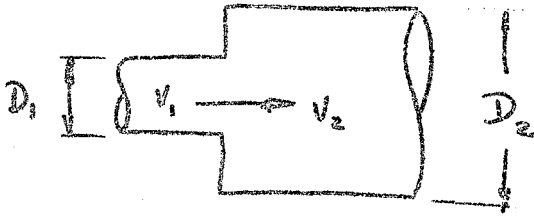
### PERDAS LOCALIZADAS

Estas se dividem em três grupos.

#### 1. EXPANSÃO [1]

As perdas por expansão são calculadas pela fórmula

$$\Delta P_e = K_e \frac{\rho v_1^2}{2} \quad (A-2)$$



onde  $\rho$  é a densidade da água

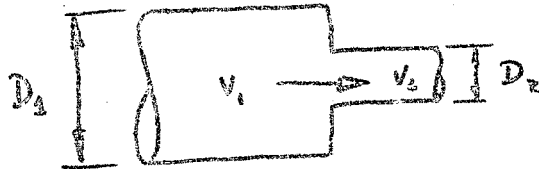
$$K_e = \left( 1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right)^2 \quad (A-3)$$

$v_1$  velocidade à montante

CONTRAÇÃO [1]

Estas são calculadas pela fórmula

$$\Delta P_c = K_c \frac{\rho v_c^2}{2} \quad (A-4)$$



onde

$K_c$  varia com a razão  $D_2/D_1$  da seguinte forma:

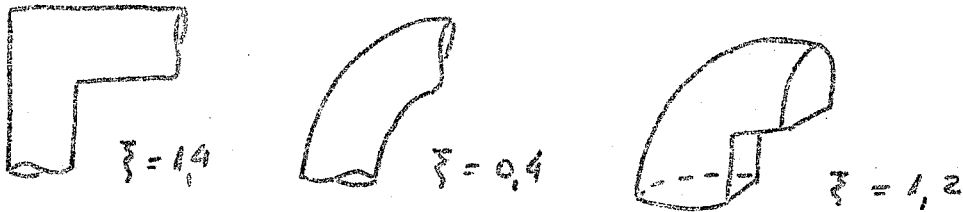
$D_2/D_1$	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0
$K_c$	0,13	0,28	0,38	0,45	0,50

### 3. MUDANÇA DE DIREÇÃO

Este caso é de difícil resolução analítica (8) e então adotou-se um processo aproximado, resolvendo-o como se se tratasse de curvas de 90° em tubulações. A fórmula para o cálculo dessas perdas é a seguinte:

$$\Delta P_{md} = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (A-5)$$

- $\Delta P_{md}$  - perdas por mudança de direção  
 $\rho$  - densidade  
 $v$  - velocidade média  
 $\xi$  - coeficiente para mudança de direção com valores distintos para cada configuração da curva como mostra a figura abaixo.



Adotou-se a pior situação, ou seja,

$$\xi = 1,4$$

Para o presente trabalho, considerou-se esta aproximação válida.

Anexo B

Deduções das fórmulas II.11 e II.16

① Fórmula II.11. Ver figura 24

O fluxo de calor  $\dot{Q}$  através de um corpo é dado por

$$\dot{Q} = -kA \frac{dt}{dx} \quad (B.1)$$

e seja

$$y = \alpha x + B_1 \quad (B.2)$$

a equação da reta B1 B4. A fórmula (1) fica

$$\dot{Q} = -k\pi (\alpha x + B_1)^2 \frac{dt}{dx} \quad (B.3)$$

$\alpha$  é o coeficiente angular da reta

Integrando a fórmula (3) quando os materiais estão presentes, tem-se

$$-\dot{Q} \int_0^{L_3} \frac{k_i dx}{(\alpha x + B_1)^2} = \frac{1}{\pi} \int_{T_i}^{T_{ex}} dt \quad (B.4)$$

onde

$T_{ex}$  é a temperatura da superfície externa

$T_i$  é a temperatura da superfície interna

A equação (4) se transforma em

$$-\dot{Q} \left( \int_0^{L_1} \frac{k_1^{-1}}{(\alpha x + B_1)^2} dx + \int_{L_1}^{L_2} \frac{k_2^{-1}}{(\alpha x + B_1)^2} dx + \int_{L_2}^{L_3} \frac{k_3^{-1}}{(\alpha x + B_1)^2} dx \right) =$$

$$= \frac{1}{\pi} \Delta T \quad (3.5)$$

$$-\dot{Q} \left( \frac{1}{k_1 \alpha} \left[ \frac{1}{\alpha x + B_1} \right]_0^{L_1} + \frac{1}{k_2 \alpha} \left[ \frac{1}{\alpha x + B_1} \right]_{L_1}^{L_2} + \frac{1}{k_3 \alpha} \left[ \frac{1}{\alpha x + B_1} \right]_{L_2}^{L_3} \right) =$$

$$= \frac{1}{\pi} \Delta T \quad (3.6)$$

A equação 3.6 pode ser escrita da seguinte maneira

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{k_i} \frac{k_i - k_{i-1}}{(\alpha k_i + B_i)(\alpha k_{i-1} + B_i)}} \quad (3.7)$$

cuja denominadora é a expressão procurada

② Fórmula III.16

$$\dot{Q} = -kA \frac{dt}{dx} \quad (8.8)$$

Equação da reta B.04 para as dimensões reais do recipiente conforme fig. 8

$$y = 1,2x + 33,5$$

(8.9)

$$\dot{Q} = -4k\pi x(1,2x + 33,5) \frac{dt}{dx} \quad (8.10)$$

onde  $A = 2\pi r h = 2\pi r (2y)$

$$A = 4\pi r (1,2x + 33,5) \quad (8.11)$$

Integrando a equação (10) para 3 materiais diferentes, vem:

$$-\dot{Q} \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{k_1(1,2x^2 + 33,5)} dx = 4\pi \int_{T_i}^{T_{ex}} dt \quad (8.12)$$

$$\begin{aligned} -\dot{Q} \left[ \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{k_1(1,2x^2 + 33,5)} dx + \int_{r_2}^{r_3} \frac{1}{k_2(1,2x^2 + 33,5)} dx + \int_{r_3}^{r_4} \frac{1}{k_3(1,2x^2 + 33,5)} dx \right] \\ = 4\pi \Delta T \quad (8.13) \end{aligned}$$



A equação (13) nos leva a

$$\dot{Q} \left( \frac{1}{33,5} \left| \frac{\ln x - \ln(1,2x + 33,5)}{K_1} \right|_{A_1}^{A_2} + \frac{1}{33,5} \left| \frac{\ln x +}{K_2} \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{\ln(1,2x + 33,5)}{K_2} \right|_{A_2}^{A_3} + \frac{1}{33,5} \left| \frac{\ln x - \ln(1,2x + 33,5)}{K_3} \right|_{A_3}^{A_4} \right) = \pi D T$$

que, depois de rearranjada fornece

$$\dot{Q} = \frac{\pi D T}{\frac{1}{50 \times 33,5} \sum_{i=1}^3 \left[ \ln \left( \frac{R_{i+1}}{r_i} \right) - \ln \left( \frac{B_{i+1}}{B_i} \right) \right]} \quad (14)$$

Como  $33,5 = B_0$  é a ordenada na origem a fórmula procurada, denominador da eq.(14), fica:

$$R_{i+1} = \frac{1}{2\pi k_0} \sum_{i=1}^3 \left[ \ln \left( \frac{R_{i+1}}{r_i} \right) - \ln \left( \frac{B_{i+1}}{B_i} \right) \right] B_{i+1}$$

A N E X O

CORREÇÕES A SEREM FEITAS  
SOBRE OS DADOS EXPERIMENTAIS

- 1) Como se construiu apenas um setor abrangido por um ângulo de  $15^\circ$ , do aparelho simulador, todas as resistências ficaram multiplicadas por um fator de 24, e a corrente dividida pelo mesmo fator. Baseado nisso, as relações analógicas dadas no Quadro I ficam modificadas para as seguintes dadas no Quadro II, abaixo.

QUADRO II

CASO REAL	CASO ANALÓGICO	RELAÇÃO
Diferença de temperatura ( $\Delta T$ )	Diferença de potencial ( $\Delta V$ )	$\Delta T = \frac{1}{24} \Delta V$
Fluxo de calor ( $\dot{Q}$ )	Corrente elétrica ( $i$ )	$\dot{Q} = 24 \beta i$
Resistência térmica ( $R_t$ )	Resistência elétrica ( $R_e$ )	$R_t = (\frac{1}{24} \beta) R_e$
Condutividade térmica ( $k$ )	Condutividade elétrica ( $\gamma_e$ )	$k \beta = \rho / \lambda \gamma_e$

- 2) O calor total dissipado pela superfície externa do recipiente corresponde à soma do calor gerado no interior do recipiente e da parcela absorvida do calor solar.

A experiência não prevê isso e considera todo o calor dissipado como sendo calor gerado. Os valores encontrados para as temperaturas internas e para os fluxos de calor, superior lateral e inferior, devem, portanto, sofrer uma correção.

Sendo

$Q_t$  o valor do fluxo de calor dissipado pelas superfícies externas do recipiente dado pela experiência e considerado como calor gerado pela mesma

$T_{i1}$  a temperatura da superfície interna e obtida com o valor

$T_{ex}$  a temperatura da superfície externa

$Q_g$  o calor gerado no interior do recipiente, igual a

$$Q_g = Q_t - Q_{sa} \quad (C-1)$$

onde

$Q_{sa}$  é o calor solar absorvido pela superfície externa do recipiente

o novo valor para a temperatura interna  $T_{i2}$ , em função de  $Q_g$ , é calculado pela seguinte expressão:

$$T_{i2} = \frac{Q_g}{Q_t} (T_{i1} - T_{ex}) + T_{ex} \quad (C-2)$$

A N E X O D

DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE DA  
SOLUÇÃO ELETROLÍTICA

A resistência térmica oferecida pela blindagem é simulada por uma solução de sulfato de cobre e ácido sulfúrico, cuja composição foi obtida depois de várias tentativas, chegando-se ao seguinte resultado: a 6 litros de água, adicionar 40 gramas de sulfato de cobre e 0,4 ml de ácido sulfúrico.

Alguns autores [12] aconselham utilizar uma solução saturada de sulfato de cobre, contendo 0,5% em volume de ácido sulfúrico. Devido a problemas de deposição (precipitação) essa solução acarretaria problemas na experiência e foi abandonada.

Outra limitação para a utilização da solução seria os valores das correntes elétricas, excessivo para os aparelhos utilizados.

O valor da resistividade  $\rho$  da solução foi determinado da seguinte maneira:

Coloca-se a solução num tubo de vidro, mostrado na figura 25, com uma área transversal interna  $A_i$  igual a

$$A_i = 1,77 \text{ cm}^2 \quad (\text{D-1})$$

e comprimento interno útil  $\Delta l$  igual a

.yr.

$$\Delta l = 21,5 \text{ cm} \quad (D-2)$$

o qual é inserido no circuito elétrico mostrado na figura 26. As extremidades do recipiente são vedadas com rolhas de borracha pelas quais se atravessam terminais condutores de seção igual à seção transversal interna para manter contato elétrico com a solução. Como a solução oferece uma certa resistência  $R$  à passagem da corrente, a sua resistividade é calculada pela fórmula seguinte:

$$\rho = \frac{\Delta V \times A_i}{i \times \Delta l} \quad (D-3)$$

onde

$\Delta V$  é a diferença de potencial entre os terminais do recipiente  
 $i$  - corrente que atravessa a solução.

O valor encontrado para a resistividade  $\rho$  foi igual a

$$\rho = 240 \Omega \cdot \text{cm} \quad (D-4)$$

Anexo E

Obtenção da fórmula IV.24

A radiação para um meio gasoso é dada pela seguinte fórmula:

$$\dot{Q}_r = A \epsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{III (E.1)}$$

onde

A é a área efetiva de radiação

$\epsilon$  é emissividade do corpo

$\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann

$T_1$  é a temperatura do gás

$$\sigma = 0,1713 \times 10^{-8} \text{ Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{R}^4 \quad \text{ou III}$$

$$\sigma = 1,35 \times 10^{-12} \text{ cal/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4 \quad \text{(E.2)}$$

O calor transferido por radiação pelo filme tem res. espesso da forma seguinte:

$$\dot{Q}_r = h_r A (T_1 - T_2) \quad \text{(E.3)}$$

Das equações (1) e (3) vem,

$$h_a = \epsilon \sigma \left[ \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{T_1 - T_2} \right] \times 10^8 \quad (E.4)$$

Com o valor de  $\sigma$  da fórmula (2)

$$h_a = \frac{4,38 \times 10^{-7}}{T_1 - T_2} \epsilon \left[ \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] \frac{\text{cal}}{\text{seg. cm}^2} \quad (E.5)$$

Adotando  $\epsilon = 0,507$

$$h_a = \frac{0,7 \times 10^{-4}}{(T_1 - T_2)} \left[ \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] \frac{\text{cal}}{\text{seg. cm}^2} \quad (E.6)$$

então com os valores de  
temperatura em °K  
área em cm<sup>2</sup>

### Obtenção da fórmula III.28

Freqüentemente, fórmulas empíricas  
contêm coeficientes que são válidos só-  
mente para um conjunto particular  
de unidades. Estes coeficientes devem

ser modificadas para que um novo conjunto de unidades possa ser utilizado.

A análise dimensional permite que isto seja realizado, observando que numa equação os dois membros devem possuir as mesmas unidades.

Assim, a fórmula para a velocidade livre em regimes turbulentos para plumas em alturas verticais dada pela fórmula

$$L_f = 0,09 (0T)^{1/3} \quad [U] \quad (E.7)$$

é que se utiliza o sistema inglês de unidades.

A simplificação procurada visa utilizá-la no sistema C.G.S.

A fórmula (E.7) da forma:

$$L_f = K(0T)^{1/3} \quad (E.8)$$

Dimensionar os dois membros

$$[L T^{-1}] L^{-3} T^{-3} = [K] (0T)^{1/3} \quad (E.9)$$

Dimensionar  $[K]$



$$[K] = \text{FLT}^{-1} \text{L}^{-2} \theta^{-4/3} \quad (\text{E.10})$$

Novo valor de K

$$K = 0,19 \frac{6,9994 \times 10^{-2}}{9,29 \times 10^2 \times \frac{5}{9} \sqrt{\frac{5}{9}}}$$

$$K = 0,312 \times 10^{-4} \quad (\text{E.11})$$

$$h_c = 0,312 \times 10^{-4} (\Delta T)^{4/3} \quad (\text{E.12})$$

# LISTAGEM

## DO

### PROGRAMA PRINCIPAL

```
C      CALCULO DAS TEMPERATURAS INTERNAS, EXTERNAS E DOS FLUXOS DE CAL
1      T1=80.
1      IDL=1
      IDS=1
      NRT4=1
      IVAZT=1
C      VALORES PROVISORIOS
      VAZT=100.
      DS=2.
      DL=2.
5      CP=1.
      TSI=T1-DS
7      TLI=T1-2*DS-DL
      CALL FLUXO (TSI,TLI,FS,FL,FI, TSE,TLE)
      FSOL=250.
      ETA=(FS+FL+FI-FSOL)/(FS+FL+FI)
      FS=FS*ETA
      FL=ETA* FL
      FI=FI*ETA
      TSE=TSI-ETA*(TSI-TSE)
      TLE=TLI-ETA*(TLI-TLE)
      DSP=0.5*FS/(CP*VAZT)
      IF(ABS(DS-DSP)-0.03) 10,10,20
20     DS=DSP
      IDS=IDS+1
      IF(IDS-1000) 5,5,30
30     WRITE (3,222) IDS
      CALL EXIT
222    FORMAT (I5)
10     CONTINUE
      DLP=0.5*FL/(CP*VAZT)
      IF(ABS(DL-DLP)-0.03) 40,40,50
50     DL=DLP
      IDL=IDL+1
      IF (IDL-999) 7,7,60
60     WRITE (3,222) IDL
      CALL EXIT
40     CONTINUE
```

```

T2=T1-2*DS
T3=T2-2*DL
T4=T3-FI/(CP*VAZT)
T12=TSI
T23=TLI
T34=(T3+T4)/2.
T14=(T1+T4)/2.
C PARTE HIDRAULICA
C CALCULO DA FORCA MOTRIZ
HIGH=90.
P=1.
DEN1=DENSS(T14,P)
DENS1=DEN1*1000
DEN2=DENSS(T23,P)
DENS2=DEN2*1000
DELP=HIGH*(DENS2-DENS1)
C CALCULO DAS PERDAS DE CARGA
C PERDA AO LONGO DOS CANAIS
C CANAIS ASCENDENTES
DH=0.95
AP=3.52
VAZ=VAZT/90.
VEL=VAZ/(AP*DENS1)
VISC=VISCO(T14,P)
VISC1=VISC*10
REY=DH*VEL*DENS1/VISC1
REY1=REY
IF (REY-0.4E+04) 33,22,22
22 FF=0.2*REY**(-0.2)
PPCA=2*(FF*HIGH*DENS1*VEL**2/(DH*981))
GO TO 36
33 FF=16./REY
PPCA=(64*HIGH*DENS2*VEL**2)/(REY*DH*2.*981)
36 CONTINUE
C CANAIS DESCENDENTES
C CASO 1
DH=3.672
AP=19.8032
VAZ=0.066*VAZT
VEL=VAZ/(AP*DENS2)
VISC=VISCO(T23,P)
VISC2=VISC*10
REY=DH*VEL*DENS2/VISC2
IF (REY-0.4E+04) 44,55,55
55 FF=0.2*REY**(-0.2)
PPCD1=(2*FF*HIGH*DENS2*VEL**2/(DH*981.))
GO TO 57
44 FF=16./REY
PPCD1=(64*HIGH*DENS2*VEL**2)/(REY*DH*2*981.)
57 CONTINUE
C CASO 2
DH=5.6
AP=35.6364
VAZ=0.118*VAZT
DENS3=DENS2
VEL=VAZ/(AP*DENS3)
VISC3=VISC2
REY=DH*VEL*DENS3/VISC3
IF (REY-0.4E+04) 66,77,77

