

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

**MEDIDAS DE PERMEABILIDADE E DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA
EFETIVA EM ISOLAMENTOS TÉRMICOS DO TIPO FIBRA**

SANDRO SKODA

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

Orientador: AHMET AYDIN KONUK

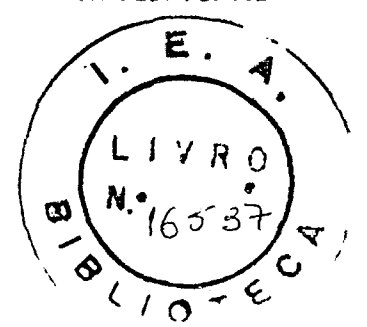
**São Paulo
1980**

MEDIDAS DE PERMEABILIDADE E DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA EM ISOLAMENTOS TÉRMICOS DO TIPO FIBRA

Autor: SANDRO SKODA

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

Orientador: AHMET AYDIN KONUK



AGRADECIMENTOS

Desejo manifestar aqui os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Ao Dr. Ahmet Aydın Konuk, orientador, meu especial apreço pelo incentivo e dedicação durante todas as fases do trabalho.

Ao Dr. José Antonio Dias Diegues, gerente do Centro de Engenharia Nuclear do IPEN, desejo agradecer a colaboração prestada.

Quero agradecer, também, aos colegas amigos do CEN: Armin Nelson Urban Welter; Benedito Dias Baptista; Auro Correa Pontedeir Henrique Martini de Paula; José Carlos de Almeida; Alfredo Alejo Gonzal e Gerson Antonio Rubin pela colaboração na montagem do arranjo experimental, pela confecção e implementação do "software" utilizado no PDP-11 e pelas sugestões apresentadas.

Ao IPEN, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares e ao PRONUCLEAR- Programa de Formação de Recursos Humanos para o Setor Nuclear, meus agradecimentos pelo fornecimento das instalações e pelo suporte financeiro, possibilitando condições para a realização deste trabalho.

Finalmente, desejo agradecer com grande estima e respeito aos meus pais, Alessandro e Elza, que me incentivaram com seu apoio a elaborar este trabalho.

Sandro Skoda

Aos meus pais

Alessandro Skoda e Elza F. Skoda

RESUMO

" Medidas de Permeabilidade e de Condutividade Térmica Efetiva em Isolamentos Térmicos do Tipo de Fibra "

Autor: Sandro Skoda

Foram determinadas, experimentalmente, a permeabilidade e a condutividade térmica efetiva do Kaowool, nome comercial para um tipo de fibra cerâmica a ser utilizado no isolamento interno dos dutos e no vaso de pressão de reatores nucleares refrigerados a gás (HTGR).

A permeabilidade permite o cálculo do número de Rayleigh para estimar o número de Nusselt do isolamento em presença da convecção natural.

A permeabilidade foi determinada através de medidas de perda de carga vs velocidade numa secção de teste cilíndrica com escoamento axial do gás, utilizando ar e hélio, nas pressões de 1 a 25 kgf/cm², à temperatura ambiente.

A densidade de compactação do isolamento variou de 100 a 400 kg/m³.

Foi observado que a permeabilidade varia com a pressão de 1 a 15 kgf/cm² e permanece constante de 15 a 25 kgf/cm².

Admitindo um modelo simplificado de escoamento em fibras, a permeabilidade foi correlacionada com a densidade do isolamento para permitir uma avaliação rápida do desempenho do isolamento em presença eventual de convecção natural.

A condutividade térmica efetiva foi medida através de diferenças de temperatura e fluxos de calor radiais na mesma secção de teste cilíndrica, utilizando-se novamente ar e hélio dentro do isolamento.

Foi utilizada a pressão atmosférica para impedir a convecção natural a fim de calcular a contribuição das fibras na condutividade térmica efetiva.

ABSTRACT

" Experimental Study of Permeability and Effective Thermal Conductivity of Fibrous Insulation"

Author: Sandro Skoda*

Experimental values of permeability and effective thermal conductivity of fibrous insulation (Kaowool) are obtained.

Kaowool will be used as internal thermal insulation for the high gas ducts and pressure vessel of the high temperature gas reactors (HTGR).

Permeability appears in the Rayleigh number used to correlate effective Nusselt number of the insulation in presence of natural convection.

Permeability was obtained using pressure drop vs velocity data in a cylindrical test section with axial gas flow, using air and helium from 1 to 25 kgf/cm² at room temperature.

The insulation density varied from 100 to 400 kg/m³.

Permeability was found to depend on pressure from 1 kgf/cm² to 15 kgf/cm² and to be constant from 15 kgf/cm² to 25 kgf/cm².

Using a simplified model of flow through fibres, permeability was correlated with the insulation density.

Effective thermal conductivity was measured using radial temperature differences and radial heat fluxes, in the same test section as previously mentioned, again using air and helium.

Data were taken at 1 kgf/cm² in order to eliminate natural convection and thus to calculate the contribution of the fibers to the effective thermal conductivity.

" I N D I C E "

	PÁG.
NOMENCLATURA	1
I - INTRODUÇÃO	3
a) Trabalhos anteriores - trabalhos experimentais	4
b) Trabalhos anteriores - modelos numéricos	6
Objetivos	10
II - MEDIDAS DE PERMEABILIDADE	11
Resultados	14
Correlação dos resultados	17
III - MEDIDAS DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA	21
Equipamento e procedimento experimental	21
Resultados	26
IV - CONCLUSÕES	32
Trabalhos futuros	33
APÊNDICE <u>A</u>	34
APÊNDICE <u>B</u>	42
APÊNDICE <u>C</u>	50
APÊNDICE <u>D</u>	59
APÊNDICE <u>E</u>	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

LISTA DE FIGURAS

	<u>PÁG.</u>
1 - Duto de alta temperatura de um reator de 2.000 MW refrigerado a gás	3
2 - Isolamento térmico interno tipo fibras, entre duas paredes paralelas	5
3 - Correlação do número de Nusselt global para cilindro na posição horizontal e para a posição vertical sem paredes intermediárias	9
4 - Esquema do equipamento para medir permeabilidade	11
5 - Variação da perda de carga com a velocidade do ar dentro do isolamento	15
6 - Gráfico da permeabilidade vs pressão	16
7 - Variação da permeabilidade {K} vs densidade de compactação $\{\rho_i\}$	18
8 - Correlação da permeabilidade e densidade de compactação	20
9 - Posicionamento dos termopares no aquecedor protetor lateral esquerdo (Q_1)	22
10 - Posicionamento dos termopares no aquecedor central (Q_2)	23
11 - Posicionamento dos termopares no aquecedor protetor lateral direito (Q_3)	24
12 - Condutividade térmica efetiva da fibra (λ_{ef}) vs a temperatura média do isolamento (\bar{T})	29
13 - Medidor de pressão diferencial com as duas linhas de tomada de pressão e válvula Manifold	35
14 - Rotâmetro para ar	36
15 - Vaso de pressão	36

	<u>PÁG</u>
16 - Posicionamento do manômetro de 25 kgf/cm ² sobre o vaso de pressão	37
17 - Posicionamento da válvula Manifold e do manômetro de 25 kgf/cm ² com relação ao vaso de pressão	38
18 - Equipamento para medição da permeabilidade	38
19 - Equipamento para medição da permeabilidade	39
20 - Fibra (Kaowool) compactada no interior do vaso de pressão	40
21 - Flange do tipo "Welding Neck", anel intermediário e contra flange, instalados no vaso de pressão	40
22 - Esquema do equipamento para medir condutividade térmica efetiva	43
23 - Vaso de pressão	44
24 - Detalhe do aquecedor lateral e aquecedor central com sensores de temperatura	45
25 - Conjunto elétrico para alimentação dos aquecedores	46
26 - Computador modelo PDP 11/45	47
27 - Impressora e leitora de dados do computador PDP 11/45.....	47
28 - Bomba de vácuo	48
29 - Diagramas de blocos dos programas a) LEI FTN, b) PRINT FTN	60
30 - Diagrama de blocos do programa PRINT FTN	61