```

```

77  FF=0.2*REY**(-1.2)
    PPCD2=(2*FF*HIGH*DENS3*VEL**2/(DH*981.))
    GO TO 82
66  FF=16./REY
    PPCD2=(64*HIGH*DENS3*VEL**2)/(REY*DH**2*981.)
H2  CONTINUE
C   PERDAS LOCALIZADAS
C   PARTE SUPERIOR
C   EXPANSAO
    DH1=0.95
    DH2=1.38
    AP1=3.52
    AP2=5.51
    VAZ=0.066*VAZT
    T12=(T1+T2)/2.
    DEN=DENSS(T12, P)
    DENS=DEN*1000
    XKE=(1.-DH1**2/DH2**2)**2
    VEL=VAZ/(AP1*DENS)
    PPFC1=XKE*DENS*VEL**2/(2*981.)
C   CONTRACAO
C   CASO 1
    DH1=4.28
    DH2=3.672
    AP1=23.656
    AP2=19.8032
    VAZ=0.066*VAZT
    DEN=DENSS(T2, P)
    DENS=DEN*1000
    VEL=VAZ/(AP2 *DENS)
    PPCC1= 0.05*DENS*VEL**2/(2*981.)
C   CASO 2
    DH1=6.25
    DH2=5.6
    AP1=40.944
    AP2=35.6364
    VAZ=0.118*VAZT
    DEN=DENSS(T2, P)
    DENS=DEN*1000
    VEL=VAZ/(AP2*DENS)
    PPCC2= 0.05*DENS*VEL**2/(2*981.)
C   MUDANCA DE DIRECAO
C   APOS A EXPANSAO
    AP=5.51
    VAZ=0.066*VAZT
    DEN=DENSS(T12, P)
    DENS=DEN*1000
    VEL=VAZ/(AP*DENS)
    PPMO1=(1.4*DENS*VEL**2/(2*981.))
C   PARA ENTRAR NOS CANAIS DE DESCIDA
C   CASO 1
    AP=23.656
    DEN=DENSS(T2, P)
    DENS=DEN*1000
    VAZ=0.066*VAZT
    VEL=VAZ/(AP*DENS)
    PPMO2=(1.4*DENS*VEL**2/(2*981.))
C   CASO 2
    AP=40.944

```

```

DEN=DENSS(T2,P)
DENS=DEN*1000
VAZ=0.118*VAZT
VEL=VAZ/(AP*DENS)
PPMD3=((1.4*DENS*VEL**2)/(2*981.))
C
PARTE INFERIOR
C
MUDANCA DE DIRECAO
C
APOS A EXPANSAO
C
CASO 1
AP=23.656
VAZ=0.066*VAZT
DEN=DENSS(T3, P)
DENS=DEN*1000
VEL=VAZ/(AP*DENS)
PPMD4=((1.4*DENS*VEL**2)/(2*981.))
C
CASO 2
AP=40.944
VAZ=0.118*VAZT
DEN=DENSS(T3, P)
DENS=DEN*1000
VEL=VAZ/(AP*DENS)
PPMD5=((1.4*DENS*VEL**2)/(2*981.))
C
CASO 3 - PARA OS CANAIS COM COMBUSTIVEL
AP=5.51
VAZ=VAZT/90.
DEN=DENSS(T34,P)
DENS=DEN*1000
VEL=VAZ/(AP*DENS)
PPMD6=((1.4*DENS*VEL**2)/(2*981.))
C
CONTRACAO
VAZ=VAZT/90.
AP1=3.52
DH1=0.95
AP2=5.51
DH2=1.38
DEN=DENSS(T34,P)
DENS=DEN*1000
VEL=VAZ/(AP1*DENS)
PPC3= 0.2125*DENS*VEL**2/(2*981.))
C
EXPANSAO
C
CASO 1
AP1=19.8
DH1=3.672
AP2=23.656
DH2=4.28
VAZ=0.066*VAZT
DEN=DENSS(T3, P)
DENS=DEN*1000
VEL=VAZ/(AP1*DENS)
PPE2= 0.073*DENS*VEL**2/(2*981.))
C
CASO 2
AP1=35.6364
DH1=5.6
AP2=40.944
DH2=6.15
VAZ=0.118*VAZT
DEN=DENSS(T3, P)
DENS=DEN*1000
VEL=VAZ/(AP1*DENS)

```

```

PPF3= 0.029*DFNS*VEL**2/(2*981.)
PCT=PPCA+PPC01+PPC02+PPEC1+PPCC1+PPCC2+PPMD1+PPMD2+PPMD3+PPMD4+PPM
105+PPMD6+PPC3+PPE2+PPE3
DIFP=DELP-PCT
IF (ABS (DELP-PCT)-0.005) 37,37,79
9 NRT4=NRT4+1
IF (NRT4-2) 88,88,99
8 VA7A=VAZT
DIFPA=DIFP
VAZT=VAZT+5.
GO TO 7
9 VAZP=VAZT
V=(( (VAZP-VA7A)*1000)/((DIFPA-DIFP)*1000))*DIFPA+VAZA
VA7T=V
VA7A=VAZP
DIFPA=DIFP
GO TO 7
37 WRITE (3,9001)
9001 FORMAT (16X,'T1',12X,'TSI',12X,'TLI',12X,'TSE',12X,'TLE',12X,'FS',12
1X,'FL',12X,'FI')
WRITE (3,9002) T1,TSI,TLI,TSE,TLE,FS,FL,FI
9002 FORMAT (12X,8E13.6,/)
QT=FS+FL+FI
TCAL=0.488
TCU=0.360
AU=0.0875
AAL=0.0380
VAZ=VAZT/90.
AP=3.52
VOL=62.7
AREA=528.
DH=0.95
QIII=QT/(90.*VOL)
QII=(QT/(90.*AREA))*2
IF (REY1-0.4E+04) 555,888,888
888 TCH=CTH(T14)
H=0.023*REY1**(0.8)*((CP*VISC1/TCH)**(0.4))
DELT1=QII/H
DELT2=(QII/TCAL)*AAL
DELT3=QIII*AU**2/(2.*TCU)
TRE=T1+DELT1
TRI=TRE+DELT2
TCM=TRI+DELT3
WRITE (3,9003)
9003 FORMAT (17X,'TRE',13X,'TRI',13X,'TCM',13X,'QT',13X,'TLE',13X,'TSE'
WRITE (3,9005) TRE,TRI,TCM,QT,TLE,TSE
9005 FORMAT (11X,6E15.7,/)
GO TO 7117
555 TRE=T14+10.
ITRE=1
1111 VISC=VISCO(TRE,P)
VISCP=VISC*10
VEL=VAZ/(AP*DFNS1)
TCH=CTH(T14)
RETA=CEH(T14)
PR=CP*VISC1/TCH
XNU=.86*(REY1*PR*DH/HIGH)**(1/3.)*(VISC1/VISCP)**(0.14)
H=TCH*XNU/DH
H1=QII/(TRE-T14)

```

```

DELHA=H-T1
IF (ABS(DELHA)-0.0005) 123,123,999
99  ITRF=TRF+1
   IF (ITRE-2) 234,234,456
56  TREP=TRF
   TR=(1*(TREP-TREA)*1000)/(((DELHA-DELH)*1000))*DELHA+TREA
   TRF=TR
   TREA=TREP
   DELHA=DELH
   GO TO 1111
134  TREA=TRF
   DELHA=DELH
   TRF=TRF+10
   GO TO 1111
123  DELT2=(QIII/TCAL)*AAL
     H3=(CP*VAZ*(T1-T4))/(AREA*(TRE-T14))
     WRITE(3,3456) H1,H3
3456  FORMAT(10X,2F15.7,/)
     DELT3=QIII*AU**2/(2.*TCU)
     TRI=TRF+DELT2
     TCM=TRI+DELT3
     WRITE(3,941)
941  FORMAT(17X,'TRE',13X,'TRI',13X,'TCM',13X,'H',13X,'REY1',13X,'QT')
     WRITE(3,1234) TRF,TRI,TCM,H,REY1,QT
1234  FORMAT(10X,6F15.7,/)
7117  T1=T1+5.
     IF (200.-T1) 1000,1,1
1000  CALL EXIT
     END
FUNCTION ENTAS(T,P)
C  CALCULA ENTALPIA DO LIQUIDO EM FUNCAO DA PRESSAO E TEMPERATURA
C 112 ADE DE ENTAL(KCAL/KG)
C
   DIMENSION D(25),C(4)
   DATA D/-8.943553E3,1.114107E5,-6.3697257E5,2.1568433E6,-4.721840E
1,6.9144071E6,-6.7617112E6,4.2535928E6,-1.5607805E6,2.5441829E5,5.
228535E3,6.1191876E-17,0.294117E00,5.8020689E-1,4.1666667E-1,1.022
3748E16,-1.139706E-4,-6.244398E8,1.19991E6,0.6237151E00,7.241165E-
4,0.7676621E00,-1.052358E-11,1.5108E-5,6.55134E00/,C/3.122199E8,1.
599850E5,1.362925E16,1.500705E00/
   SIGMA=P/225.65
   TAU = (T+273.16)/647.3
   STAU=TAU**2
   ETAU = TAU**6
   PTAU = TAU**11
   UTAU = 3.7E+8-C(1)*STAU-C(2)/ETAU
   VTAU = D(18)*STAU+D(19)/ETAU
   W = UTAU+SQRT(1.72*UTAU**2+C(3)*(SIGMA-C(4)*TAU))
   TTAU=D(1)
   DO 1 I=1,9
     II=I+1
     TTAU=TTAU+D(II)*TAU**I
1  CONTINUE
   TT1=W*(D(14)*W-D(15)*(3.4*UTAU-VTAU))+D(16)*TAU-0.72*UTAU*VTAU
   TT2=D(17)+(D(20)-TAU)*(D(21)*(D(20)+TAU)+D(22)*((D(20)-TAU)**8)*
1(D(20)+9.0*TAU))
   ENTAS=TTAU+D(11)*(D(12)/(W**D(13))*TT1+TT2*SIGMA+D(23)*(D(24)+12.
10*PTAU)/((D(24)+PTAU)**2)*(62.5+SIGMA*(D(25)+SIGMA/3.0))*SIGMA)
   RETURN

```

END

FUNCTION DENS(T,P)

CALCULA DENSIDADE DA AGUA LIQUIDA EM FUNCAO DA PRESSAO E DA TEMP  
 UNIDADE DE PRESSAO (KG/CM\*\*2)  
 UNIDADE DE TEMP (GRAUS CELSIUS)  
 UNIDADE DE DENS (KG/CM\*\*3)

DIMENSION C(15)

DATA C 3.122199E+8,1.999850E+5,1.362926E16,1.500705E+0

1 -2.941176E-1,1.139706E-4,9.949927E-5,6.537134E-1,7.241165E-5,7.

2676E-1E-1,1.052358E-11,1.310268E+1,1.5108E-5,-6.244398E+8,1.17991:

2+67

SIGMA = P/225.65

TAU = (T+273.16)/647.3

STAU = TAU\*\*2

ETA = TAU\*\*6

CTAU = 3.78+H-C(1)\*STAU-C(2)/ETAU

W = CTAU+SQRT(1.72\*CTAU\*\*2+C(3)\*(SIGMA-C(4)\*TAU))

RO = (0.417\*\*((C(5)+C(6)+TAU\*C(7)+((C(8)-TAU)\*\*2)\*(C(9)+C(10)\*

1C(H-TAU)\*\*4)-C(11)\*(62.5+C(12)\*SIGMA+SIGMA\*\*2)/(C(13)+TAU\*\*11))\*

2.0E+6

DENS = 1.0/RO

RETURN

END

FUNCTION VISCO(T,P)

CALCULA VISCOSIDADE EM FUNCAO DA ENTALPIA DADOS P E  
 UNIDADE DE PRESSAO KG/CM\*\*2  
 UNIDADE DE TEMPERATURA GRAU C  
 UNIDADE DE VISCO KG/S\*\*2

H = 1.8\*ENTALP(T,P)

IF (H-90) 1,2,2

1 VISCO = 0.008+118.7/(H+0.25\*(90-H))

GO TO 3

2 VISCO = 0.008+118.7/H

3 VISCO = (VISC(90)+4.1338E-04)\*(9.81/9.8)

RETURN

END

FUNCTION CTH(T)

CALCULA COEF. TERMICA DA AGUA  
 TEMP. EM GRAU CENT. E TCH EM CAL/SEG.CM. C

DIMENSION TEMP(11),TC(11)

DATA TEMP/20.,40.,60.,80.,100.,120.,140.,160.,180.,200.,220./

DATA TC/0.00143,0.001515,0.001575,0.00161,0.00163,0.00164,0.001

16,0.00163,0.00161,0.001593,0.001555/

DO 10 I=1,11

IF (TEMP(I)-T) 10,11,12

CONTINUE

11 CTH=TC(I)

RETURN

12 CTH=((TC(I)-TC(I-1))/20.)\*(T-TEMP(I-1))+TC(I-1)

RETURN

END

FUNCTION CEF(T)

CALCULA COEF. EXPANSAO DA AGUA  
 TEMPERATURA EM GRAU CENTIGRADO E BETA EM 1/GRAU CENT.

DIMENSION TEMP(11),BET(11)

DATA TEMP/20.,40.,60.,80.,100.,120.,140.,160.,180.,200.,220./

DATA BET/1.82,3.87,5.11,6.32,7.52,8.64,9.72,10.7,11.9,13.3,14.8



```

DO 10 I=1,11
IF (TEMP(I)-T) 10,11,12
10 CONTINUE
11 CEH=BET(I)
RETURN
12 CEH =((BET(I)-BET(I-1))/20.)*(T-TEMP(I-1))+BET(I-1)
RETURN
END
SUBROUTINE FLUXO(TSI,TLI,FS,FL,FI,TSE,TLE)
IF(TSI-71.)10,15,20
15 FI=-135.07+2.7045*TLI
FL=-1427.2+31.165*TLI
FS=608.7-7.6324*TLI
TLE=20.504+0.43*TLI
TSE=26.161+0.35366*TLI
RETURN
20 IF(TSI-80.) 30,30,40
30 FI1=-166.7+3.1428*TLI
FL1=-1468.8+31.424*TLI
FS1=533.35-5.5326*TLI
TLE1=19.42+0.45381*TLI
TSE1=24.658+0.38916*TLI
FI=-135.07+2.7045*TLI
FL=-1427.2+31.165*TLI
FS=608.7-7.6324*TLI
TLE=20.504+0.43*TLI
TSE=26.161+0.35366*TLI
FL =((FL1-FL)*(TSI-71.))/9. +FL
FS =((FS1-FS)*(TSI-71.))/9. +FS
FI =((FI1-FI)*(TSI-71.))/9. +FI
TSE=((TSE1-TSE)*(TSI-71.))/9. +TSE
TLE=((TLE1-TLE)*(TSI-71.))/9.+TLE
RETURN
40 IF(TSI-89.) 50,50,60
50 FI2=- 167.65+3.1217*TLI
FL2=-1202.7+27.545*TLI
FS2=665.55-6.251*TLI
TLE2=26.673+0.36674*TLI
TSE2=30.069+0.33313*TLI
FI1=-166.7+3.1428*TLI
FL1=-1468.8+31.424*TLI
FS1=533.35-5.5326*TLI
TLE1=19.42+0.45381*TLI
TSE1=24.658+0.38916*TLI
FS=((FS2-FS1)*(TSI-80.))/9.+FS1
FL=((FL2-FL1)*(TSI-80.))/9.+FL1
TSE=((TSE2-TSE1)*(TSI-80.))/9.+TSE1
TLE=((TLE2-TLE1)*(TSI-80.))/9.+TLE1
FI=((FI2-FI1)*(TSI-80.))/9.+FI1
RETURN
60 IF(TSI- 98.)70,70,80
70 FI3=-139.91+2.6898*TLI
FL3=-1531.4+31.338*TLI
FS3=594.52-4.73*TLI
TLE3=21.102+0.43848*TLI
TSF3=25.078+0.40011*TLI
FI2=- 167.65+3.1217*TLI
FL2=-1202.7+27.545*TLI
FS2=665.55-6.251*TLI

```

```

TLE2=26.673+0.35674*TLI
TSE2=30.069+0.33313*TLI
FS=((FS3-FS2)*(TSI-89.)) /9.+FS2
FI=((FI3-FI2)*(TSI-89.)) /9.+FS2
FL=((FL3-FL2)*(TSI-89.)) /9.+FL2
TSE=((TSE3-TSE2)*(TSI-89.)) /9.+TSE2
TLE=((TLE3-TLE2)*(TSI-89.)) /9.+TLE2
RETURN
80 IF(TSI-135.)90,90,100
90 FI4=53.+3.*(TLI-95.)
FL4=1320.+30*(TLI-95.)
FS4=417.-4.5*(TLI-95)
TLE4=63.+0.4*(TLI-95.)
TSE4=65.+0.36*(TLI-95.)
FI3=-139.91+2.6898*TLI
FL3=-1531.4+31.338*TLI
FS3=594.52-4.73*TLI
TLE3=21.102+0.43848*TLI
TSE3=25.078+0.40011*TLI
FS=((FS4-FS3)*(TSI-98.)) /37.+FS3
FI=((FI4-FI3)*(TSI-98.)) /37.+FI3
FL=((FL4-FL3)*(TSI-98.)) /37.+FL3
TSE=((TSE4-TSE3)*(TSI-98.)) /37.+TSE3
TLE=((TLE4-TLE3)*(TSI-98.)) /37.+TLE3
RETURN
100 FI3=-139.91+2.6898*TLI
FL3=-1531.4+31.338*TLI
FS3=594.52-4.73*TLI
TLE3=21.102+0.43848*TLI
TSE3=25.078+0.40011*TLI
FI4=53.+3.*(TLI-95.)
FL4=1320.+30*(TLI-95.)
FS4=417.-4.50*(TLI-95.)
TLE4=63.+0.4*(TLI-95.)
TSE4=65.+0.36*(TLI-95.)
TSE=((TSE4-TSE3)*(TSI-98.)) /37.+TSE3
TLE=((TLE4-TLE3)*(TSI-98.)) /37.+TLE3
FL=((FL4-FL3)*(TSI-98.)) /37.+FL3
FS=((FS4-FS3)*(TSI-98.)) /37.+FS3
FI=((FI4-FI3)*(TSI-98.)) /37.+FI3
RETURN
10 CALL EXIT

```

PAGE 1

// JOB T

LOG DRIVE	CART SPEC	CART AVAIL	PHY DRIVE
0000	1CCE	1CCE	0000

V2 M08 ACTUAL 16K CONFIG 16K

// FOR

\*LIST SOURCE PROGRAM

\*ONE WORD INTEGERS

\*IOCS(CARD,1132PRINTER)

C CALCULO DA RESISTENCIA TERMICA SUPERIOR

DIMENSION B(50,2)

TEAR=95.

LP=1

EMIS=.5

DO 1 N=1,50

K=105+(N-1)\*3

TEX=K

DELT=TEX-TEAR

$$HR = ((0.173 * EMIS) / (TEX - TEAR)) * (((TEX + 460.) / 100.) ** 4 - ((TEAR + 460.) / 10.) ** 4)$$

$$HC = 0.22 * DELT ** (1/3.)$$

DELT1=DELT\*5/9.

CALL REND ( HC,ET )

AREAR=(3.14\*85.8\*\*2)/(4\*24.)

$$AREAC = ((3.14 * 85.8 ** 2) / 4. - 77 * (.5) * 20.9 +$$

$$5 * 77 * 20.9 * 2 * ET) /$$

$$HC1 = HC * 1.3565E-04$$

$$HR1 = HR * 1.3565E-04$$

$$RT = 1 / (HC1 * AREAC + HR1 * AREAR)$$

RT1=RT

B(N,1)=DELT1

B(N,2)=RT1

1 CONTINUE

CALL PONTO (B,50,1,LP)

LP=0

CALL EXIT

END

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR

COMMON	0	VARIABLES	242	PROGRAM	302
--------	---	-----------	-----	---------	-----

END OF COMPILATION

```

      1
      2
      3
      4
      5
      6
      7
      8
      9
     10
     11
     12
     13
     14
     15
     16
     17
     18
     19
     20
     21
     22
     23
     24
     25
     26
     27
     28
     29
     30
     31
     32
     33
     34
     35
     36
     37
     38
     39
     40
     41
     42
     43
     44
     45
     46
     47
     48
     49
     50
     51
     52
     53
     54
     55
     56
     57
     58
     59
     60
     61
     62
     63
     64
     65
     66
     67
     68
     69
     70
     71
     72
     73
     74
     75
     76
     77
     78
     79
     80
     81
     82
     83
     84
     85
     86
     87
     88
     89
     90
     91
     92
     93
     94
     95
     96
     97
     98
     99
    100
    101
    102
    103
    104
    105
    106
    107
    108
    109
    110
    111
    112
    113
    114
    115
    116
    117
    118
    119
    120
    121
    122
    123
    124
    125
    126
    127
    128
    129
    130
    131
    132
    133
    134
    135
    136
    137
    138
    139
    140
    141
    142
    143
    144
    145
    146
    147
    148
    149
    150
    151
    152
    153
    154
    155
    156
    157
    158
    159
    160
    161
    162
    163
    164
    165
    166
    167
    168
    169
    170
    171
    172
    173
    174
    175
    176
    177
    178
    179
    180
    181
    182
    183
    184
    185
    186
    187
    188
    189
    190
    191
    192
    193
    194
    195
    196
    197
    198
    199
    200
    201
    202
    203
    204
    205
    206
    207
    208
    209
    210
    211
    212
    213
    214
    215
    216
    217
    218
    219
    220
    221
    222
    223
    224
    225
    226
    227
    228
    229
    230
    231
    232
    233
    234
    235
    236
    237
    238
    239
    240
    241
    242
    243
    244
    245
    246
    247
    248
    249
    250
    251
    252
    253
    254
    255
    256
    257
    258
    259
    260
    261
    262
    263
    264
    265
    266
    267
    268
    269
    270
    271
    272
    273
    274
    275
    276
    277
    278
    279
    280
    281
    282
    283
    284
    285
    286
    287
    288
    289
    290
    291
    292
    293
    294
    295
    296
    297
    298
    299
    300
    301
    302
    303
    304
    305
    306
    307
    308
    309
    310
    311
    312
    313
    314
    315
    316
    317
    318
    319
    320
    321
    322
    323
    324
    325
    326
    327
    328
    329
    330
    331
    332
    333
    334
    335
    336
    337
    338
    339
    340
    341
    342
    343
    344
    345
    346
    347
    348
    349
    350
    351
    352
    353
    354
    355
    356
    357
    358
    359
    360
    361
    362
    363
    364
    365
    366
    367
    368
    369
    370
    371
    372
    373
    374
    375
    376
    377
    378
    379
    380
    381
    382
    383
    384
    385
    386
    387
    388
    389
    390
    391
    392
    393
    394
    395
    396
    397
    398
    399
    400
    401
    402
    403
    404
    405
    406
    407
    408
    409
    410
    411
    412
    413
    414
    415
    416
    417
    418
    419
    420
    421
    422
    423
    424
    425
    426
    427
    428
    429
    430
    431
    432
    433
    434
    435
    436
    437
    438
    439
    440
    441
    442
    443
    444
    445
    446
    447
    448
    449
    450
    451
    452
    453
    454
    455
    456
    457
    458
    459
    460
    461
    462
    463
    464
    465
    466
    467
    468
    469
    470
    471
    472
    473
    474
    475
    476
    477
    478
    479
    480
    481
    482
    483
    484
    485
    486
    487
    488
    489
    490
    491
    492
    493
    494
    495
    496
    497
    498
    499
    500
    501
    502
    503
    504
    505
    506
    507
    508
    509
    510
    511
    512
    513
    514
    515
    516
    517
    518
    519
    520
    521
    522
    523
    524
    525
    526
    527
    528
    529
    530
    531
    532
    533
    534
    535
    536
    537
    538
    539
    540
    541
    542
    543
    544
    545
    546
    547
    548
    549
    550
    551
    552
    553
    554
    555
    556
    557
    558
    559
    560
    561
    562
    563
    564
    565
    566
    567
    568
    569
    570
    571
    572
    573
    574
    575
    576
    577
    578
    579
    580
    581
    582
    583
    584
    585
    586
    587
    588
    589
    590
    591
    592
    593
    594
    595
    596
    597
    598
    599
    600
    601
    602
    603
    604
    605
    606
    607
    608
    609
    610
    611
    612
    613
    614
    615
    616
    617
    618
    619
    620
    621
    622
    623
    624
    625
    626
    627
    628
    629
    630
    631
    632
    633
    634
    635
    636
    637
    638
    639
    640
    641
    642
    643
    644
    645
    646
    647
    648
    649
    650
    651
    652
    653
    654
    655
    656
    657
    658
    659
    660
    661
    662
    663
    664
    665
    666
    667
    668
    669
    670
    671
    672
    673
    674
    675
    676
    677
    678
    679
    680
    681
    682
    683
    684
    685
    686
    687
    688
    689
    690
    691
    692
    693
    694
    695
    696
    697
    698
    699
    700
    701
    702
    703
    704
    705
    706
    707
    708
    709
    710
    711
    712
    713
    714
    715
    716
    717
    718
    719
    720
    721
    722
    723
    724
    725
    726
    727
    728
    729
    730
    731
    732
    733
    734
    735
    736
    737
    738
    739
    740
    741
    742
    743
    744
    745
    746
    747
    748
    749
    750
    751
    752
    753
    754
    755
    756
    757
    758
    759
    760
    761
    762
    763
    764
    765
    766
    767
    768
    769
    770
    771
    772
    773
    774
    775
    776
    777
    778
    779
    780
    781
    782
    783
    784
    785
    786
    787
    788
    789
    790
    791
    792
    793
    794
    795
    796
    797
    798
    799
    800
    801
    802
    803
    804
    805
    806
    807
    808
    809
    810
    811
    812
    813
    814
    815
    816
    817
    818
    819
    820
    821
    822
    823
    824
    825
    826
    827
    828
    829
    830
    831
    832
    833
    834
    835
    836
    837
    838
    839
    840
    841
    842
    843
    844
    845
    846
    847
    848
    849
    850
    851
    852
    853
    854
    855
    856
    857
    858
    859
    860
    861
    862
    863
    864
    865
    866
    867
    868
    869
    870
    871
    872
    873
    874
    875
    876
    877
    878
    879
    880
    881
    882
    883
    884
    885
    886
    887
    888
    889
    890
    891
    892
    893
    894
    895
    896
    897
    898
    899
    900
    901
    902
    903
    904
    905
    906
    907
    908
    909
    910
    911
    912
    913
    914
    915
    916
    917
    918
    919
    920
    921
    922
    923
    924
    925
    926
    927
    928
    929
    930
    931
    932
    933
    934
    935
    936
    937
    938
    939
    940
    941
    942
    943
    944
    945
    946
    947
    948
    949
    950
    951
    952
    953
    954
    955
    956
    957
    958
    959
    960
    961
    962
    963
    964
    965
    966
    967
    968
    969
    970
    971
    972
    973
    974
    975
    976
    977
    978
    979
    980
    981
    982
    983
    984
    985
    986
    987
    988
    989
    990
    991
    992
    993
    994
    995
    996
    997
    998
    999
    1000
  
```

FEATURES SUPPORTED  
 ONE WORD INTEGERS  
 DCS

CORE REQUIREMENTS FOR  
 COMMON 0 VARIABLES 246 PROGRAM 340



NOTAÇÃO

$\rho$	densidade
$A_p$	área de passagem do fluido refrigerante
$D$	definido na equação IV.31
$C_p$	calor específico
$D$	diâmetro
$D_1$	diâmetro hidráulico
$F_{12}$	função aditiva
$f$	fator de atrito
$g$	aceleração da gravidade
$K_1$	coeficiente de transmissão por convecção
$K_2$	coeficiente de transmissão por radiação
$i$	corrente elétrica
$K_p$	coeficiente de perda para a contração
$K_e$	coeficiente de perda para a expansão
$K_{ext}$	definido na eq. (7.3)
$K_{ext}$	definido na eq. (7.3)
$k$	condutividade térmica
$h$	altura do recipiente
$h_1$	altura das aletas
$t$	temperatura das aletas
$h_2$	altura do fluido refrigerante
$n$	número de aletas
$P_c$	perda de carga por contração
$P_e$	perda de carga por expansão
$P_f$	perda de carga por fricção
$P_{ext}$	perda de carga devido a substância de direção
$q$	fluxo de calor
$Q_{ext}$	fluxo de calor pelas aletas
$R$	resistência
$s$	distância média entre aletas
$\theta$	definido na equação IV.21
$T$	temperatura

$T_{ar}$	temperatura ambiente
$T_{ex}$	temperatura da superfície externa
$T_i$	temperatura da superfície interna
$v$	velocidade média

#### LETRAS CURSIVAS

$\alpha$	coeficiente angular
$\epsilon$	emissividade do material
$\xi$	definido na equação IV.22
$\sigma$	constante de Stefan-Boltzmann
$\rho$	resistividade da solução eletrolítica
$\lambda$	
$\zeta$	definidos na parte IV.2
$\gamma$	definido na equação A.5
$\psi$	definido na parte III.3
$\rho_a$	densidade do fluido refrigerante no ramo ascendente
$\rho_d$	densidade do fluido refrigerante no ramo descendente
$\phi$	definido na parte III.3

#### ÍNDICES

e	convecção
e	externo
i	inferior
i	interno
l	lateral
n	núcleo
o	origem
r	radiação
s	superior
t	técnica

r radiação  
s superior  
t térmica

SUB-ÍNDICE

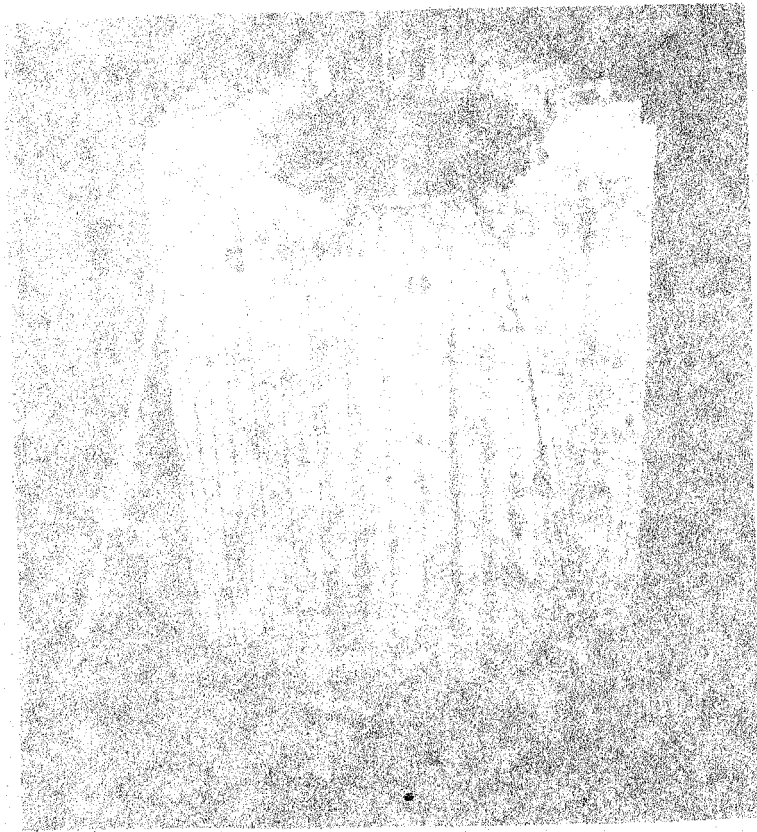
c convecção  
r radiação  
t total



BIBLIOGRAFIA

- [1] Nuclear Reactor Engineering - Samuel Glasstone e Alexander Sesonske  
- D. Van Nostrand Company, Inc. - 1967
- [2] Directory of Shipping Containers for Radioactive Materials - USAEC
- [3] Proceedings of the Second International Symposium on Packaging and  
Transportation of Radioactive Materials - CONF. 681001 227  
Gallinburg - Tennessee
- [4] Cask Designers Guide - L.B. Shappert e outros - ORNL - NSFC - 68 -  
(1970)
- [5] Atom - n° 113 - março 1966 - UKAEA
- [6] Nuclear Engineering - Vol. 13 - janeiro - n° 140
- [7] Heat Removal from Casks - James G. Glynn - Chem. Eng. Progr. 61  
Symp.
- [8] Pressure Vessel Design - John F. Harvey - Van Nostrand Nuclear  
Science Series
- [9] Directory of Nuclear Reactors - Vol. II - IAEA
- [10] Princípios da Transmissão de Calor - Frank Kreith - Ed. Edgard  
Blücher Ltda. (1969)
- [11] Heat Transfer - J.P. Holman - Mc Graw-Hill Book Company - 1968
- [12] Heat Transfer - Jan Jakob - John Wiley and Sons, Inc.
- [13] Dimensional Analysis and Theory of Models - Henry L. Langhaar - John  
Wiley and Sons, Inc.
- [14] Chemical Engineer's Handbook - 4ª Ed. - John H. Perry
- [15] Fundamentals of Heat Transfer - M. Mikheyev - Peace Publishers -  
Moscow
- [16] Heat Transmission - William McDermott - Mc Graw Hill Book Company, Inc.

- [17] Nuclear Engineering Handbook - Vários autores - Harold Etherington  
- Editor
- [18] Progress in Nuclear Energy - Metallurgy and Fuels - Mc Graw Hill
- [19] Transmissão do Calor - Renato Salmoni - Ed. Mestre Jou - 1966.



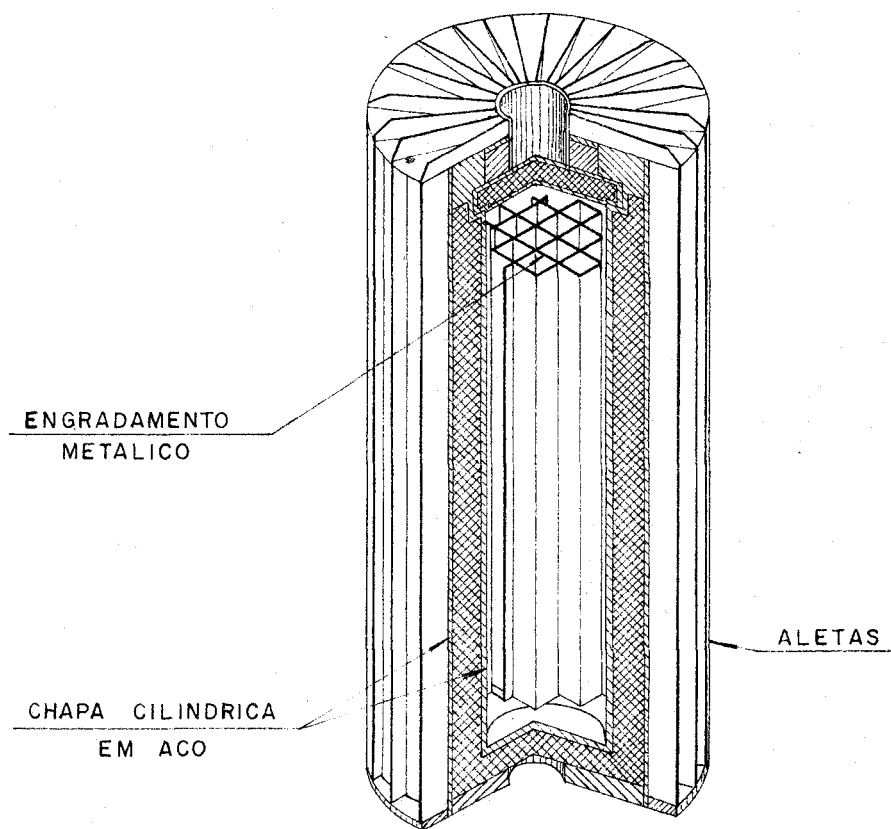
RECIPIENTE QUE TRANSPORTA ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS  
EM POSIÇÃO VERTICAL



6

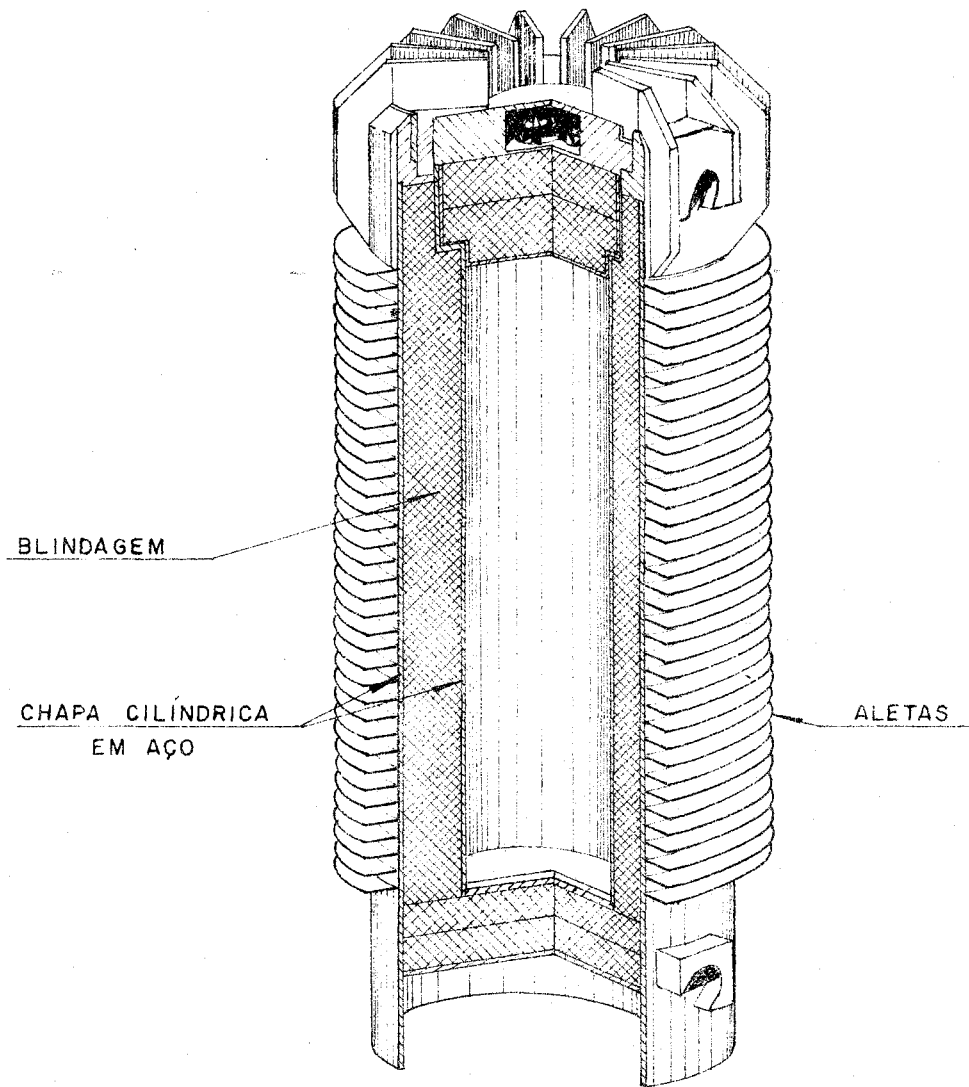
RECIPIENTE QUE TRANSPORTA ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS  
EM POSIÇÃO HORIZONTAL