LISTA DE TABELAS

	<u>PÁG.</u>
1 - Valores experimentais da vazão (V), velocidade superficial (v), perda de carga (ΔP) e da permeabilidade (K)	14
2 - Valores de temperaturas médias obtidas durante o regime estacionário	26
3 - Comparação de vários parâmetros, variação de temperatura, pressão, condutividade térmica e número de Rayleigh	28

NOMENCLATURA

- A: constante geométrica
- C_p : calor específico a pressão constante {kcal/kg⁰C}
- d: espessura do meio poroso
- d_e : diâmetro externo do isolamento {m}
- d_h : diâmetro hidráulico {m}
- d_i : diâmetro interno do isolamento {m}
- f: fator de atrito
- g: aceleração da gravidade {m/s²}
- K: permeabilidade {m²}
- ℓ: comprimento do isolamento {m}
- L: comprimento em que existe a perda de carga {m}
- Nu: número de Nusselt
- Q: calor transferido através do isolamento {W}
- Ra: número de Rayleigh
- Re: número de Reynolds
- r_e : raio externo do isolamento {m}
- r_i : raio interno do isolamento {m}
- \bar{T} : temperatura média no isolamento {⁰C}
- T_e : temperatura na face externa do isolamento {⁰C}
- T_f : temperatura da parede fria {⁰K}
- T_i : temperatura na face interna do isolamento {⁰C}
- T_q : temperatura da parede quente {⁰K}
- u: velocidade média do gás {m/s}
- v: velocidade superficial de um gás em um meio poroso {m/s}

- α : coeficiente de difusividade térmica $\{m^2/s\}$
 β : coeficiente térmico de expansão volumétrica a pressão constante $\{^{\circ}K\}$
 δ : diâmetro da fibra $\{m\}$
 ΔP : perda de carga no comprimento L $\{N/m^2\}$
 ΔT : diferença de temperaturas entre parede quente e parede fria $\{^{\circ}C\}$
 ξ : porosidade
 λ_{ef} : condutividade térmica efetiva $\{W/m^{\circ}C\}$
 λ_f : condutividade térmica da fibra $\{W/m^{\circ}C\}$
 λ_g : condutividade térmica do gás $\{W/m^{\circ}C\}$
 μ : viscosidade dinâmica $\{N \times s/m^2\}$
 ν : viscosidade cinemática $\{m^2/s\}$
 ρ : densidade do gás $\{kg/m^3\}$
 ρ_f : densidades das fibras $\{kg/m^3\}$
 ρ_i : densidade de compactação das fibras $\{kg/m^3\}$

I - INTRODUÇÃO

Os reatores de alta temperatura refrigerados a gás, requerem isolamento térmico interno.

Na operação dos protótipos dos reatores nucleares à alta temperatura (HTGR), Peach Botton (EUA), Dragon (Grã-Bretanha) e AVR (Alemanha Ocidental), mostram a viabilidade de utilizar estes reatores em processos químicos e industriais.

O refrigerante destes reatores nucleares opera dentro de uma faixa de temperatura que varia de 800 a 950°C e pressão da ordem de 40 a 50 kgf/cm², dependendo do tipo de reator.

Nos reatores para turbina à hélio, a temperatura de projeto do gás é de 850°C e para o projeto do protótipo do "Nuclear Process Heat" é de 950°C.

Como o refrigerante trabalha em condições de alta temperatura e de alta pressão, é necessário uma barreira térmica interna, tanto no vaso de pressão do reator como nos dutos que conduzem o gás refrigerante para proteger as paredes de alta temperatura, estando sujeitas as mesmas aos efeitos da alta pressão.

A figura 1 mostra a secção principal de um duto de um reator de alta temperatura refrigerado a gás de 2.000 MW (t). A secção do tubo liga a parte inferior do caroço à cavidade do trocador de calor.

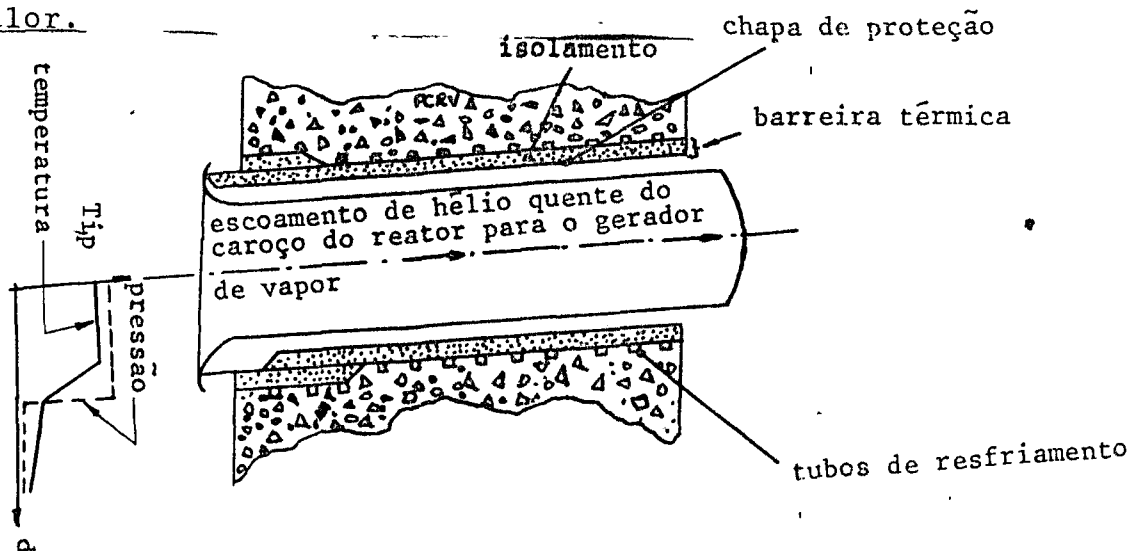


FIG. 1: Duto de alta temperatura de um reator de 2.000 MW refrigerado a gás

Três tipos de isolamento foram testados em laboratório até o presente instante para a utilização nas paredes do vaso de pressão do reator e nos dutos condutores de gás quente, são eles: o de folhas metálicas, de fibras de kaowool e o cerâmico feito de carbono.

Os resultados obtidos nos testes, mostraram que os isolamentos de folhas metálicas e de fibras apresentaram uma melhor eficiência térmica, enquanto que o cerâmico, que é de menor custo, apresentou uma série de deficiências durante os testes preliminares {3,4,5}.

Considerando o alto custo do isolamento de folhas metálicas e as deficiências apresentadas pelo isolamento cerâmico, a probabilidade de ser utilizado o isolamento de fibras no projeto dos HTGR é grande, pois para tubos de até 5 metros, sua utilização é economicamente viável.

Para o caso de dutos longos, o sistema de isolamento a ser utilizado está em fase de estudos de alternativas, sendo que o isolamento cerâmico, mesmo apresentando deficiências, está incluído nas alternativas em estudo.

Trabalhos anteriores

a) Trabalhos experimentais

O isolamento interno tipo fibras foi testado em Julich, na Alemanha Ocidental (KFA) {4} em cilindros horizontais e está sendo testado no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo (IPEN) em um cilindro na posição vertical {11}.

As secções de testes utilizadas foram construídas conforme a figura 2, na página seguinte, projetadas para minimizar, a convecção forçada e natural dentro do isolamento que deteriora o efeito isolante do gás.