(FIG-1)



RECIPIENTE COM ALETAS LONGITUDINAIS

(FIG-2)



RECIPIENTE COM ALETAS CIRCULARES

( FIG - 3 )





Classificação dos grupos para transporte 141

Nº Atômico	Meia Vida Física		
	0 a 1000 dias	1000 a $10^6$ dias	$> 10^6$ anos
1 - 81	grupo III	grupo II	grupo III
82 e acima	grupo I	grupo I	grupo III

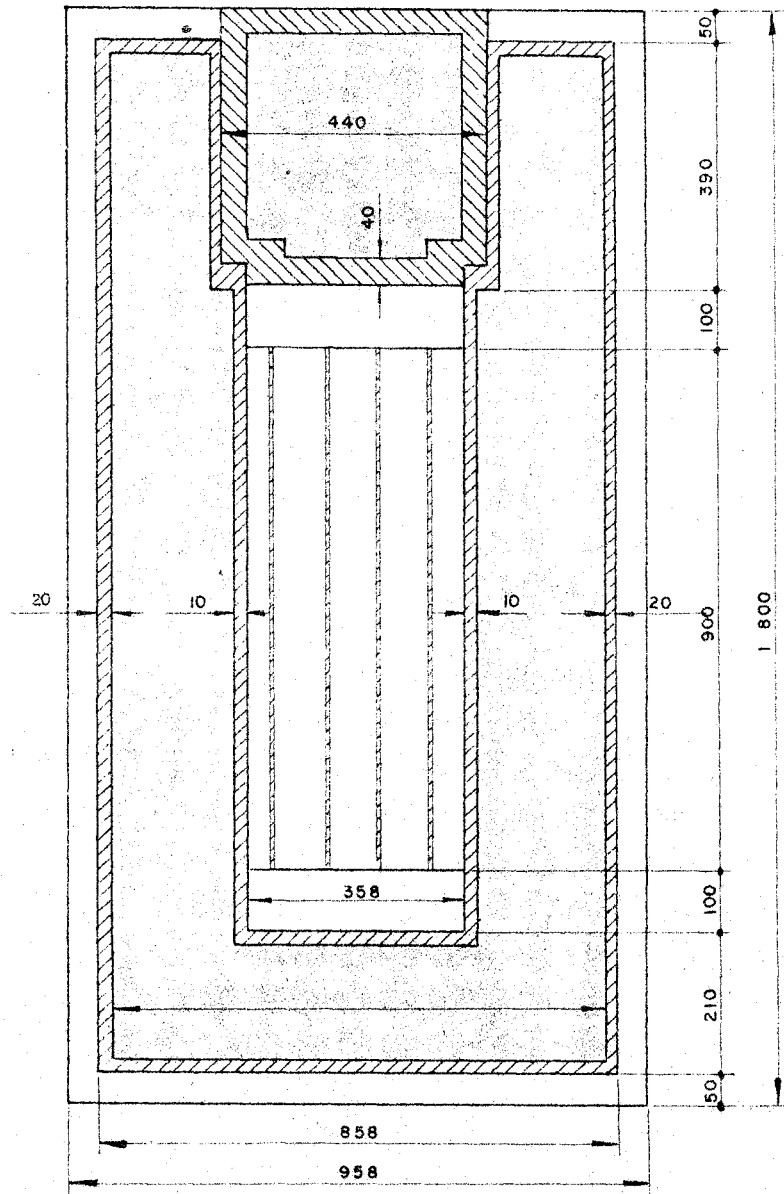
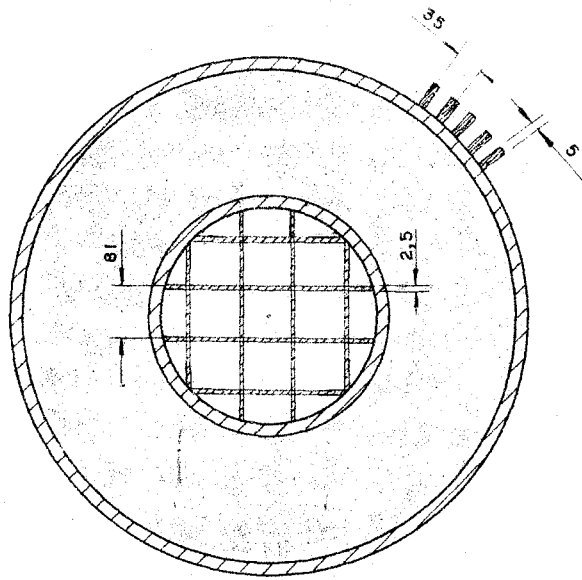
• FIG. 6

Limitações para o isótopo a transportar 141		
grupo e forma especial de material radioativo	quantidade líquida máxima por embalagem (em curies)	
	Embalagem tipo A	Embal. tipo B
grupo I	0,001	20
grupo II	0,05	20
grupo III	3	200
grupo III	20	200
forma especial dos grupos I e II	20	5000
grupo II	20	5000
grupo II	1000	50.000
grupo III	1000	50.000

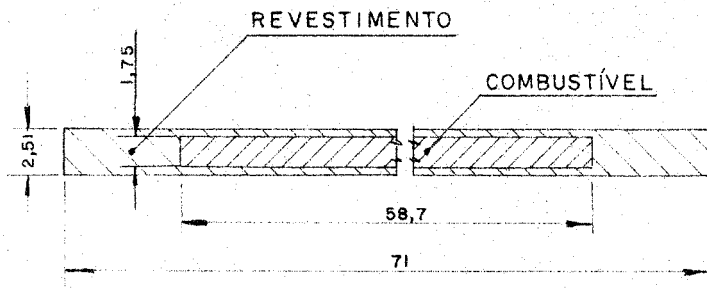
FIG. 7



RECIPIENTE COM AS DIMENSÕES PRINCIPAIS

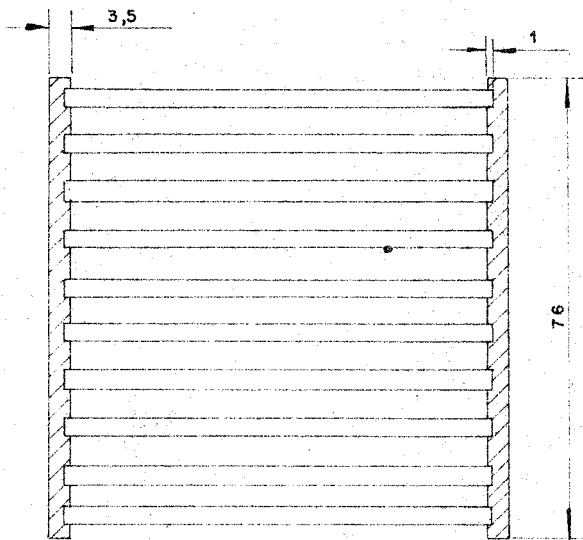


(FIG-8)

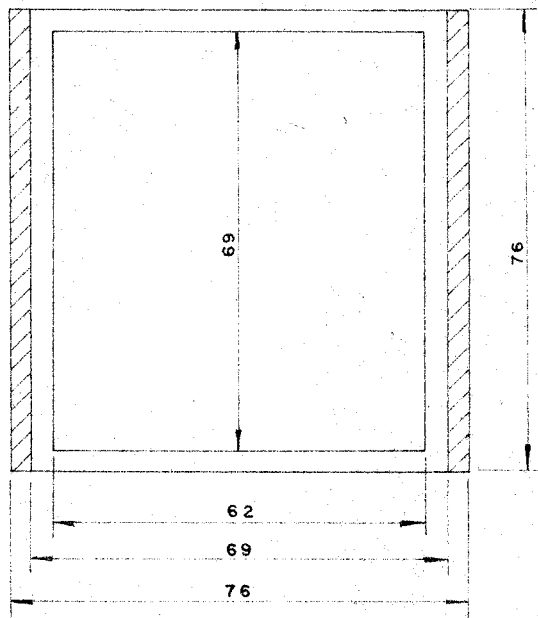


**CORTE DA PLACA COMBUSTÍVEL**

ESCALA - 2,5 : 1

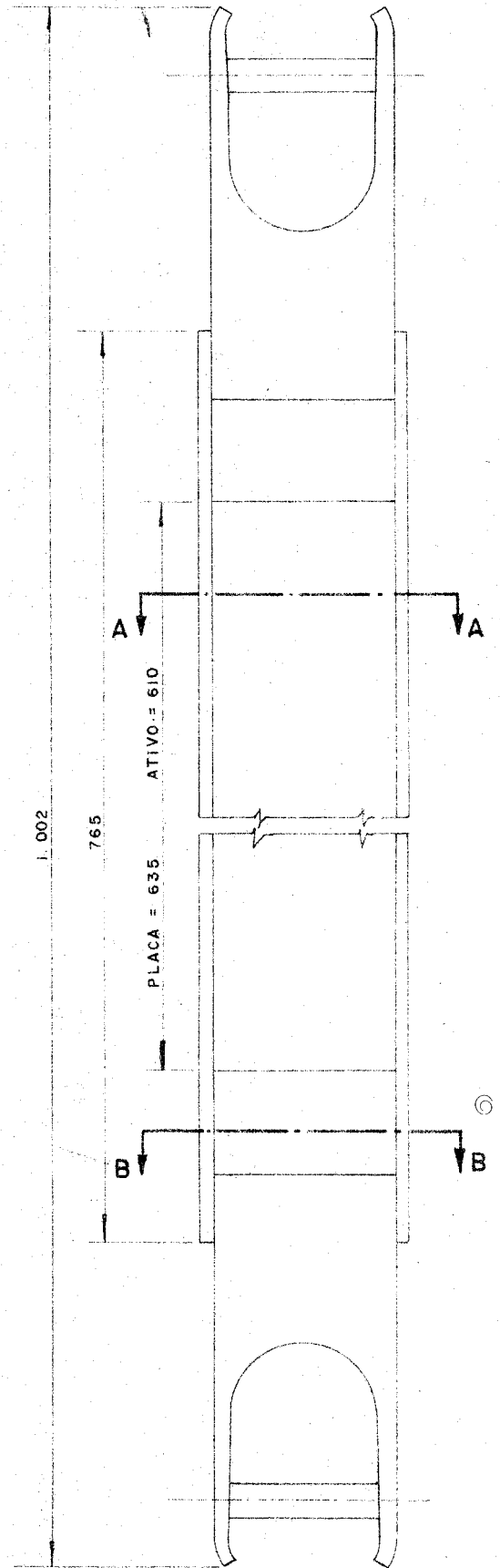


**CORTE A-A ELEMENTO COMBUSTÍVEL**



**CORTE - BB**

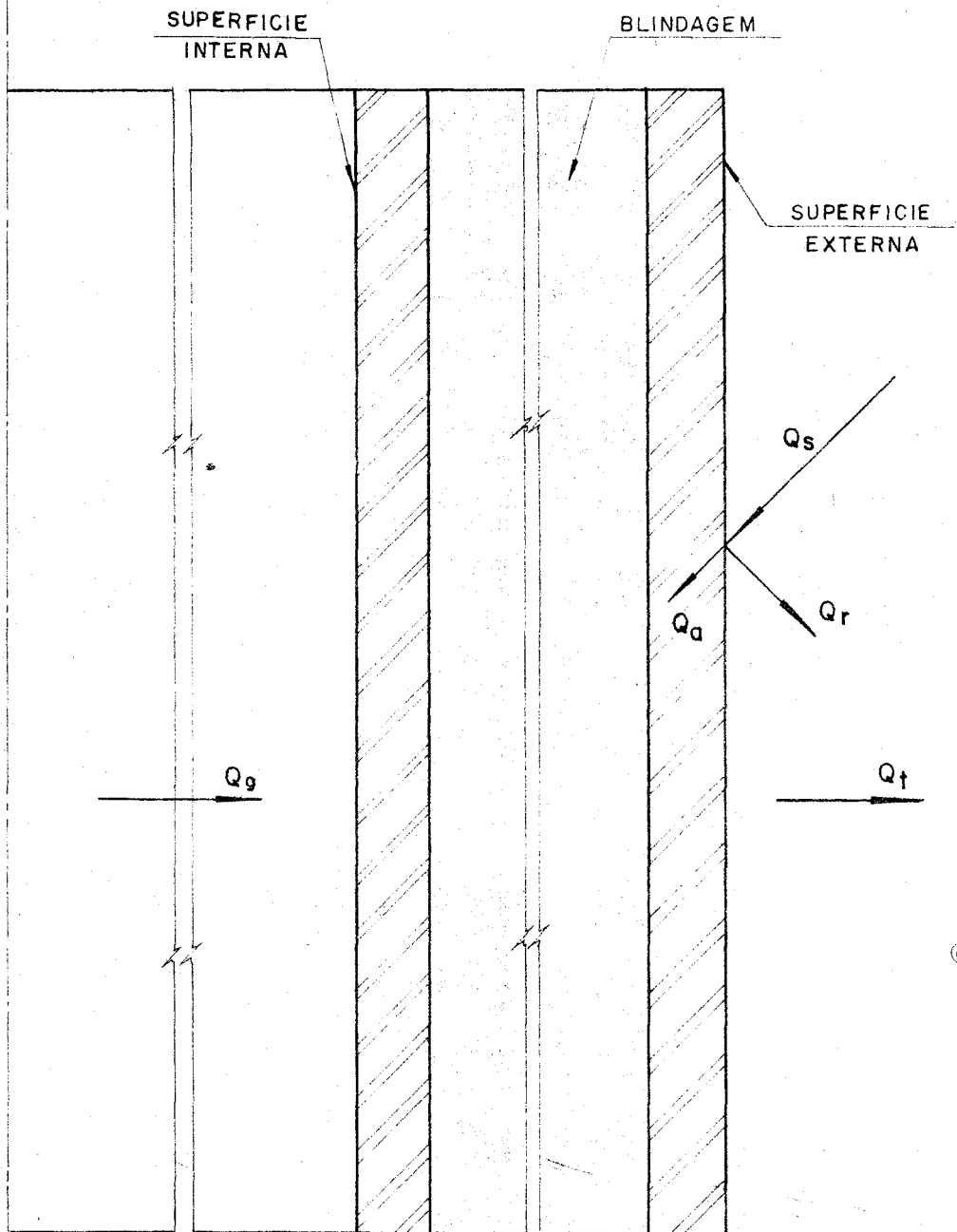
ESCALA - 1 : 1,25



ESCALA - 1 : 2,5

ELEMENTO COMBUSTIVEL DE REFERENCIA DO REATOR JEN-1

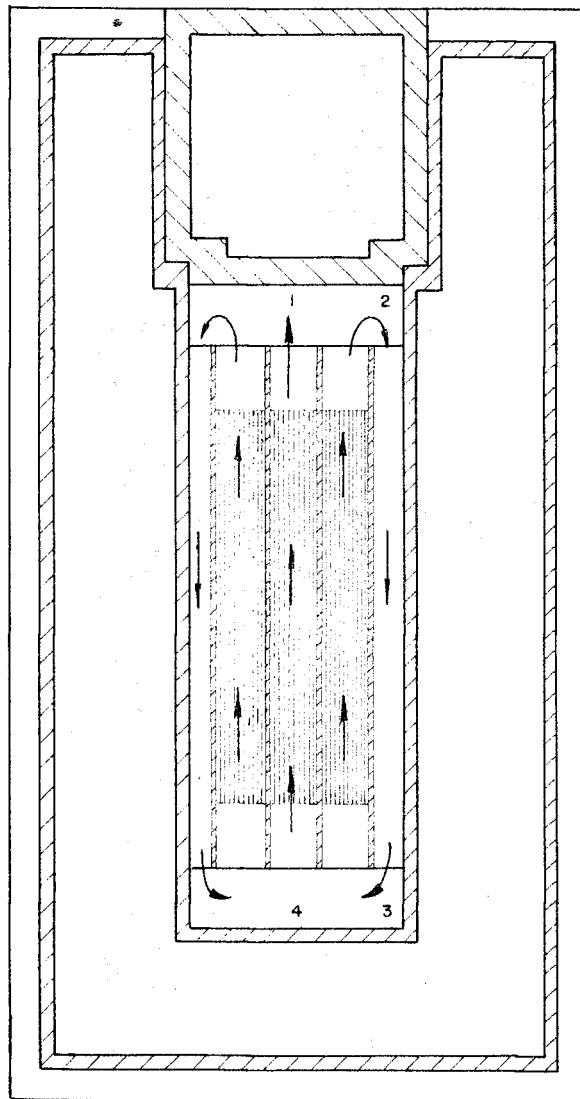
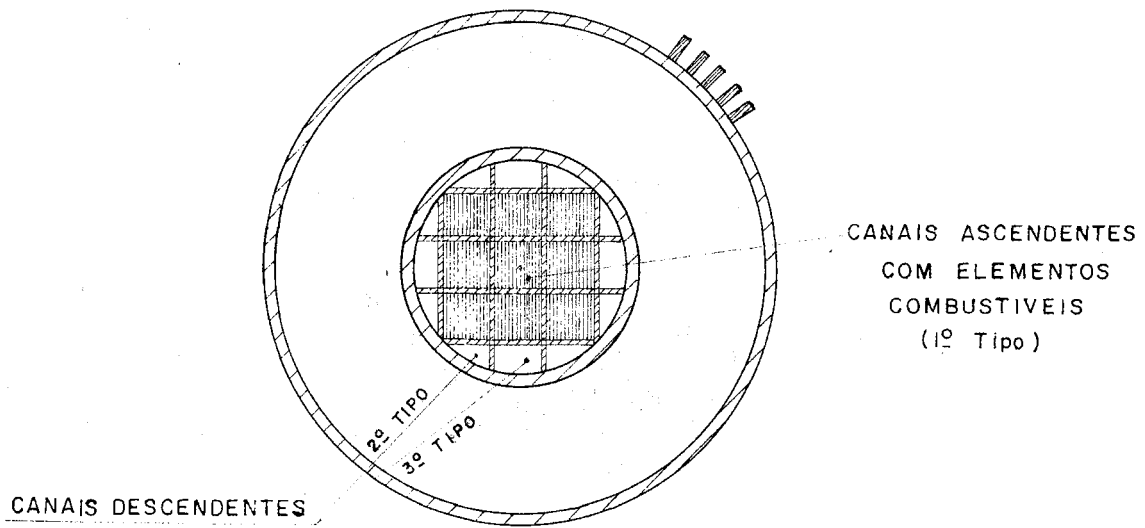
(FIG-9)



- $Q_s$  - Taxa de Calor Solar
- $Q_a$  - Taxa de Calor Solar Absorvido
- $Q_r$  - Taxa de Calor Solar Refletido
- $Q_g$  - Taxa de Geração de Calor
- $Q_t$  - Taxa Total de Dissipação de Calor

(FIG-10)

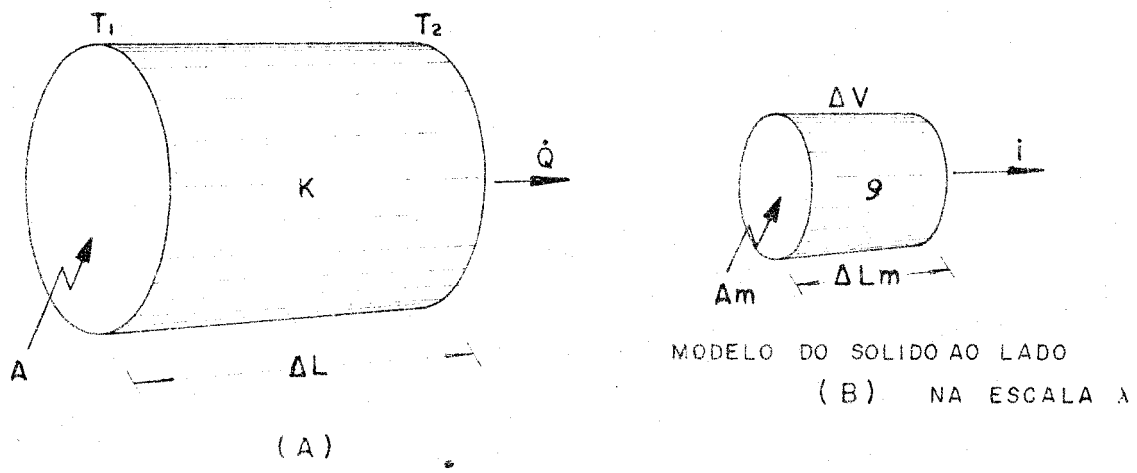
*Alvo*



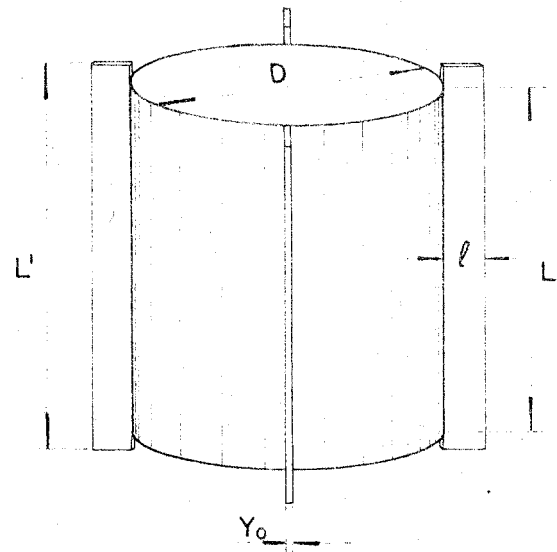
CIRCULAÇÃO DO FLUIDO REFRIGERANTE NOS CANAIS

(FIG-II)

*Alvaro*



(FIG-12)

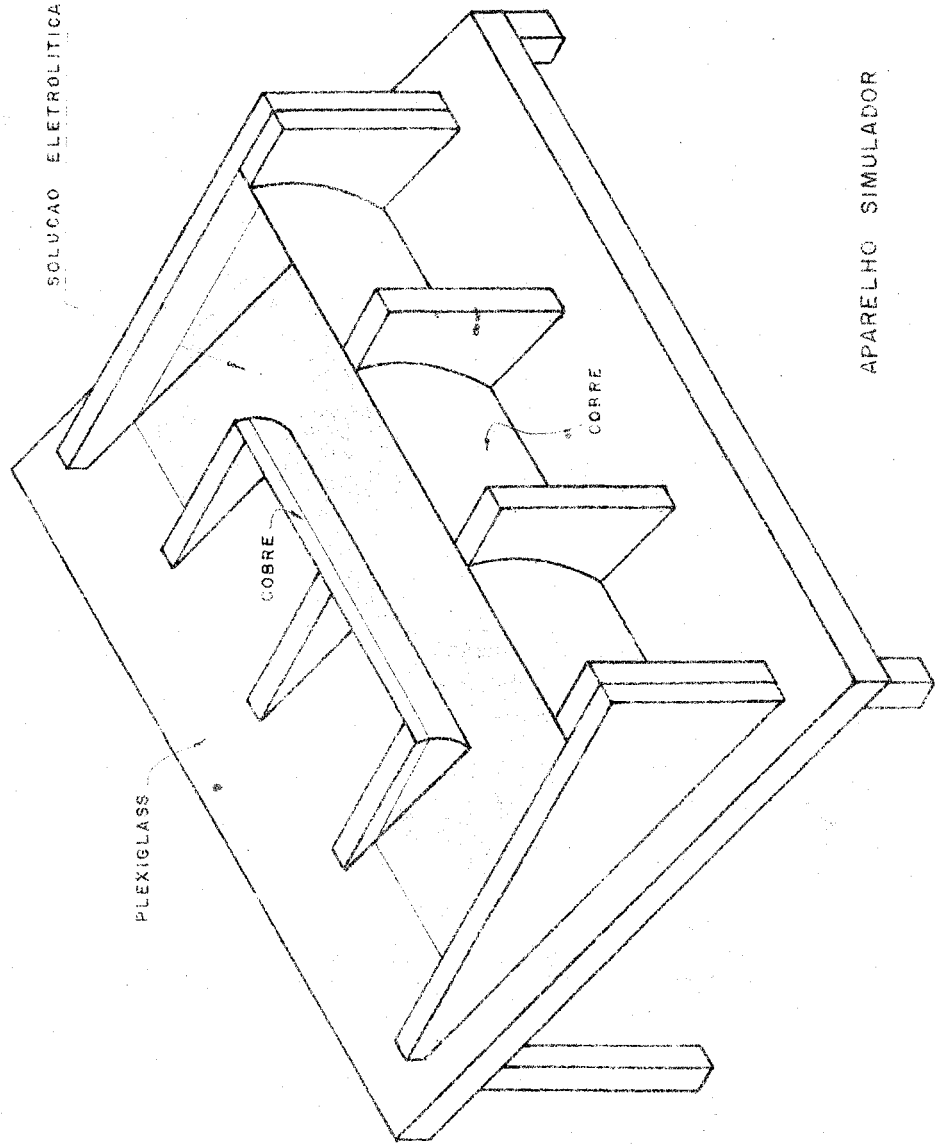
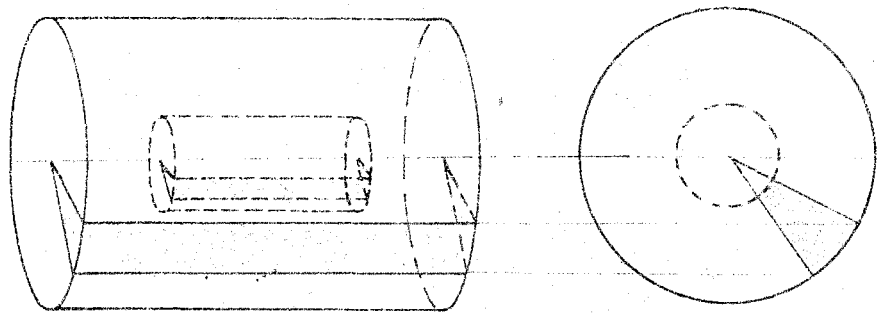


NOMENCLATURA PARA RECIPIENTE ALETADO

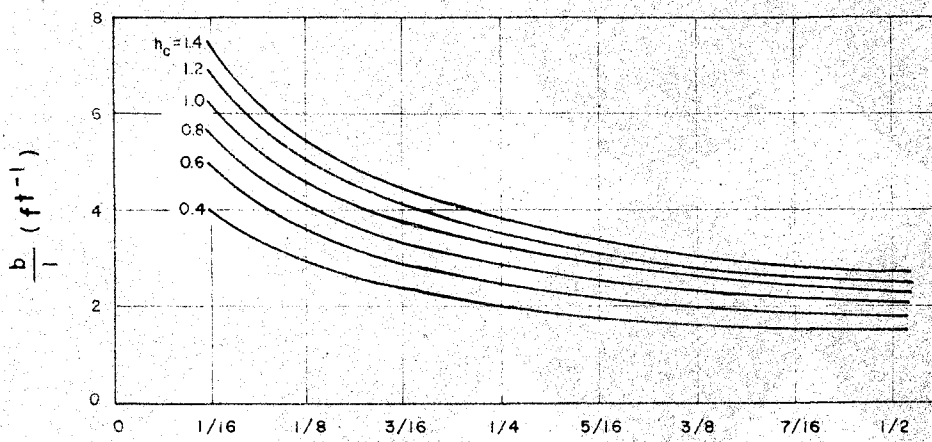
(FIG-13)

*Alvaro*

APARELHO SIMULADOR COMPLETO  
EVIDENCIANDO A PARTE  
REALMENTE CONSTRUIDA



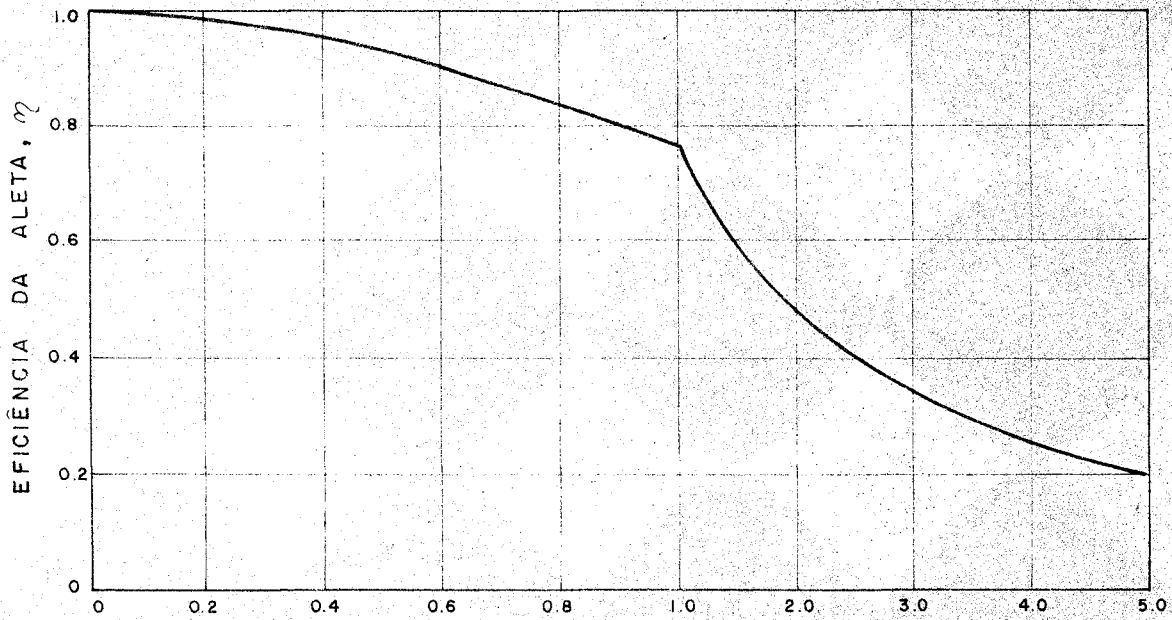
(FIG-14)



ESPESSURA DA ALETA [Yo (in)]

GRÁFICO DE (PARÂMETRO DA ALETA/COMPRI-  
MUNTO DA ALETA) PARA ALETAS LONGITUDINAIS DE PER-  
FIL RETANGULAR, 304 SS

(FIG-15)

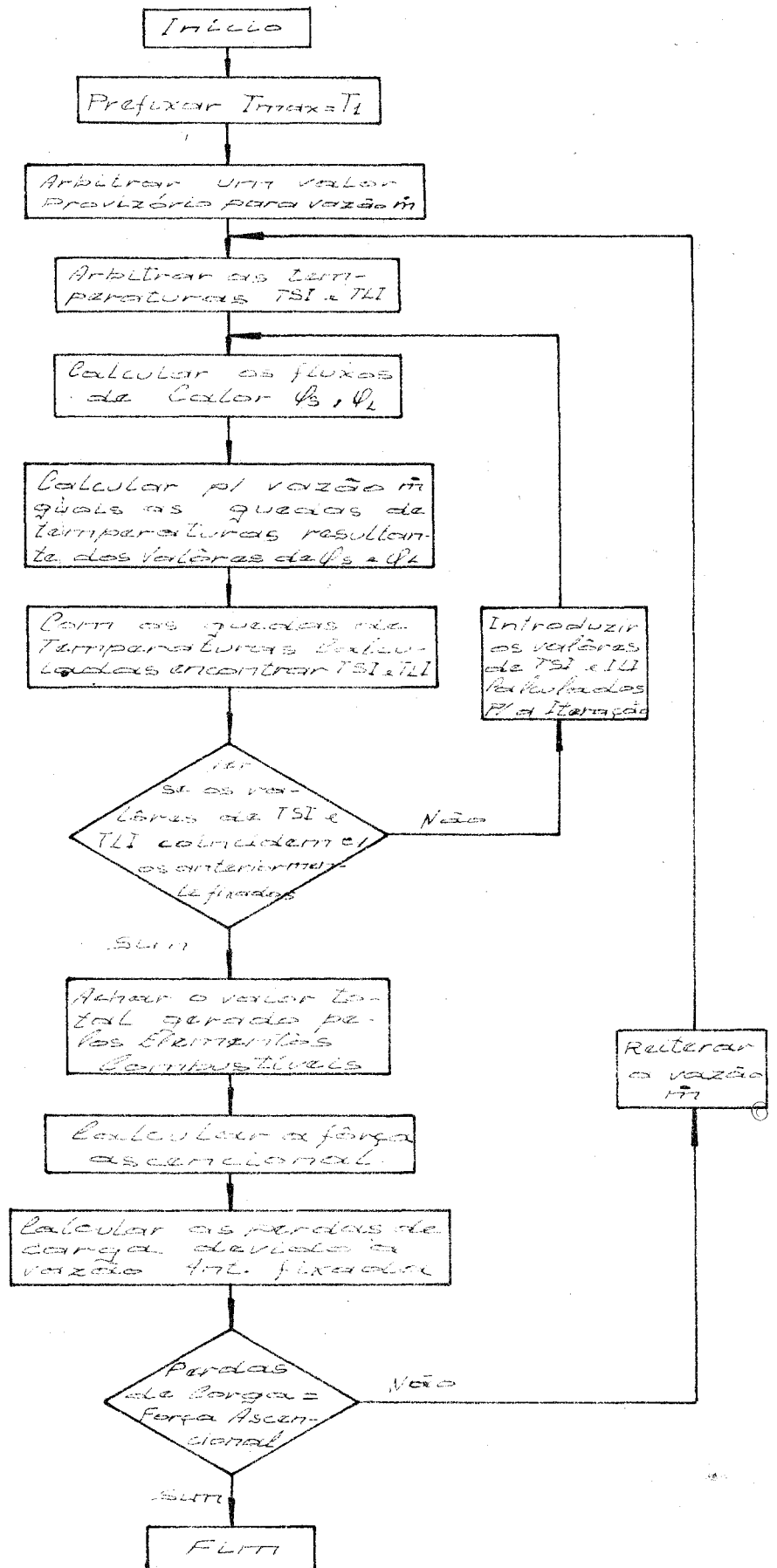


PARÂMETRO DA ALETA, b

EFICIÊNCIA PARA ALETAS RETAS DE SEÇÃO RETANGULAR  
VS PARÂMETRO DA ALETA

(FIG-16)

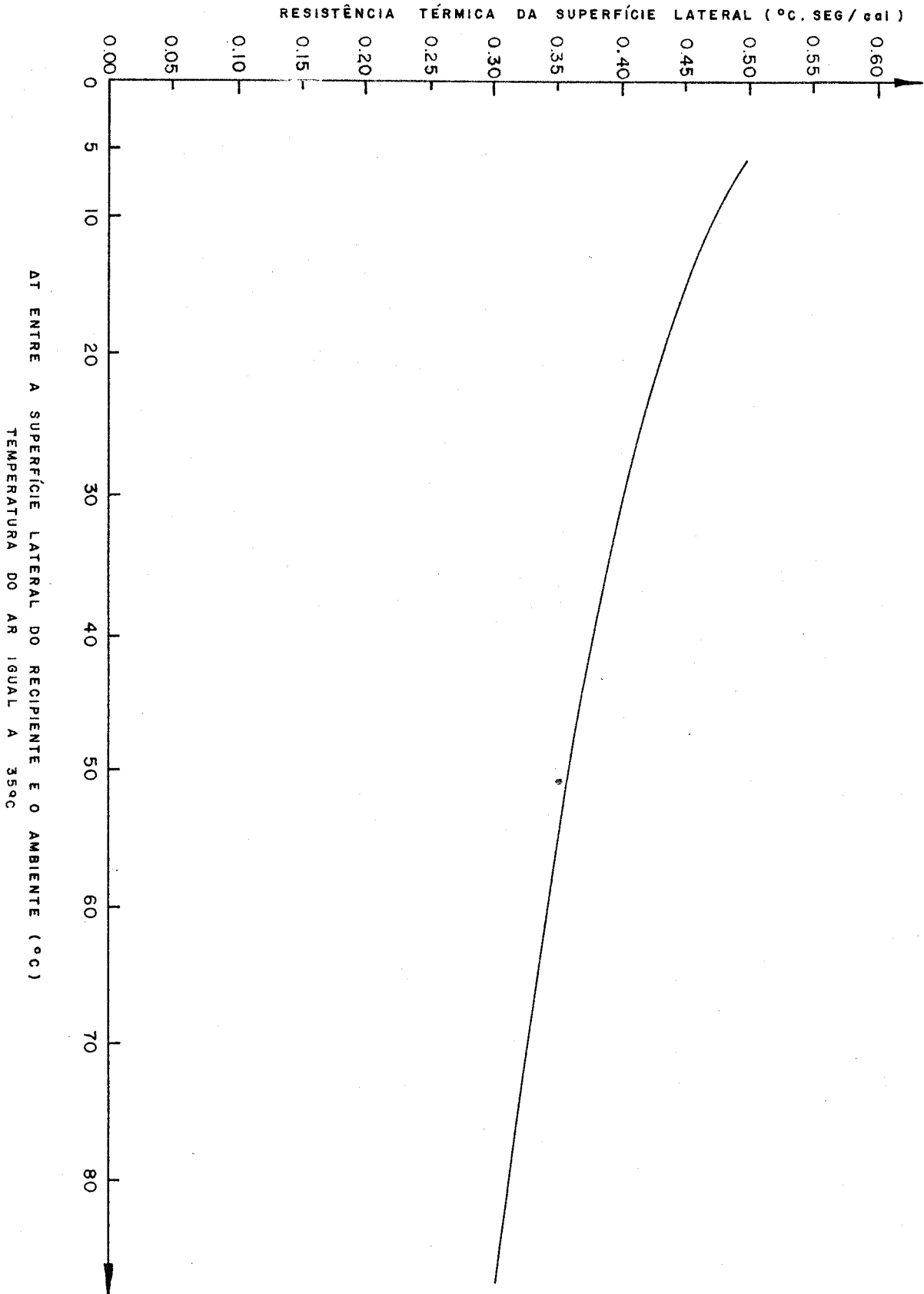
Alva



(FIG-17)