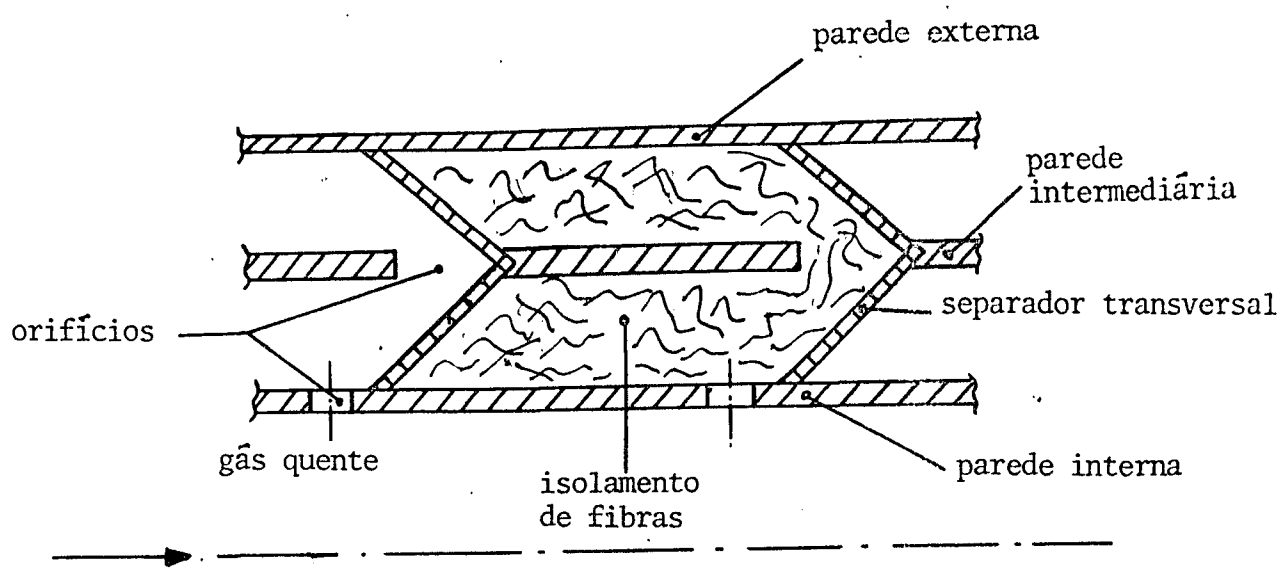


Fig. 2 : Isolamento térmico interno tipo fibras, entre duas paredes paralelas

O acesso do gás ao isolamento para equalizar a pressão é feito por pequenos orifícios circunferenciais no duto interno. A equalização da pressão é necessária para não sujeitar a parede interna, que fica em contato com o gás quente, à alta pressão. Por razões semelhantes, é permitida a passagem de gás entre a parede intermediária e o separador transversal em "V".

A função dos separadores transversais em "V" é de evitar a convecção forçada do gás entre planos de orifícios separados axialmente, devido ao gradiente de pressão axial no duto.

Existe, porém, ainda o problema da convecção natural devido a alta pressão do gás e a alta diferença de temperatura entre a face quente e a fria do isolamento, resultando em alta diferença de densidade, provocando a circulação natural do gás existente no isolamento.

As paredes intermediárias são introduzidas para confinar a convecção natural, aumentando a eficiência do isolamento.

Os testes realizados nos laboratórios da KFA, cobriram a faixa de pressão de 5 a 40 kgf/cm² e de temperatura do gás de 200 a 400°C, mantendo a parede fria à temperatura da ordem de 40°C.

Os resultados obtidos para os gases ensaiados (hélio e ar) mos-

tram que nas condições ensaiadas não houve convecção natural e nem forçada: a transferência de calor foi feita, principalmente, por condução através do gás e das fibras.

Porém, nas condições de operação com temperatura até 950°C, poderá haver convecção natural.

As experiências de Bikov {2} mostram um aumento significativo da condutividade térmica efetiva das fibras nas pressões altas devido a intensas correntes de convecção natural dentro do isolamento.

b) Modelos Numéricos

Foram desenvolvidos vários modelos numéricos {1, 6, 10, 12, 13 e 15} em que o isolamento fibroso é considerado como um meio poroso em que as equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia são formuladas e resolvidas pelo processo de diferenças finitas. Os modelos fornecem distribuições de velocidades e temperaturas dentro do isolamento e assim permitem o cálculo da condutividade térmica efetiva na estagnação (λ_{ef}).

$$\lambda_{ef} = \frac{Q \ln (d_e/d_i)}{2\pi \ell (T_e - T_i)} \quad (1)$$

onde: Q: calor transferido através do isolamento {W}

d_e : diâmetro externo do isolamento {m}

d_i : diâmetro interno do isolamento {m}

T_e : temperatura na face externa do isolamento {°C}

T_i : temperatura na face interna do isolamento {°C}

ℓ : comprimento do isolamento {m}

Os parâmetros de entrada do modelo são as propriedades do fluido dentro do isolamento como a densidade (ρ), viscosidade dinâmica (μ), condutividade térmica (λ) e calor específico a pressão constante (C_p), sendo que estas propriedades são obtidas de tabelas termodinâmicas. Também são parâmetros de entrada do modelo as propriedades das fibras como a permeabilidade (K) e a condutividade térmica das fibras (λ_f).

Entende-se por permeabilidade a facilidade oferecida por determinado meio poroso ao escoamento de um fluido imerso nesse meio.

A permeabilidade é função do tipo da fibra, isto é do diâmetro dos fios de fibra e da densidade de compactação da fibra.

Para meios homogêneos, a permeabilidade é definida pela lei de Darcy:

$$v = \frac{K}{\mu} \frac{\Delta P}{L} \quad (2)$$

onde: v : velocidade superficial de um gás em meio poroso {m/s}

ΔP : perda de carga no comprimento L {N/m²}

μ : viscosidade dinâmica {N x s/m²}

K : permeabilidade {m²}

L : comprimento em que existe a perda de carga {m}.

Observa-se que a permeabilidade representa o inverso da resistência das fibras ao escoamento.

Entende-se por condutividade térmica das fibras a condutividade térmica efetiva do isolamento em condições de vácuo perfeito dentro do isolamento.

Neste caso a transferência de calor é por condução através das fibras e nas altas temperaturas por radiação.

A condutividade térmica efetiva (λ_{ef}) das fibras foi correlacionada {15} utilizando os números de Nusselt (Nu) e de Rayleigh (Ra) definidos por:

$$Nu = \frac{\lambda_{ef}}{\lambda_g + \lambda_f} \quad (3)$$

onde: Nu : número de Nusselt

λ_{ef} : condutividade térmica efetiva {W/m⁰C}

λ_g : condutividade térmica do gás {W/m⁰C}

λ_f : condutividade térmica da fibra {W/m⁰C}

$$Ra = \frac{K \times \beta \times g (T_q - T_f) \times d}{\alpha \times \nu} \quad (4)$$

onde: Ra: número de Rayleigh

K: permeabilidade do meio $\{m^2\}$

d: espessura do meio poroso para geometria cilíndrica

$$d = r_e - r_i \quad \{m\}$$

T_q : temperatura da parede quente $\{^{\circ}K\}$

T_f : temperatura da parede fria $\{^{\circ}K\}$

g : aceleração da gravidade $\{m/s^2\}$

α : coeficiente de difusividade térmica $\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \quad \{m^2/s\}$

ν : viscosidade cinemática $\{m^2/s\}$

β : coeficiente térmico de expansão volumétrica a pressão constante.

$$\beta = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad \{^{\circ}K^{-1}\}$$

O parâmetro A que aparece na figura 3 para geometria cilíndrica é definido como:

1) Vaso de pressão na posição horizontal:

$$A = \frac{\pi(r_e + r_i)}{2(r_e - r_i)} \quad (5)$$

2) Vaso de pressão na posição vertical:

$$A = \frac{L}{r_e - r_i} \quad (6)$$

onde: A: parâmetro geométrico

r_e : raio externo do isolamento $\{m\}$

r_i : raio interno do isolamento $\{m\}$

L: comprimento do isolamento $\{m\}$

A figura 3 mostra uma correlação de Nu vs Ra/A para geometrias de cilindro horizontal e cilindro vertical.

O número de Nusselt foi obtido através de distribuição de velocidades e temperaturas calculado pelo modelo matemático proposto por Weltër [15].

Nota-se que para valores de Ra/A menores que 6, o número de Nusselt é praticamente 1, isto é, não há convecção natural.

Neste caso, a condutividade térmica efetiva das fibras (λ_{ef}), em ausência de radiação, é dada pela soma das condutividades térmicas do gás (λ_g) e das fibras (λ_f), isto é:

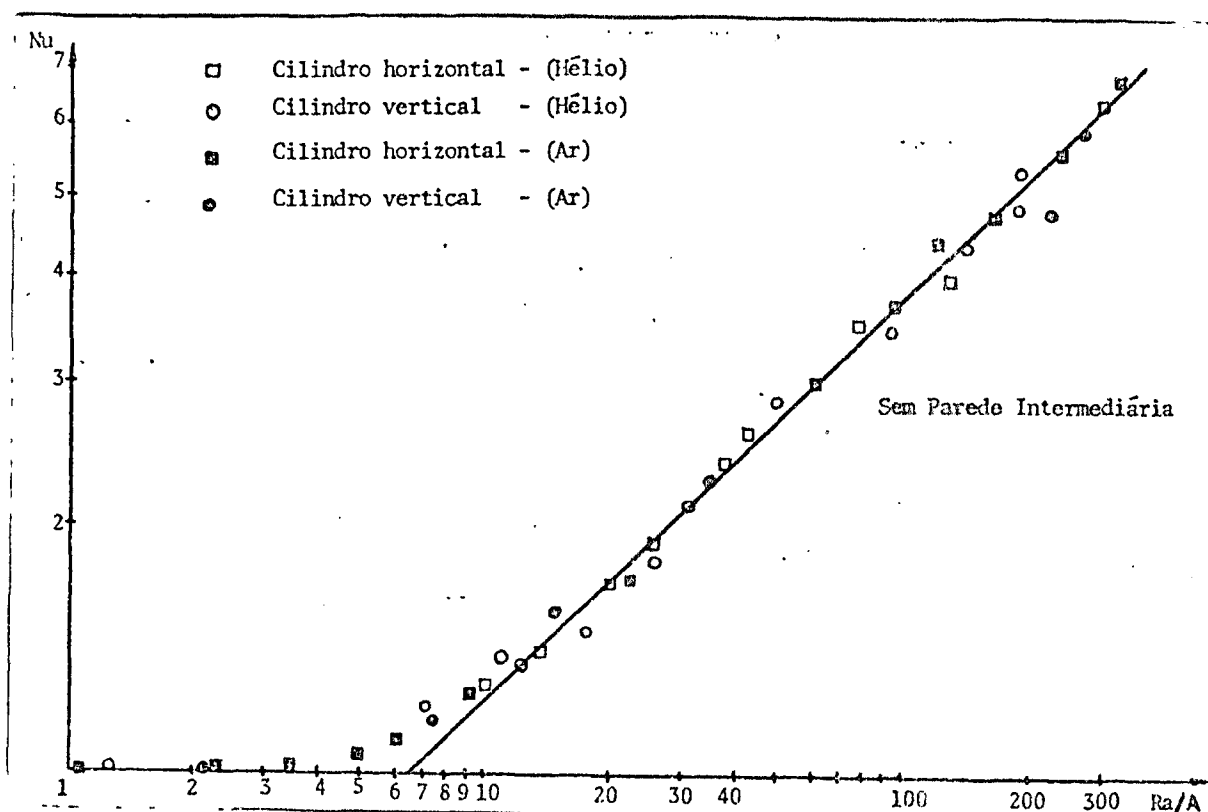


fig. 3: Correlação do número de Nusselt global para cilindro na posição horizontal e para a posição vertical sem paredes intermediárias.

$$\lambda_{ef} = \lambda_g + \lambda_f \tag{7}$$

Para valores de Ra/A maiores que 6 segundo a figura 3, o número de Nusselt é maior que 1 então haverá convecção natural.

Objetivos

Para utilizar os modelos numéricos ou as correlações de Nu vs Ra, então é necessário conhecer a permeabilidade e a condutividade térmica das fibras.

Medidas anteriores de permeabilidade feitas por Furber and Davidson {7} para vários tipos de fibras mostram que a permeabilidade é uma função do diâmetro da fibra, da densidade de compactação das fibras e da orientação das fibras e que não se pode obter uma correlação geral para qualquer tipo de fibra.

O primeiro objetivo deste trabalho é então medir a permeabilidade (K) do Kaowool (lã de caolim) para várias densidades de compactação (ρ_i), utilizando ar e hélio dentro do isolamento para várias pressões e se possível obter uma correlação entre a permeabilidade e a densidade de compactação do isolamento.

O segundo objetivo é obter a condutividade térmica das fibras (λ_f). Isto será conseguido através de medidas de condutividade térmica efetiva (λ_{ef}) do isolamento à pressão atmosférica para evitar a convecção natural.

II - MEDIDAS DE PERMEABILIDADE

A permeabilidade foi determinada através de medidas de perda de carga vs velocidade superficial numa secção de teste cilíndrico horizontal com escoamento axial de gás, utilizando-se a equação (2):

$$K = \frac{v \times \mu \times L}{\Delta P}$$

A figura 4 mostra o equipamento utilizado para medir permeabilidade.

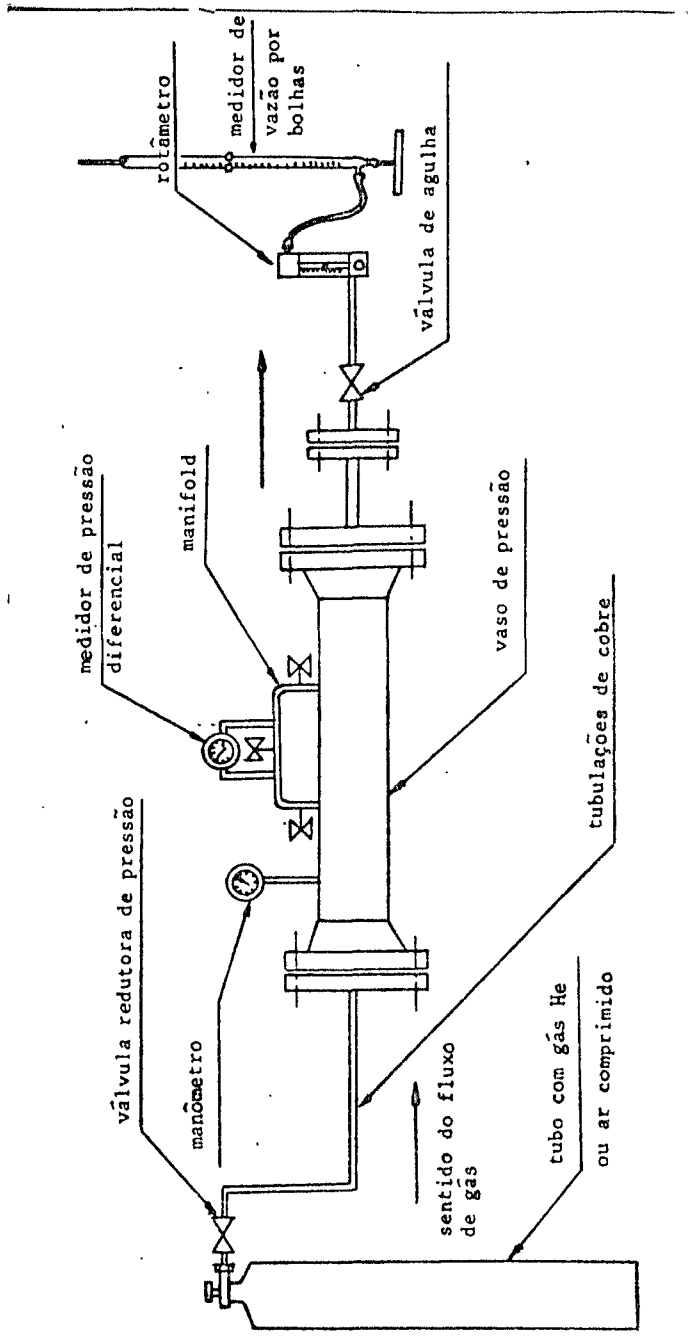


Fig. 4. esquema do equipamento para medir permeabilidade

A secção de teste é composta de um vaso de pressão de aço de comprimento 0,64m e diâmetro interno de 0,11m.