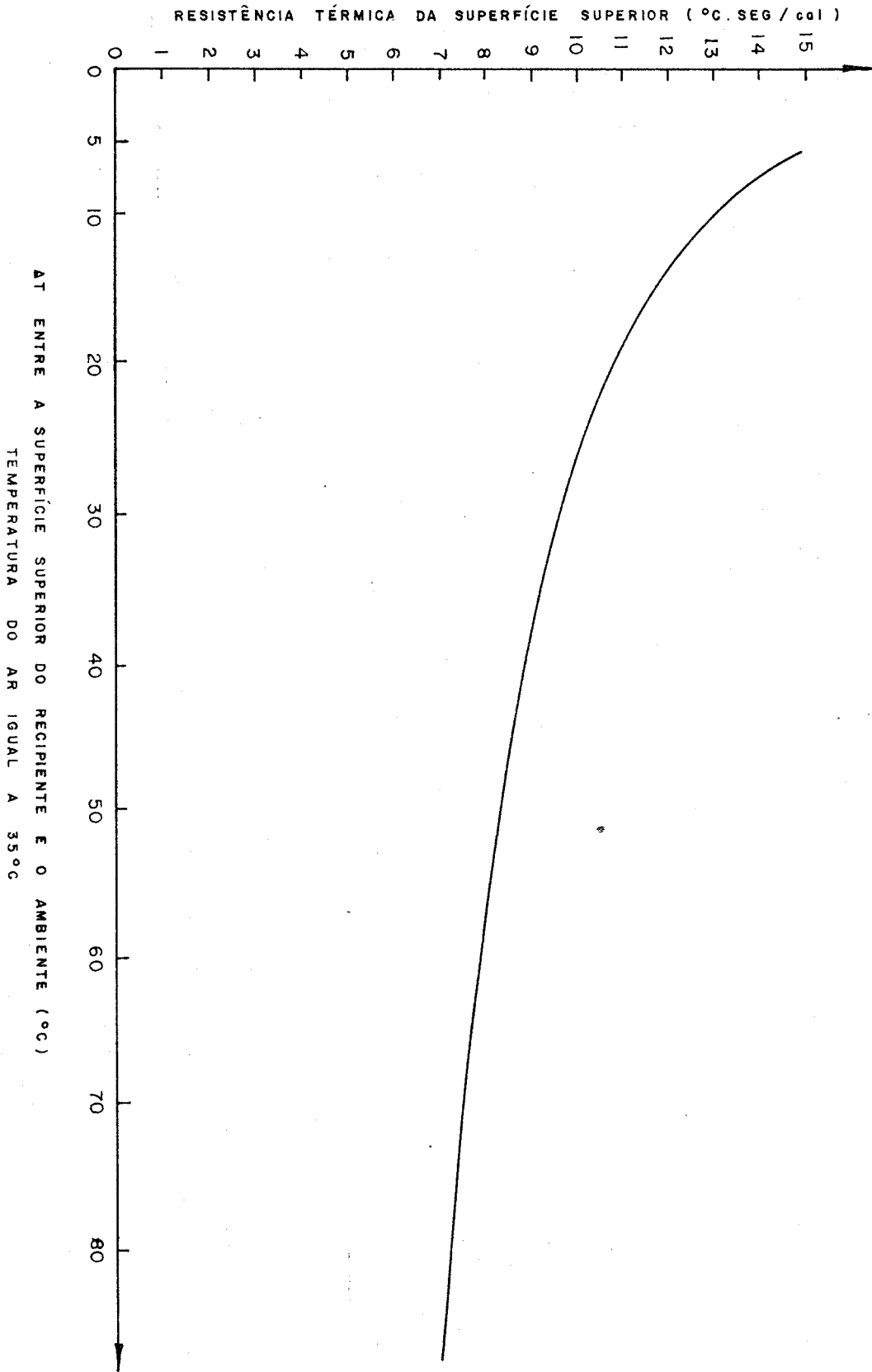
(FIG-18)



Algarve



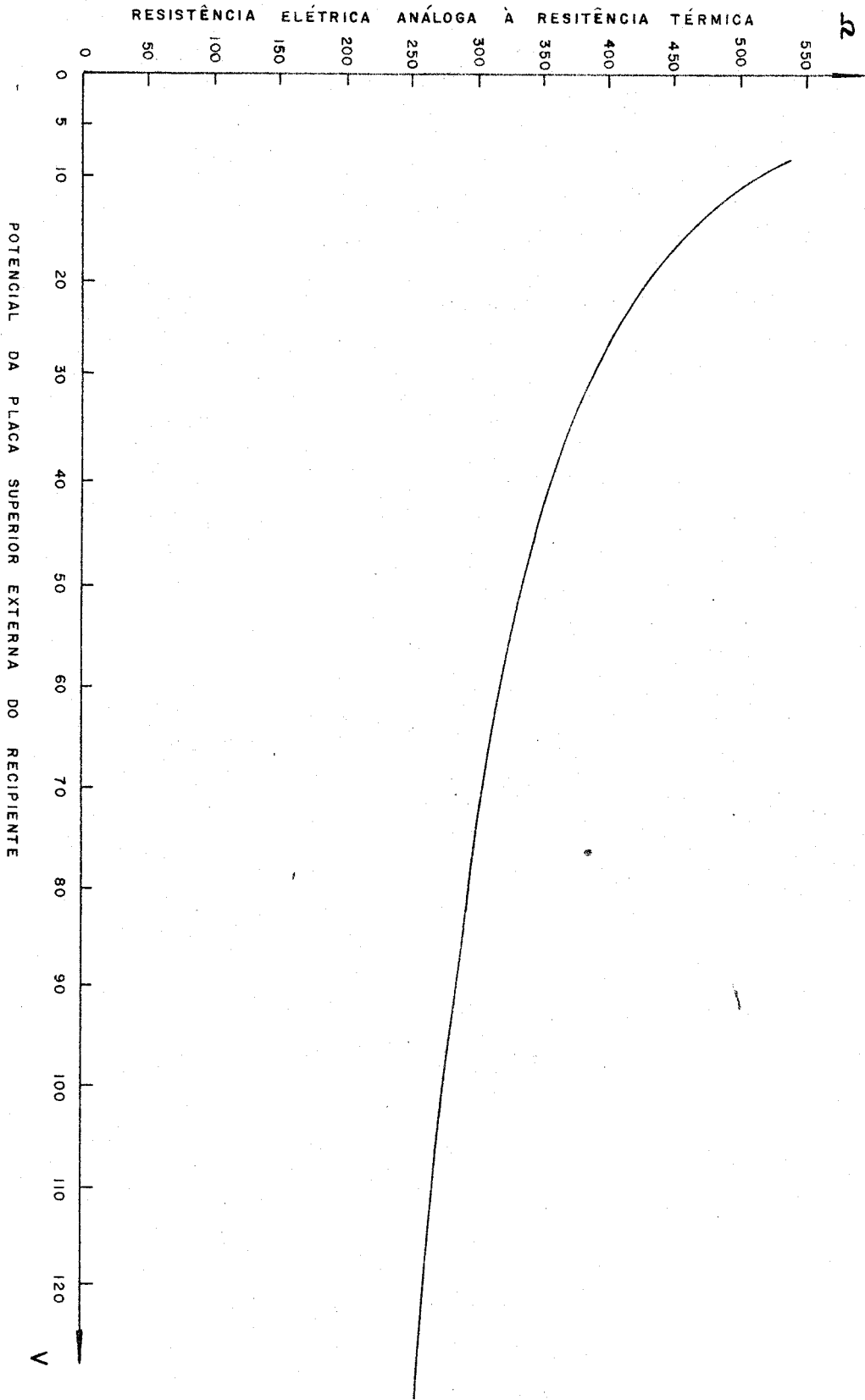
(FIG-19)



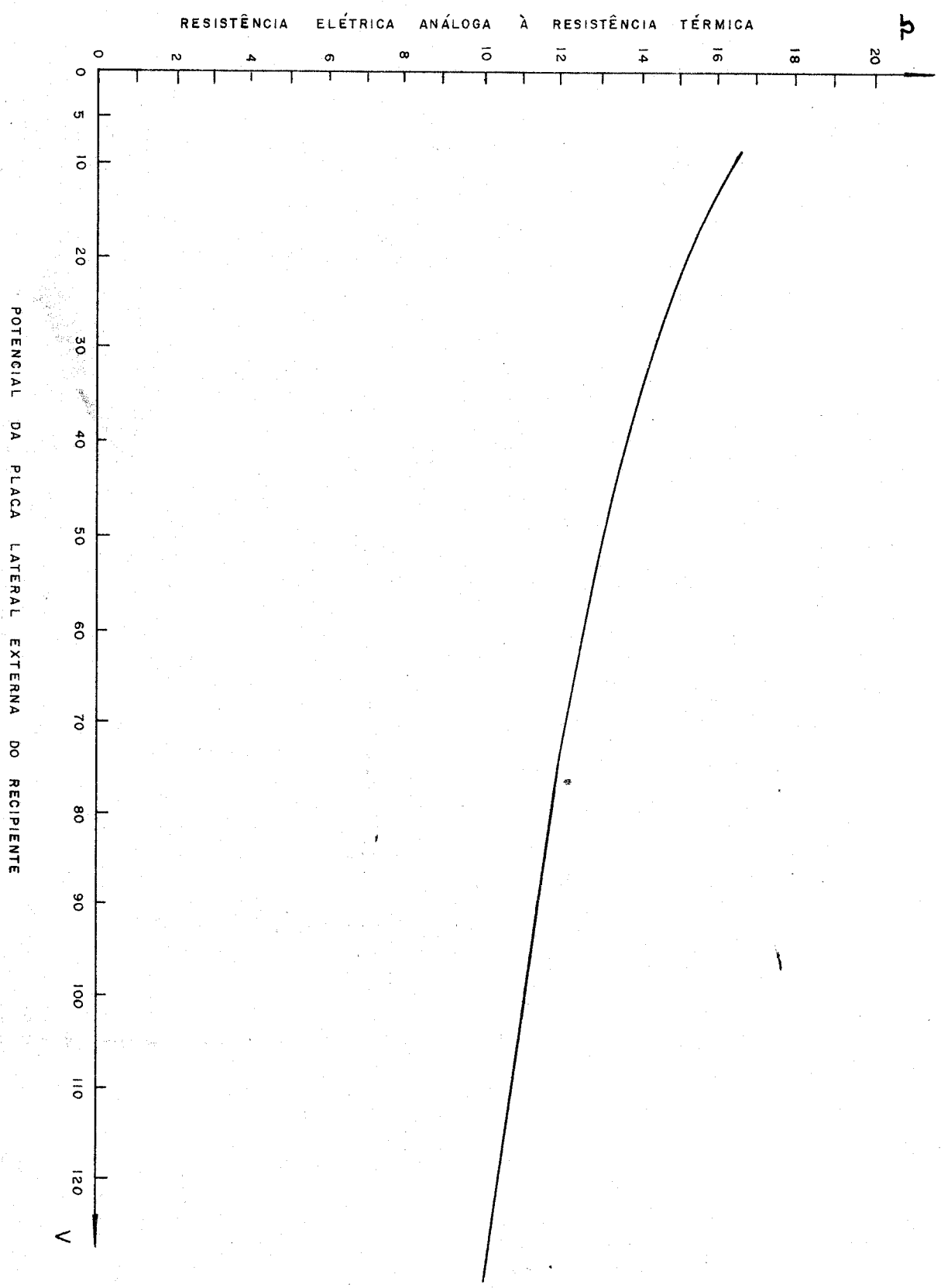
Alvarez

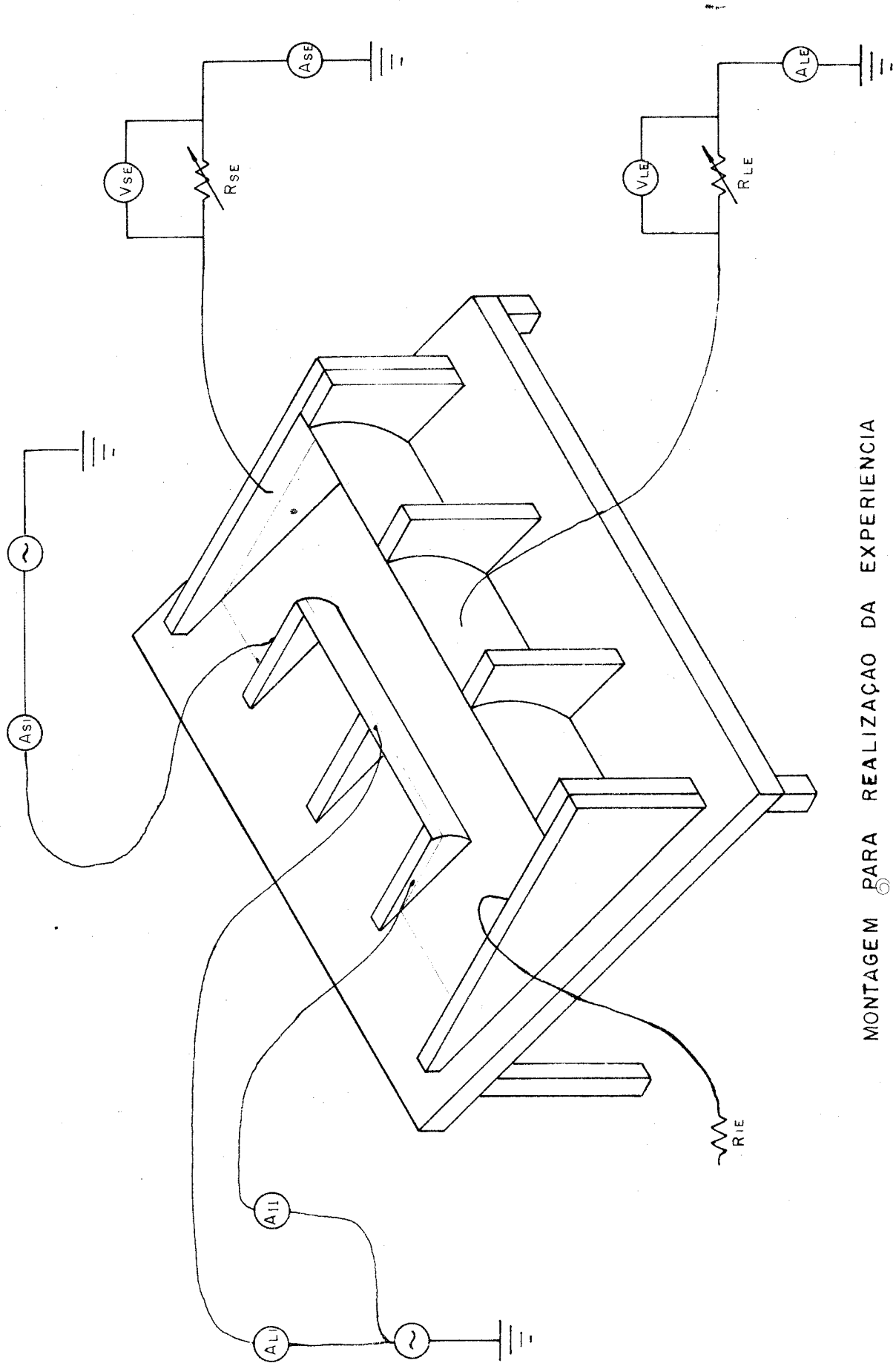
⊙

(FIG-20)



(FIG-21)

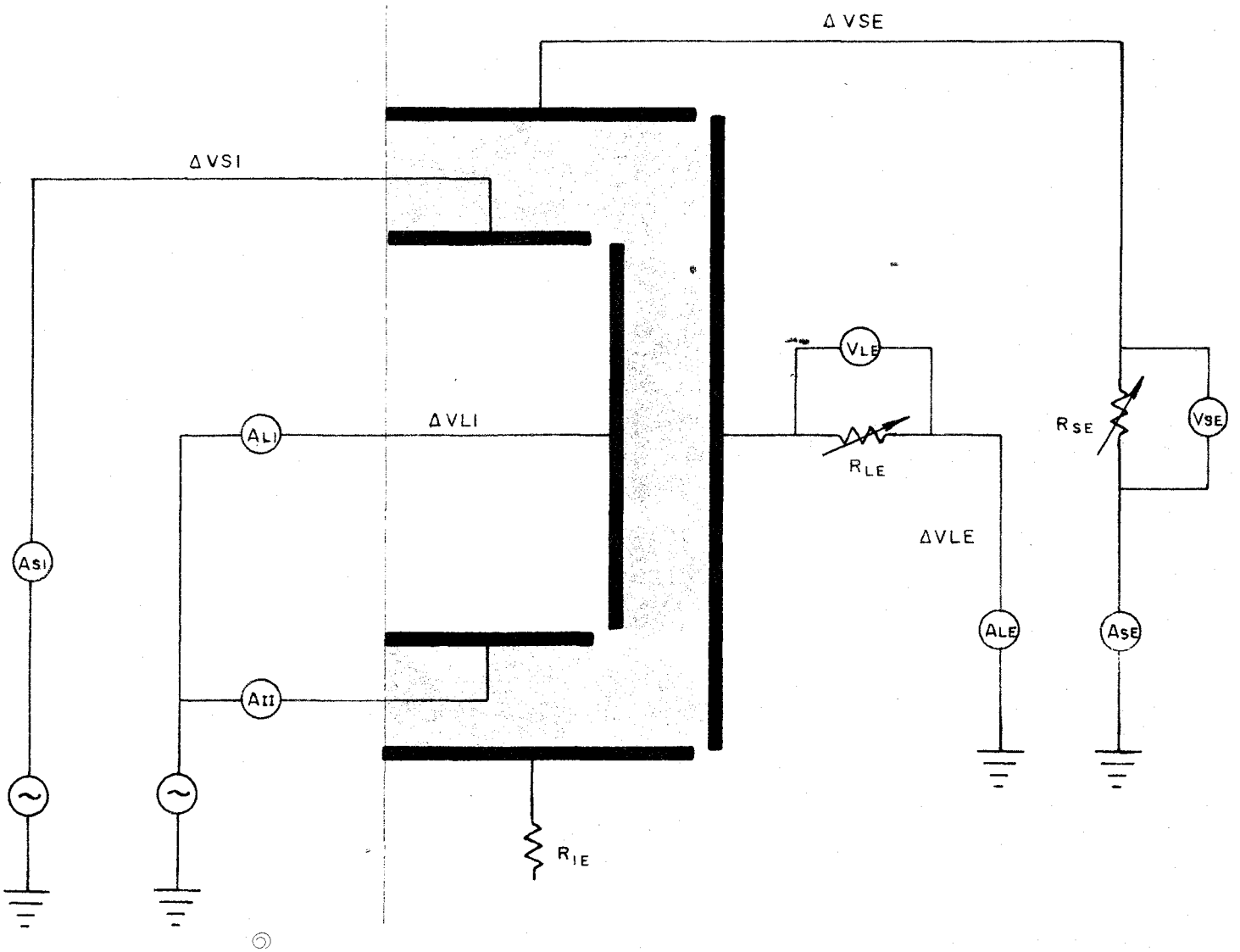


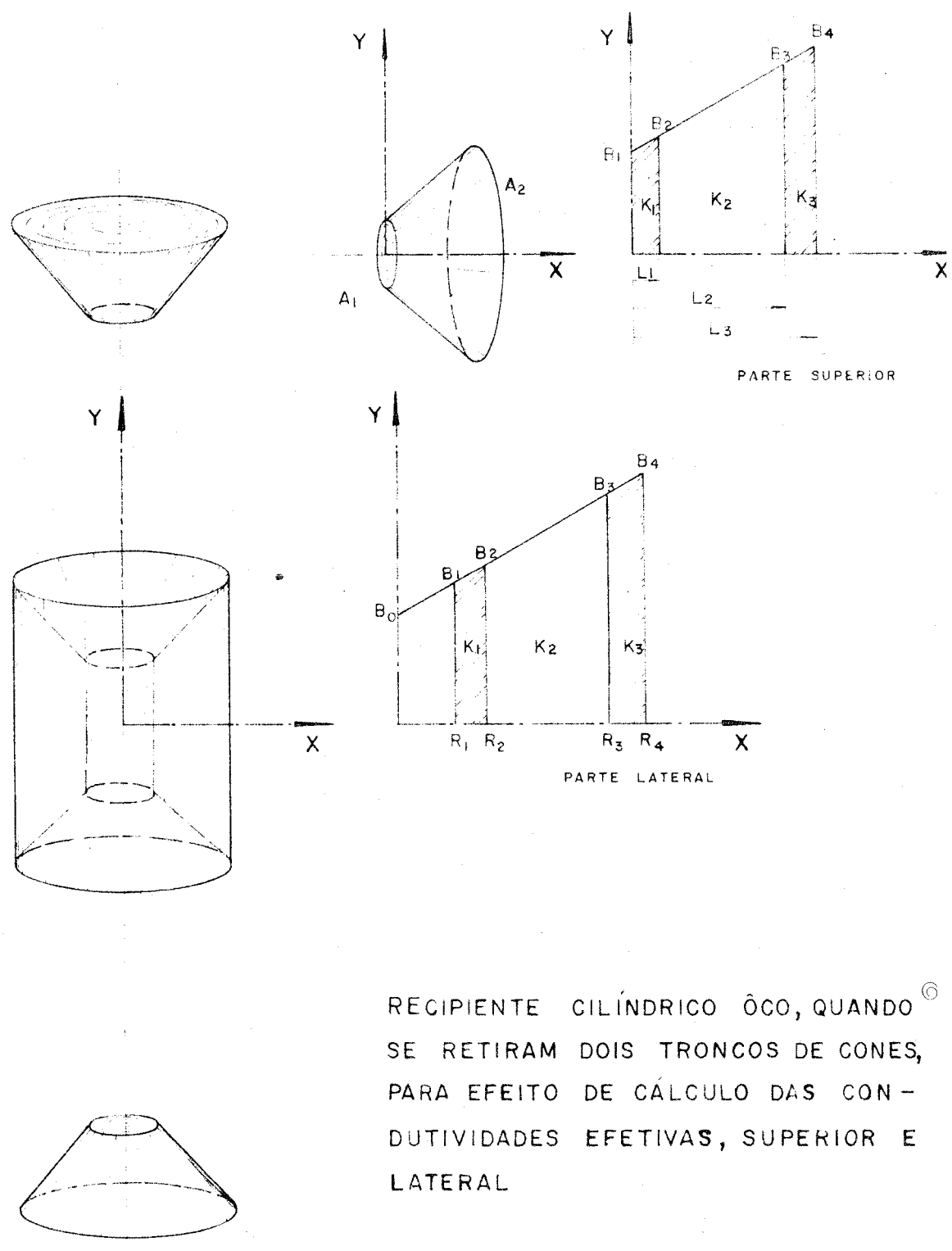


MONTAGEM PARA REALIZAÇÃO DA EXPERIENCIA

( FIG-22 )

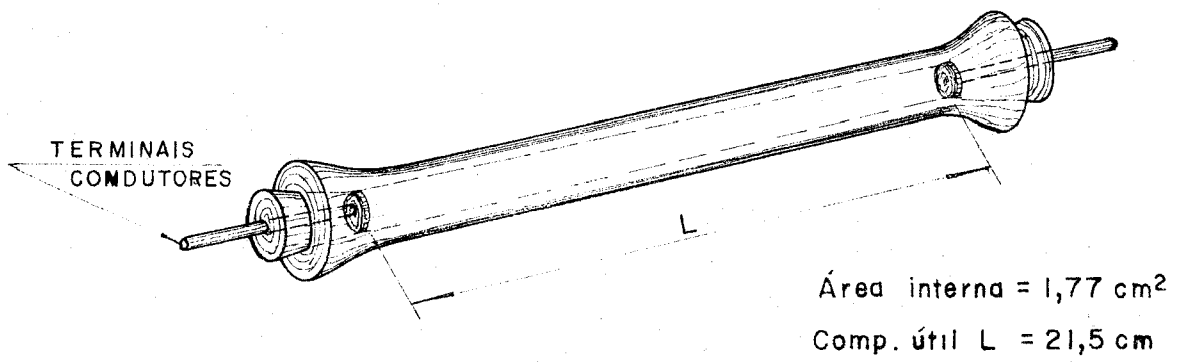
# CIRCUITO ELÉTRICO DA EXPERIÊNCIA



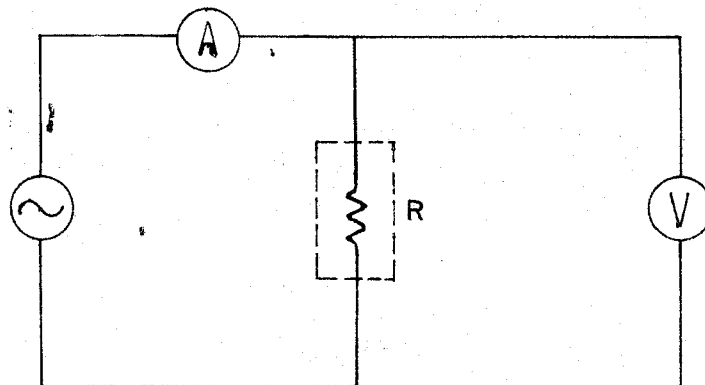


RECIPIENTE CILÍNDRICO ÔCO, QUANDO SE RETIRAM DOIS TRONCOS DE CONES, PARA EFEITO DE CÁLCULO DAS CON-DUTIVIDADES EFETIVAS, SUPERIOR E LATERAL

( FIG-24 )



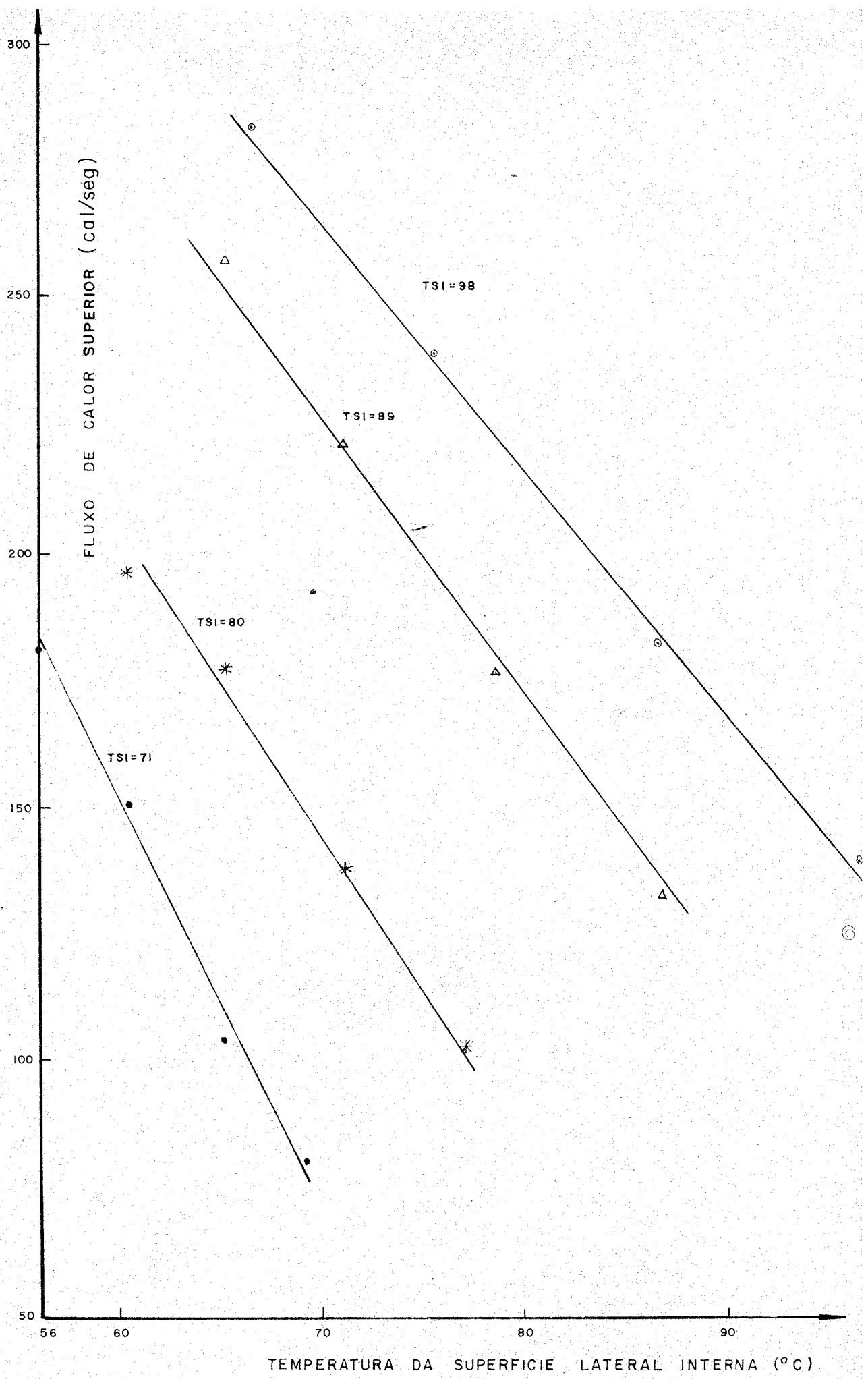
(FIG - 25)



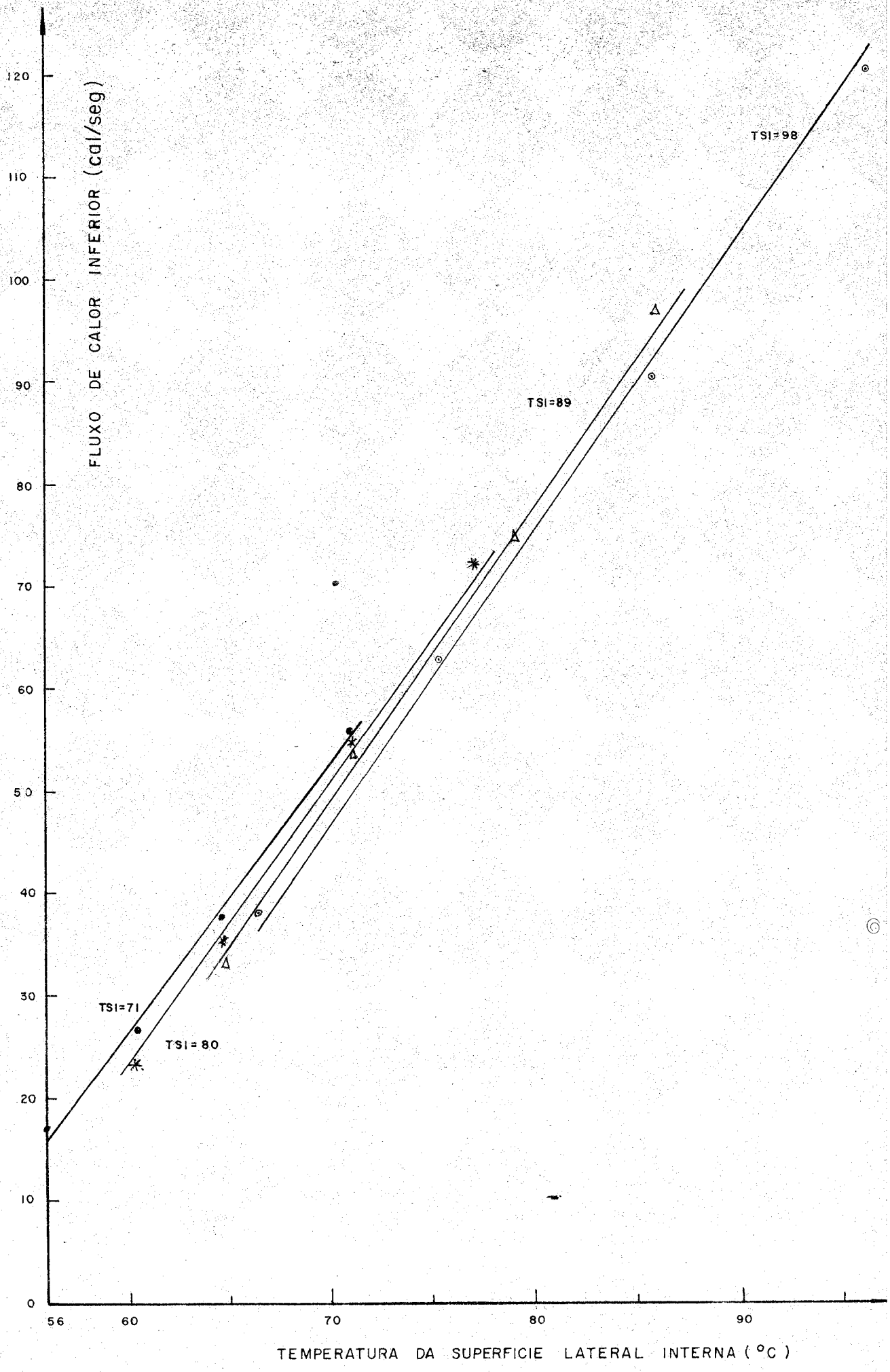
ESQUEMA ELÉTRICO PARA DETERMINAÇÃO DA  
RESISTIVIDADE DA SOLUÇÃO ELETROLÍTICA

(FIG-26)