A perda de carga (ΔP) foi obtida usando-se um medidor de pressão diferencial entre dois pontos a uma distância de 0,21m um do outro. A pressão do gás foi medida com um manômetro de fundo de escala de 25 kgf/cm². Este manômetro foi calibrado com uma balança manométrica.

O medidor de pressão diferencial tem como princípio de funcionamento um diafragma que se encontra associado a uma haste. Esta haste vai se deslocar dentro de uma bobina. O diafragma sofrendo uma variação em sua superfície, irá deslocar a haste a qual penetrará mais ou menos na bobina variando conseqüentemente o campo magnético da mesma, e portanto alterando a sua corrente induzida.

A intensidade desta corrente foi medida em um amperímetro digital. A curva de calibração da intensidade de corrente (I) vs perda de carga (ΔP), fornecida pelo fabricante, foi utilizada para se determinar a perda de carga.

O erro nas medidas da perda de carga é estimado em 6%, 5% devido ao medidor de pressão diferencial e 1% na leitura do amperímetro.

Conseguiu-se a velocidade superficial do gás através de medidas de vazão feitas por intermédio de um rotâmetro e de um medidor de vazão por bolhas.

O rotâmetro calibrado de 0,01 a 0,10 m³/h foi utilizado para acertar a vazão nominal. A vazão real foi determinada pelo medidor de vazão ligado em série ao rotâmetro.

Esta vazão real foi medida cronometrando-se o tempo para uma bolha de sabão impulsionada pelo gás, percorrer um volume de 200 ml através de um tubo de vidro de diâmetro interno 0,02m e altura 0,5m. Os menores tempos para subida da bolha foram aproximadamente 10 segundos, o que dava uma velocidade suficiente para acionar e parar o cronômetro com boa precisão. Estima-se o erro máximo nas medidas de vazão em torno de 5%. Obteve-se valores mais precisos com vazões menores.

Os gases foram fornecidos de cilindros contendo ar e hélio comprimidos.

Os testes foram feitos com densidades de compactação de 100, 135, 210, 280 e 400 kg/m³ com pressões variando de 1, 2, 3, ...25 kgf/cm².

O processo de compactação consistiu em se partir em chumaços, o Kaowool que é fornecido em camadas e depois socar este material até se atingir a densidade desejada. Os detalhes do equipamento e os procedimentos experimentais, são apresentados no apêndice A.

Como indica a equação (2), quando a lei de Darcy é obedecida, a velocidade superficial (v) é uma função linear da perda de carga (ΔP).

Para cada pressão, foram feitas de 5 a 10 medidas de velocidade superficial e perda de carga, para verificar se as condições experimentais estão na faixa correlacionada pela lei de Darcy isto é, escoamento laminar através das fibras. Isso é feito por constatação visual dos gráficos de velocidade em função da perda de carga, sendo que quando a curva for linear, conclui-se que a lei de Darcy é obedecida. Neste caso a permeabilidade para uma dada pressão é determinada como sendo a média aritmética das permeabilidades obtidas com todos os dados experimentais de velocidade superficial em função da perda de carga nessa pressão.

A tabela 1 mostra os valores experimentais da vazão (V), velocidade superficial (v), perda de carga (ΔP) e da permeabilidade (K) para uma densidade de compactação de 400 kg/m³ e uma pressão de 1,0 kgf/cm², com ar dentro do isolamento. A figura 5 indica que a lei de Darcy é obedecida, isto é, a perda de carga varia linearmente com a velocidade superficial.

TABELA 1

vazão (m^3/s) $\times 10^{-6}$ (V)	velocidade (m/s) $\times 10^{-4}$ (v)	perda de carga (ΔP) (m.c.a.) $\times 10^{-3}$	permeabilidade (m^2) $\times 10^{-11}$
8,06	8,97	23,34	1,48
10,70	11,89	31,81	1,44
13,70	15,23	40,72	1,44
16,13	17,94	47,86	1,44
18,35	20,40	55,29	1,42
20,41	22,70	61,25	1,43
23,81	26,48	72,25	1,41
27,03	30,06	82,34	1,40

A permeabilidade média foi calculada tomando-se a média aritmética dos oito valores da Tabela 1.

Resultados

A figura 6 mostra a permeabilidade {K} em função da pressão {p} para várias densidades de compactação do isolamento $\{\rho_i\}$ utilizadas.

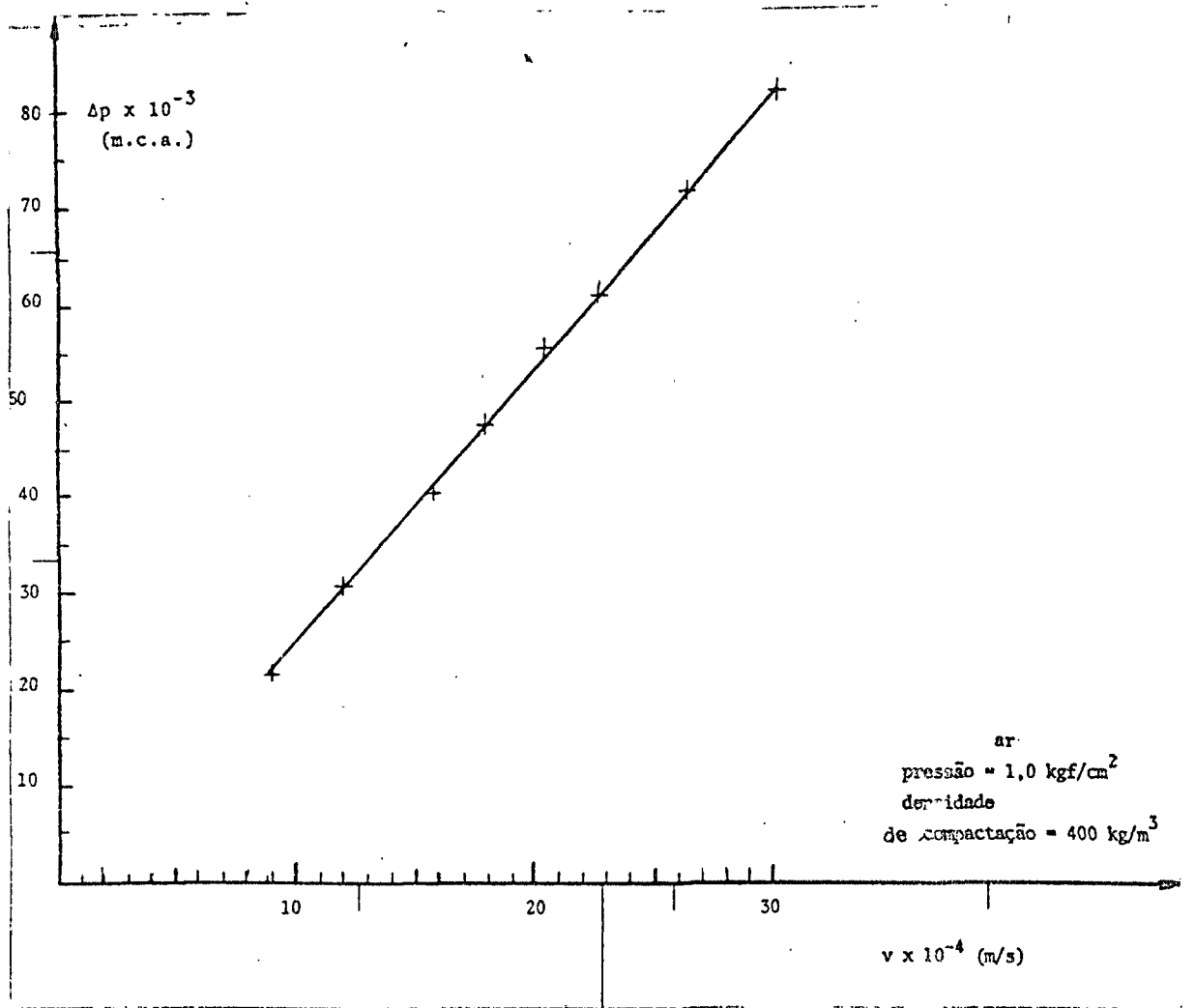
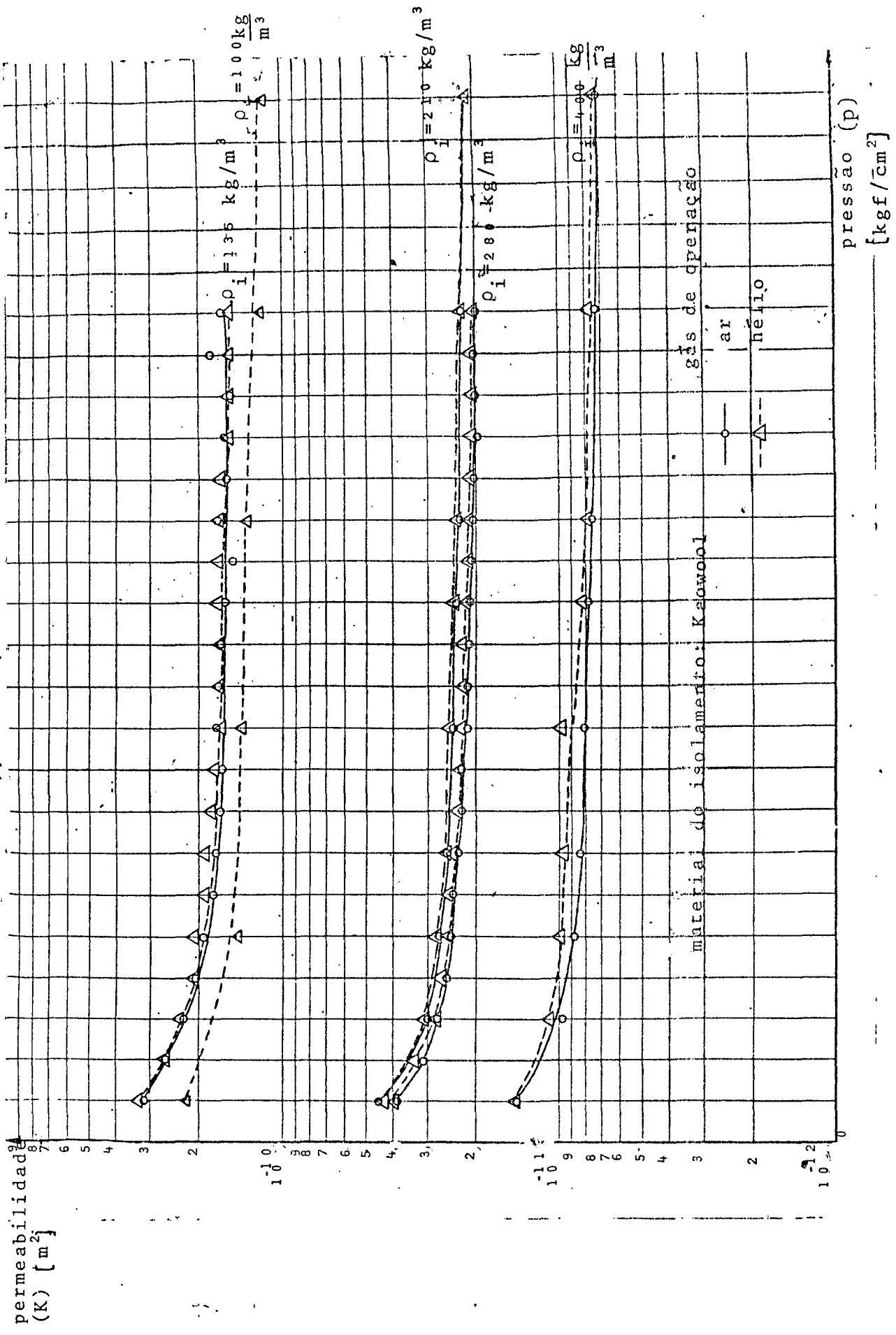


Figura 5 - Variação da perda de carga com a velocidade do ar dentro do isolamento.

Fig. 6: Gráfico da permeabilidade vs pressão



Observa-se que os valores da permeabilidade obtidos com ar e hélio praticamente se justapõe, o que é de se esperar, pois a permeabilidade é uma propriedade do meio poroso independente do fluido que escoar dentro do mesmo.

Um resultado inesperado é a variação da permeabilidade com a pressão. De 1,0 até aproximadamente 10,0 kgf/cm², a permeabilidade diminui com o aumento de pressão e de 10,0 até 25,0 kgf/cm² fica praticamente constante. Como foi dito antes, a permeabilidade é somente uma propriedade do meio poroso, logo ela não deveria variar com a pressão.

Uma hipótese seria o rearranjo estrutural das fibras nas altas pressões.

Os dados de Furber and Davidson {7} de permeabilidade das fibras cerâmicas e da areia também mostram uma variação similar da permeabilidade com a pressão.

Observa-se também que a permeabilidade aumenta, isto é, a resistência ao escoamento diminui quando diminui a densidade de compactação do isolamento. A figura 7 mostra a permeabilidade vs densidade de compactação na faixa de 10 a 25 kgf/cm² em que a permeabilidade não varia mais com a pressão.

Correlação dos resultados (Modelo Capilar)

Os dados de permeabilidade na faixa de pressões onde ela é constante, isto é de 10 a 25 kgf/cm², foram correlacionados com a densidade de compactação da seguinte maneira:

Conforme Furber & Davidson {7}, admitimos que as fibras formam canais paralelos para o escoamento do gás com o diâmetro equivalente (D_h), sendo dado por:

$$D_h = \frac{\xi \delta}{1-\xi} \quad (8)$$

A perda de carga (ΔP) nesses canais é dada por:

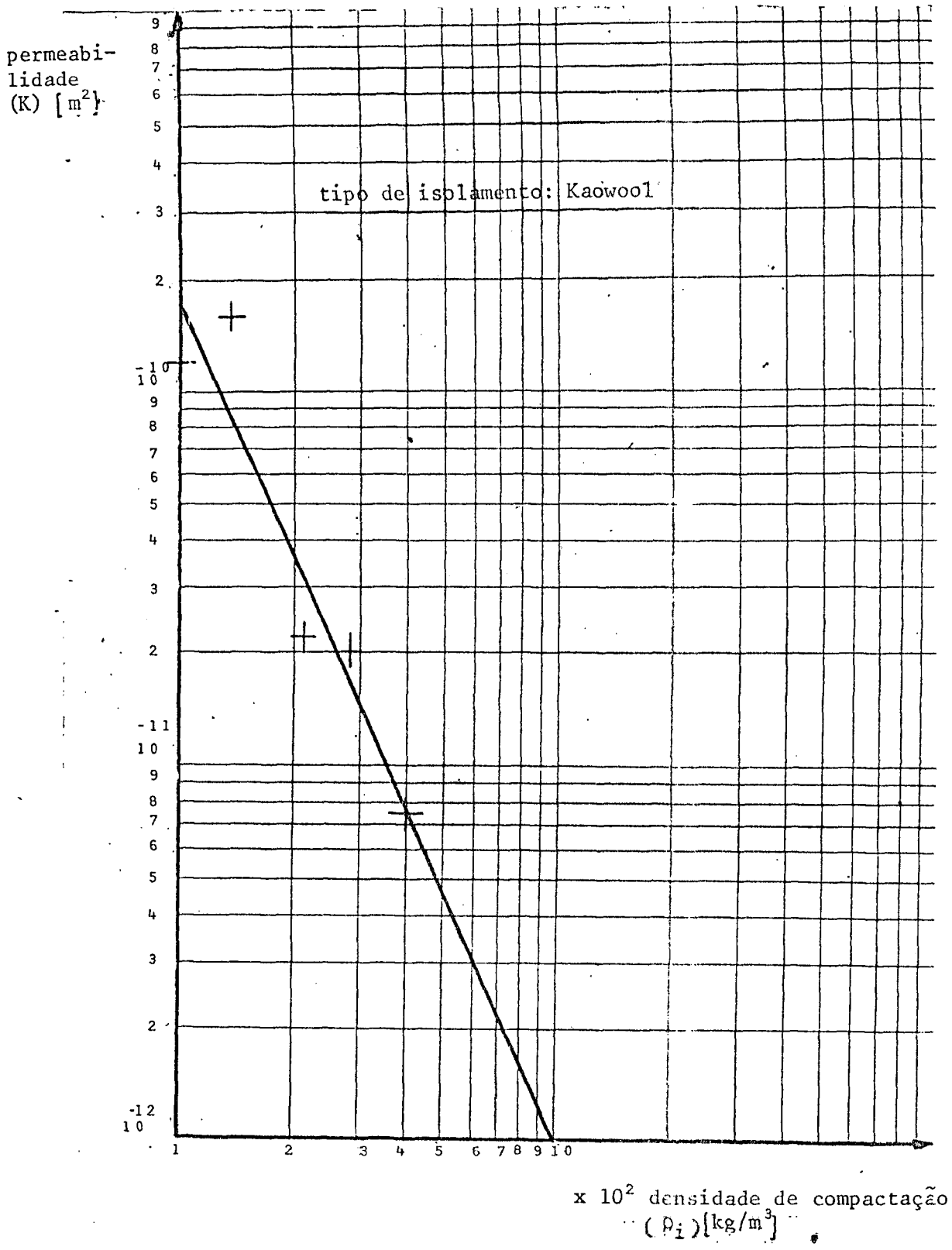


Figura 7 - Variação da permeabilidade {K} vs densidade de compactação {ρ₁}

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{4f\rho u^2}{2D_h} \quad (9)$$

A velocidade intersticial (u) é relacionada com a velocidade superficial de um gás em um meio poroso (v) por:

$$u = \frac{v}{\xi} \quad (10)$$

E o fator de atrito (f) no regime laminar é dado por:

$$f = \frac{A^*}{Re} \quad (11)$$

Para escoamento em tubos, $A^* = 16$

Re é o número de Reynolds definido por:

$$Re = \frac{\rho u D_h}{\mu} \quad (12)$$

Combinando-se a equação (2) com a definição do número de Reynolds e utilizando a equação (13).

$$\frac{\rho_f}{\rho_i} = \frac{1}{1-\xi} \quad (13)$$

obtem-se:

$$K = \frac{(\rho_f - \rho_i)^3 \delta^2}{2A^* \rho_f} \quad (14)$$

A figura 8 mostra $\frac{\rho_f K}{(\rho_f - \rho_i)^3}$ vs ρ_i .

Admitindo-se $\rho_i = 2500 \text{ kg/m}^3$, foi obtida uma linha reta pelo método dos mínimos quadrados dado por:

$$\frac{\rho_f K}{(\rho_f - \rho_i)^3} = 3,27 \times 10^{-13} \rho_i^{-2,0098} \quad (15)$$

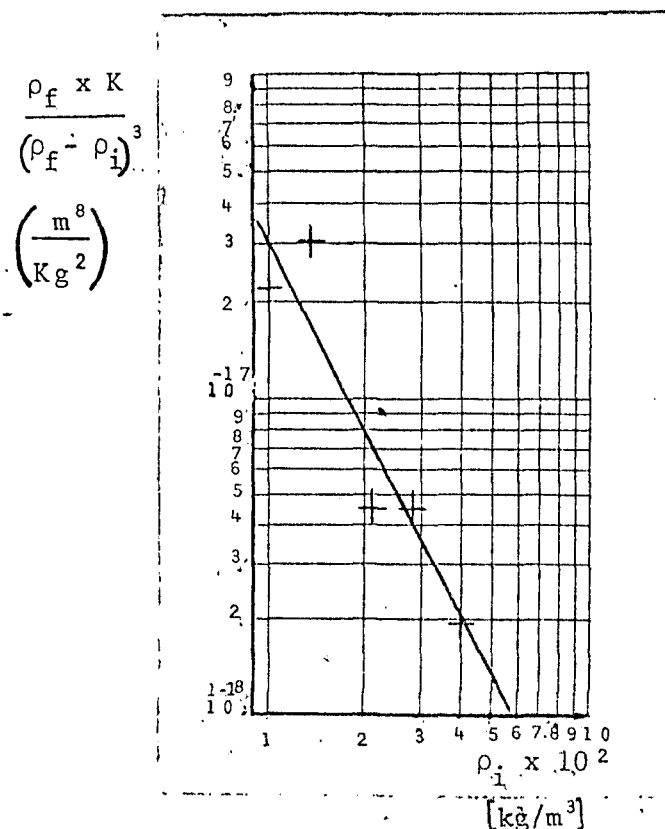


Figura 8: Correlação da permeabilidade com a densidade de compactação.

Observa-se que o expoente de ρ_i está próximo do valor teórico 2,0, indicando que o modelo simples de fibras utilizado é satisfatório para se correlacionar a permeabilidade.

Admitindo-se $A^* = 16$, calculou-se $\delta = 2,8 \times 10^{-6}$ m próximo do valor da literatura dado: $\delta = 2,0 \times 10^{-6}$ m.

Admitindo-se $\delta = 2,0 \times 10^{-6}$ m, obteve-se $A^* = 8$.

A correlação obtida então, permite a avaliação da permeabilidade do Kaowool na faixa de 15,0 a 25,0 kgf/cm² ou de 15,0 em diante presumindo-se que de 25,0 em diante a permeabilidade permaneça constante para vários valores da densidade de compactação do isolamento,

III - MEDIDAS DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica do Kaowool foi obtida para uma densidade de compactação de 280 kg/m^3 . Os gases usados neste tipo de experiência, foram o ar e o hélio a $1,0 \text{ kgf/cm}^2$.

O método utilizado consiste de medidas de diferenças de temperaturas e fluxos de calor radiais numa secção de teste cilíndrica.