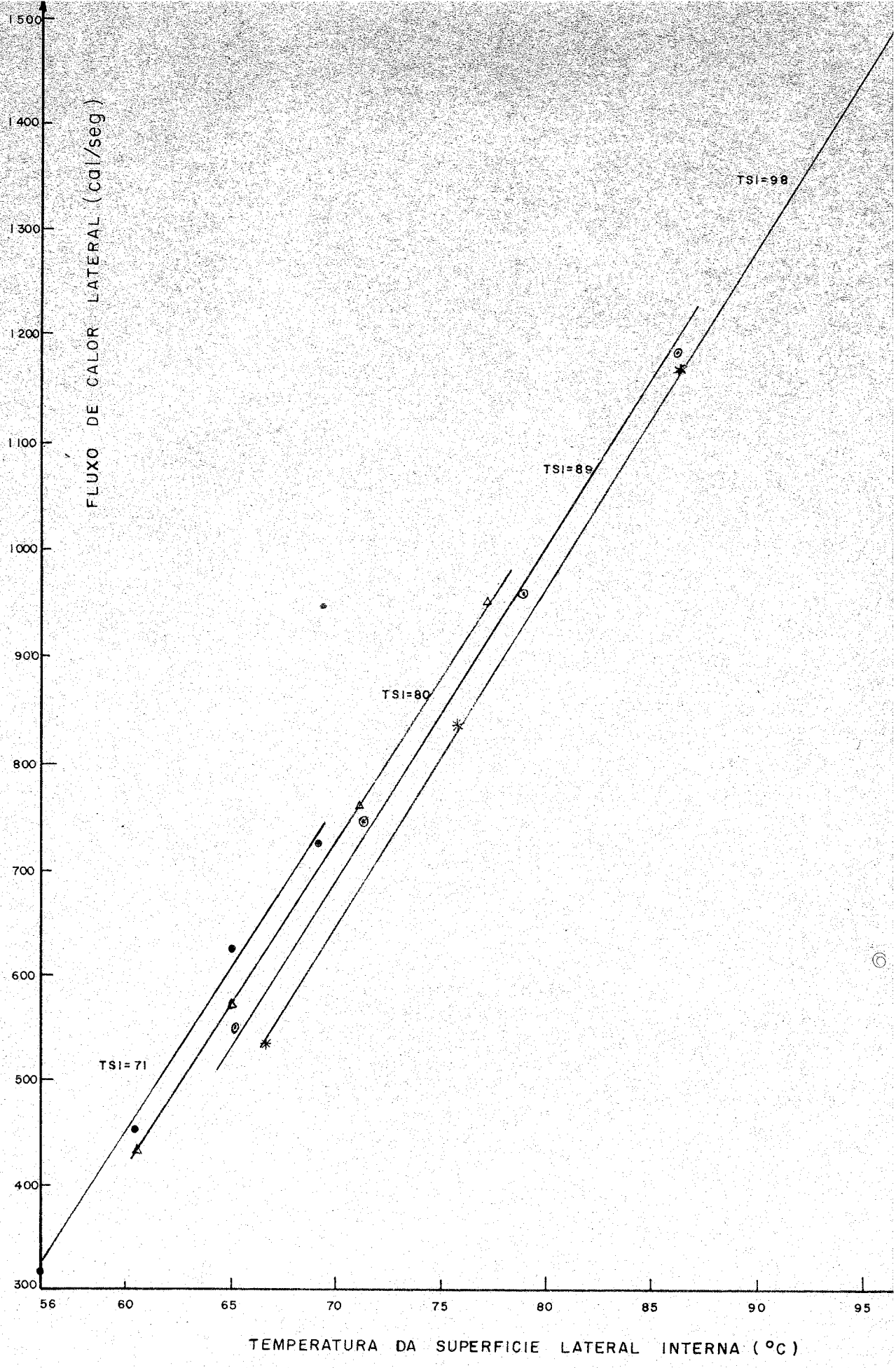




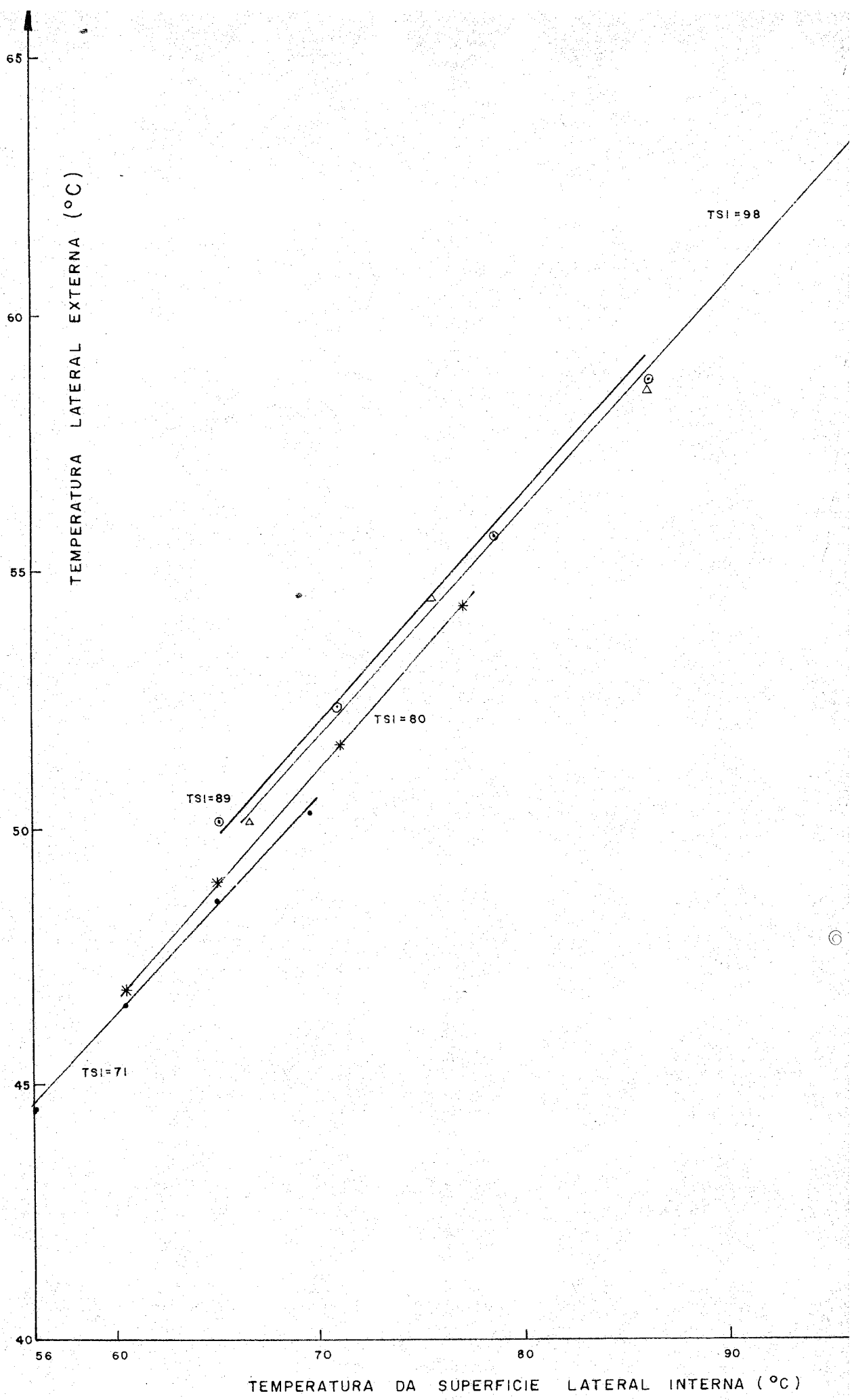
(FIG-27)



(FIG-28)

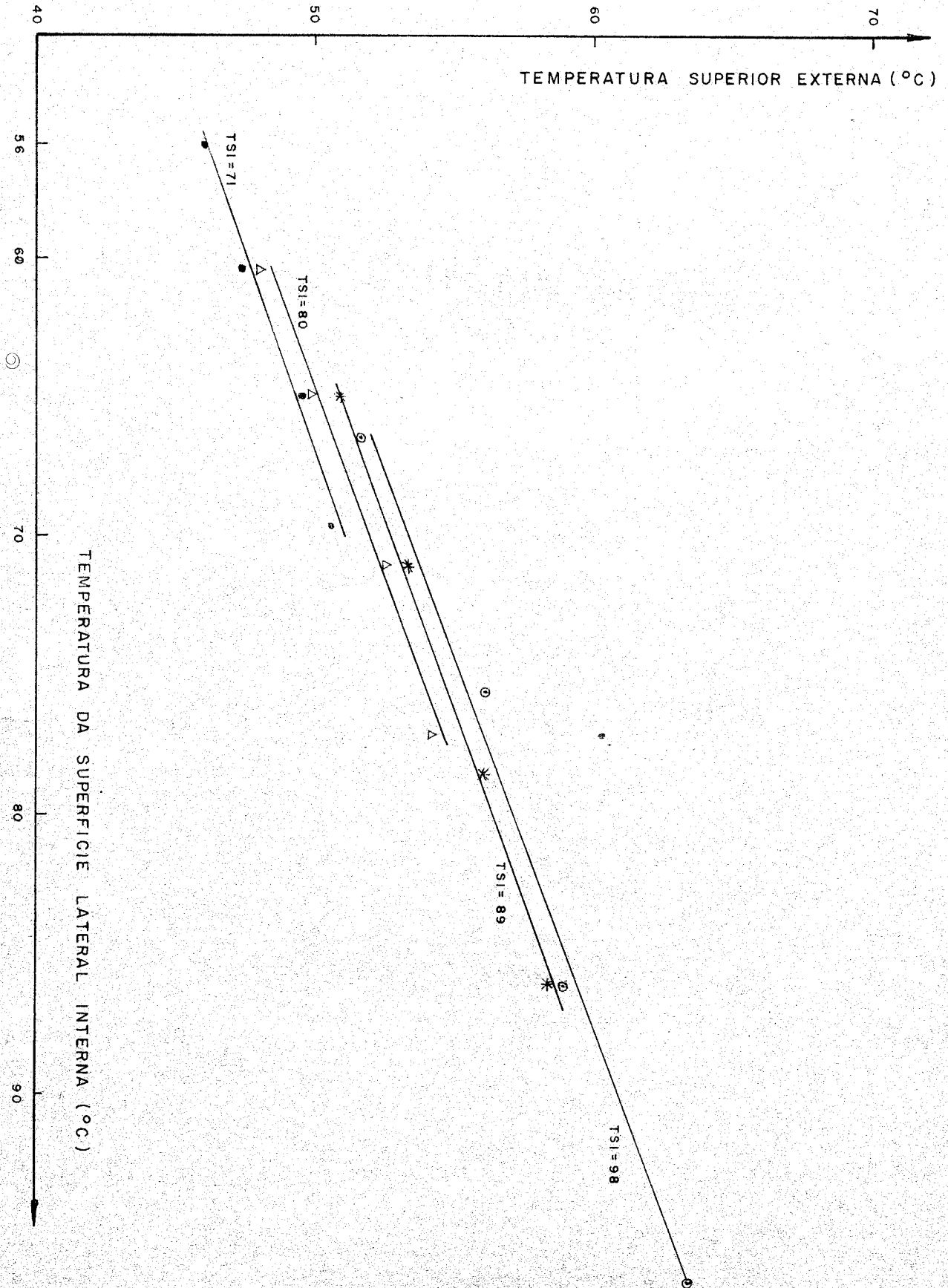


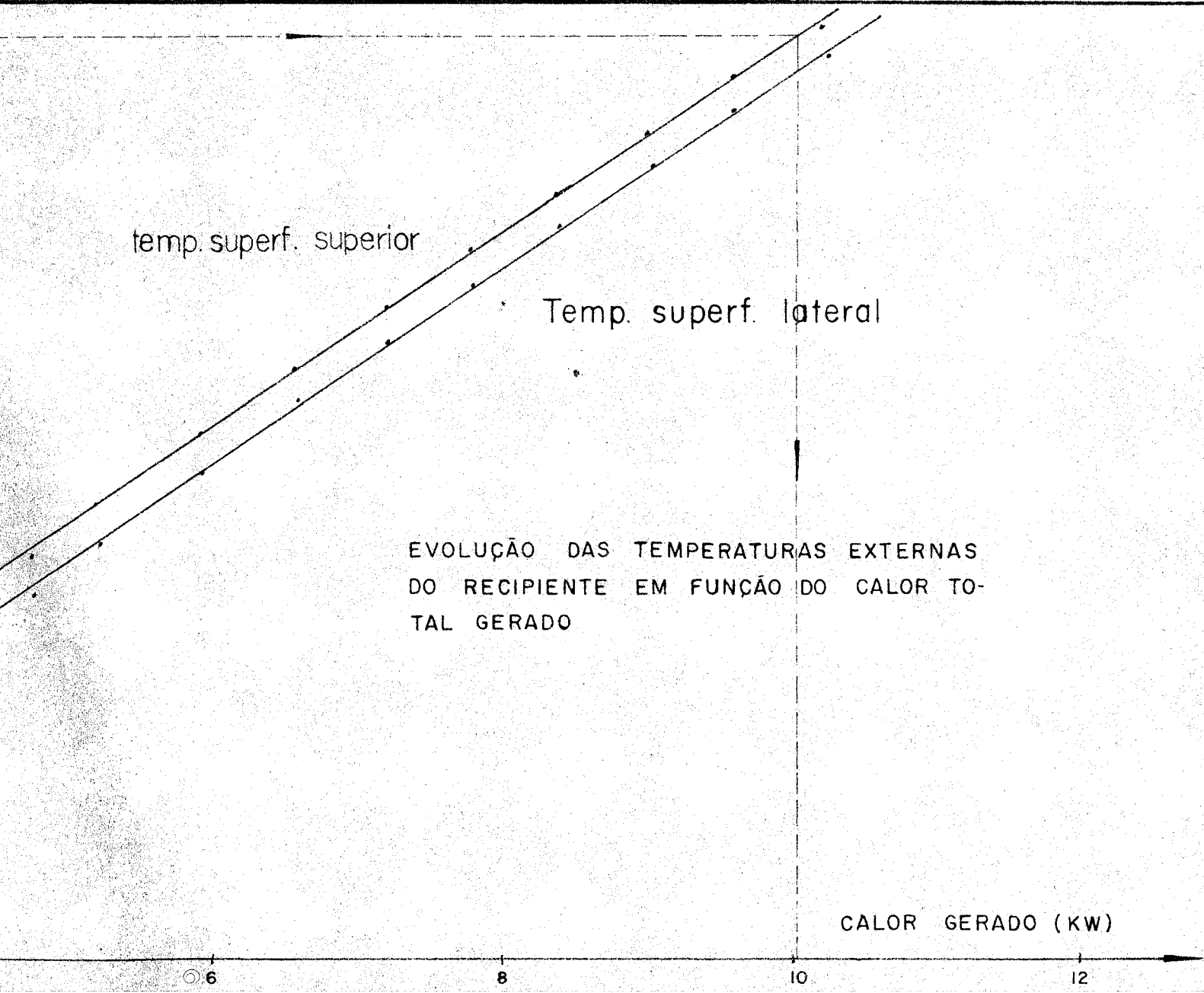
(FIG-29)

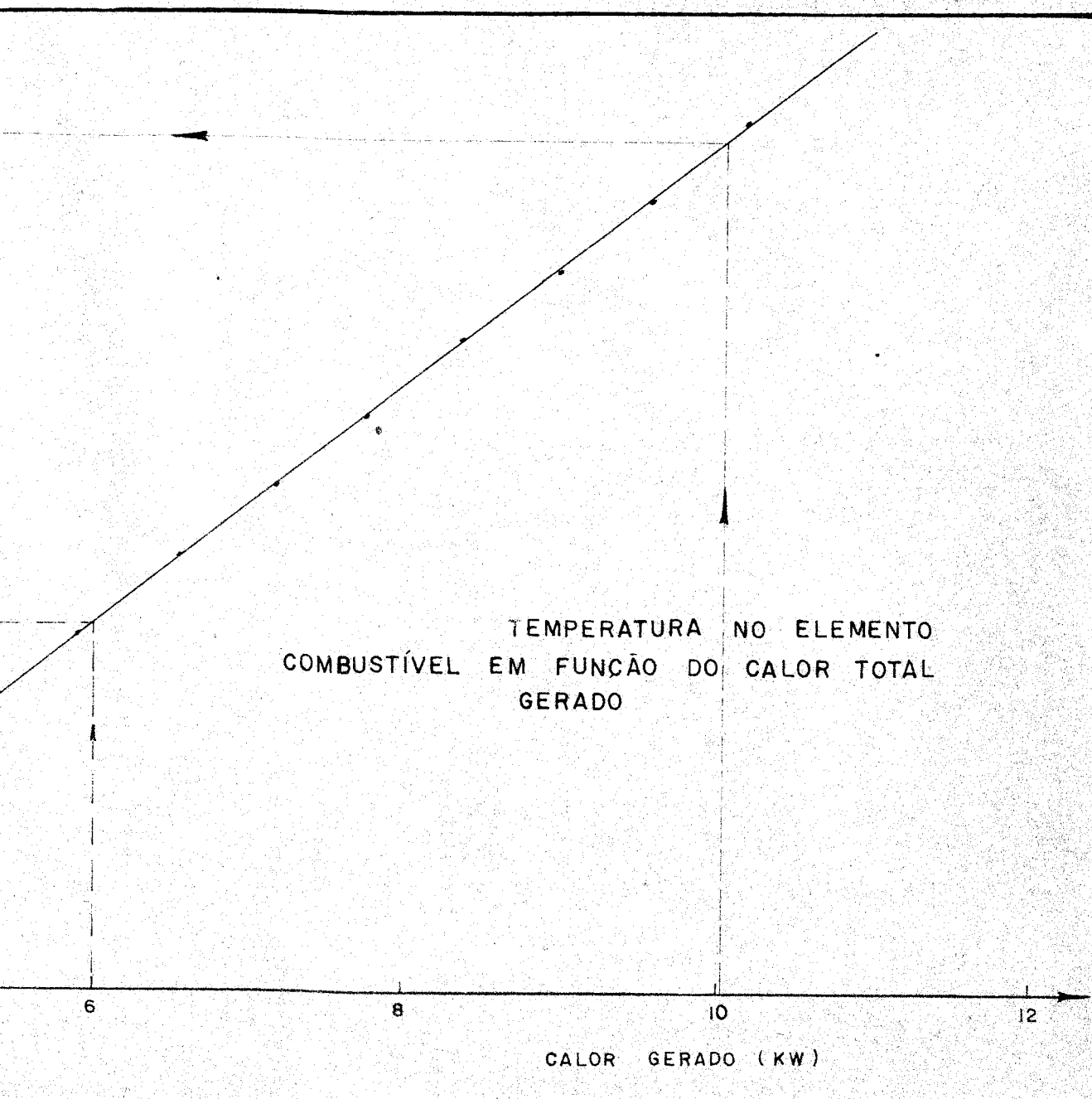


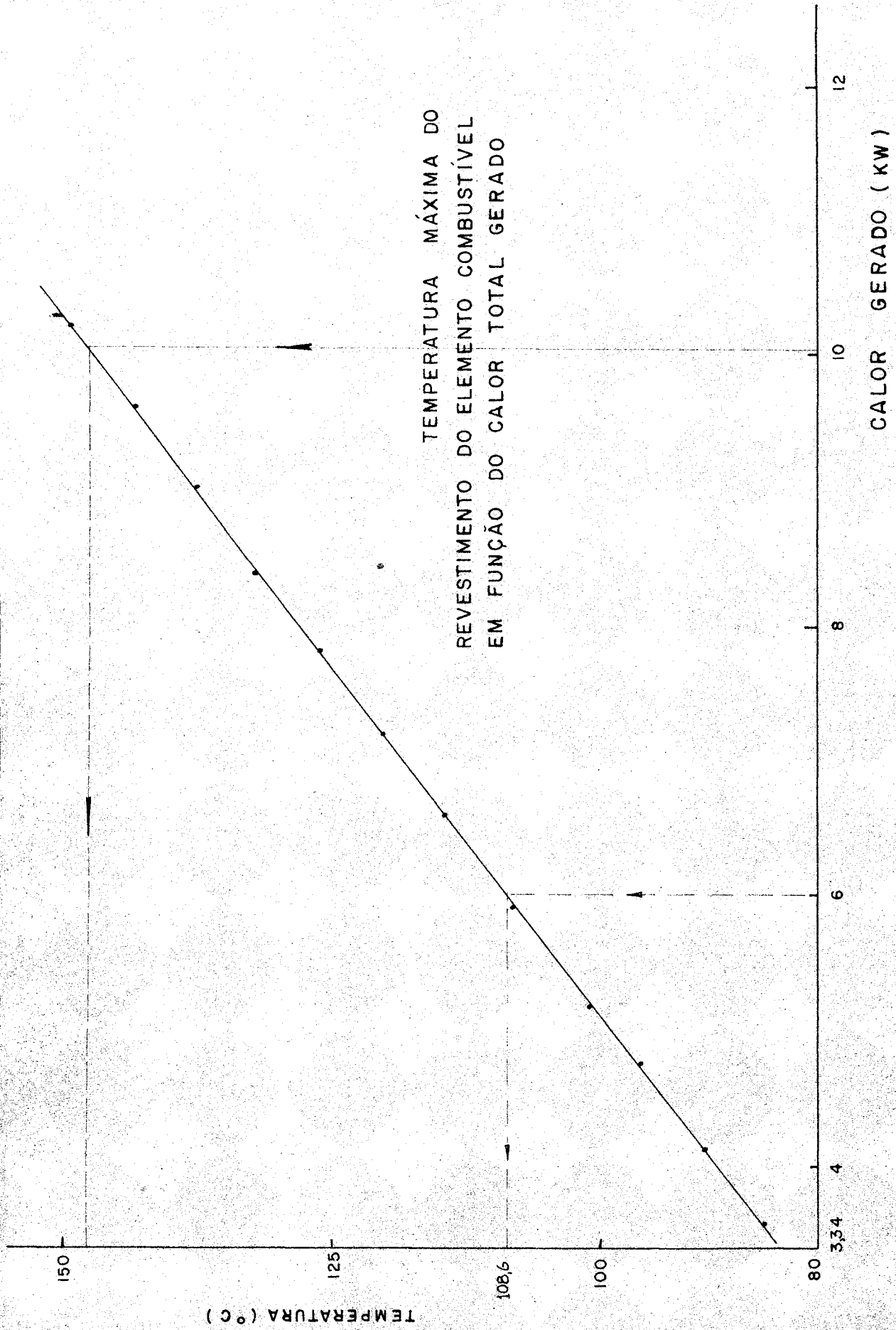
(FIG-30)

(FIG-31)









( FIG- 34 )



Doação de  
TOFANI à  
Biblioteca do IPR

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS - UFMG/CNEN  
DIVISÃO DE REATORES

Junho, 1971

ESTUDO DE ASPECTOS TÉRMICOS DE UM  
RECIPIENTE PARA TRANSPORTE DE ELEMENTOS  
COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS

Newton Moreira Leal

Tese submetida ao Curso de Ciências e Técnicas  
Nucleares da Universidade Federal de Minas Ge-  
rais, como parte dos requisitos necessários  
para a obtenção do grau de Mestre em Ciências