Equipamento e procedimento experimental

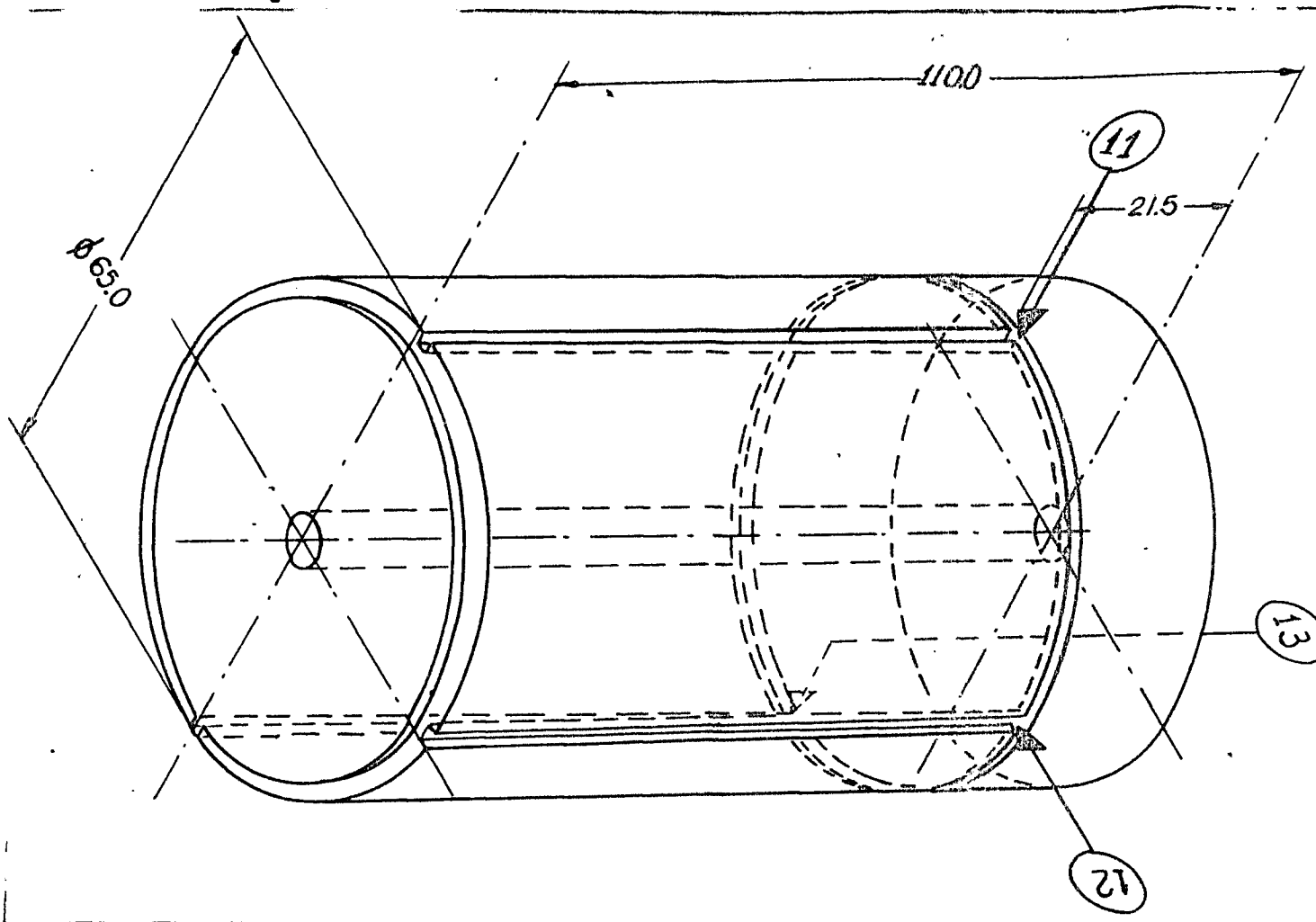
Usou-se o mesmo vaso de pressão, que foi utilizado nos testes de permeabilidade, de comprimento $0,64\text{m}$ e diâmetro interno $0,11\text{m}$. Um aquecedor central de $0,21\text{m}$ e dois aquecedores protetores laterais de $0,11\text{m}$, tendo todos os três $0,008\text{m}$ de diâmetro, foram colocados dentro de três cilindros de latão, dois com $0,11\text{m}$ cada e um com $0,21\text{m}$ de comprimento e com $0,065\text{m}$ de diâmetro, sendo fixados concentricamente ao vaso de pressão.

Entre os aquecedores protetores e o aquecedor central, existem dois anéis de teflon para evitar a transferência de calor entre eles.

Os termopares estão distribuídos em secções transversais ao vaso de pressão. Na secção central do aquecedor principal, estão fixados quatro termopares na superfície do cilindro de latão e quatro na face externa do vaso de pressão, separados entre si de 90° e são utilizados para os cálculos da condutividade térmica efetiva da fibra.

Existem mais quatro secções transversais com três termopares em cada uma fixados na superfície do cilindro de latão, separados de 90° entre si, localizados nas bordas dos aquecedores e são utilizados para medir os gradientes de temperatura entre eles. As figuras 9, 10 e 11 mostram o posicionamento dos termopares nos aquecedores protetores e no aquecedor central.

Fig.: 9 : Posicionamento dos termopares no aquecedor protetor lateral esquerdo (Q1).

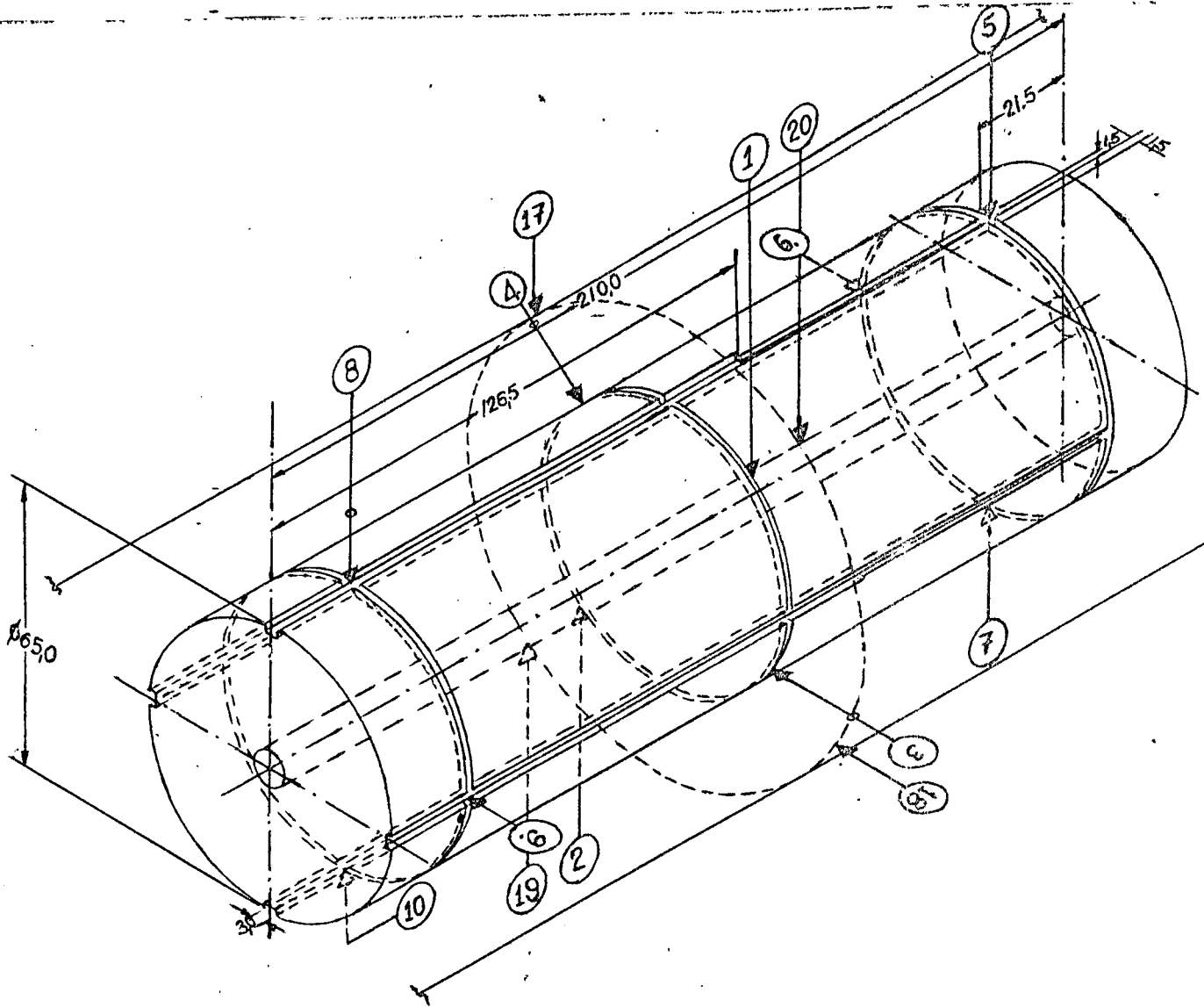


OBS.: Os números com a flecha em sua extremidade indicam o posicionamento da cabeça do termopar.

Dimensões dos 3 termopares: diâmetro: 1,6mm
 comprimento: 7000mm
 tipo: AV-NCB-1,6-7000

Material de cobertura: Inconel
 Material dos termopares: Ni-Cr-Ni
 Material do aquecedor: latão
 Escala: 1:1

Fig. 10: Posicionamento dos termopares no aquecedor Central (Q2).



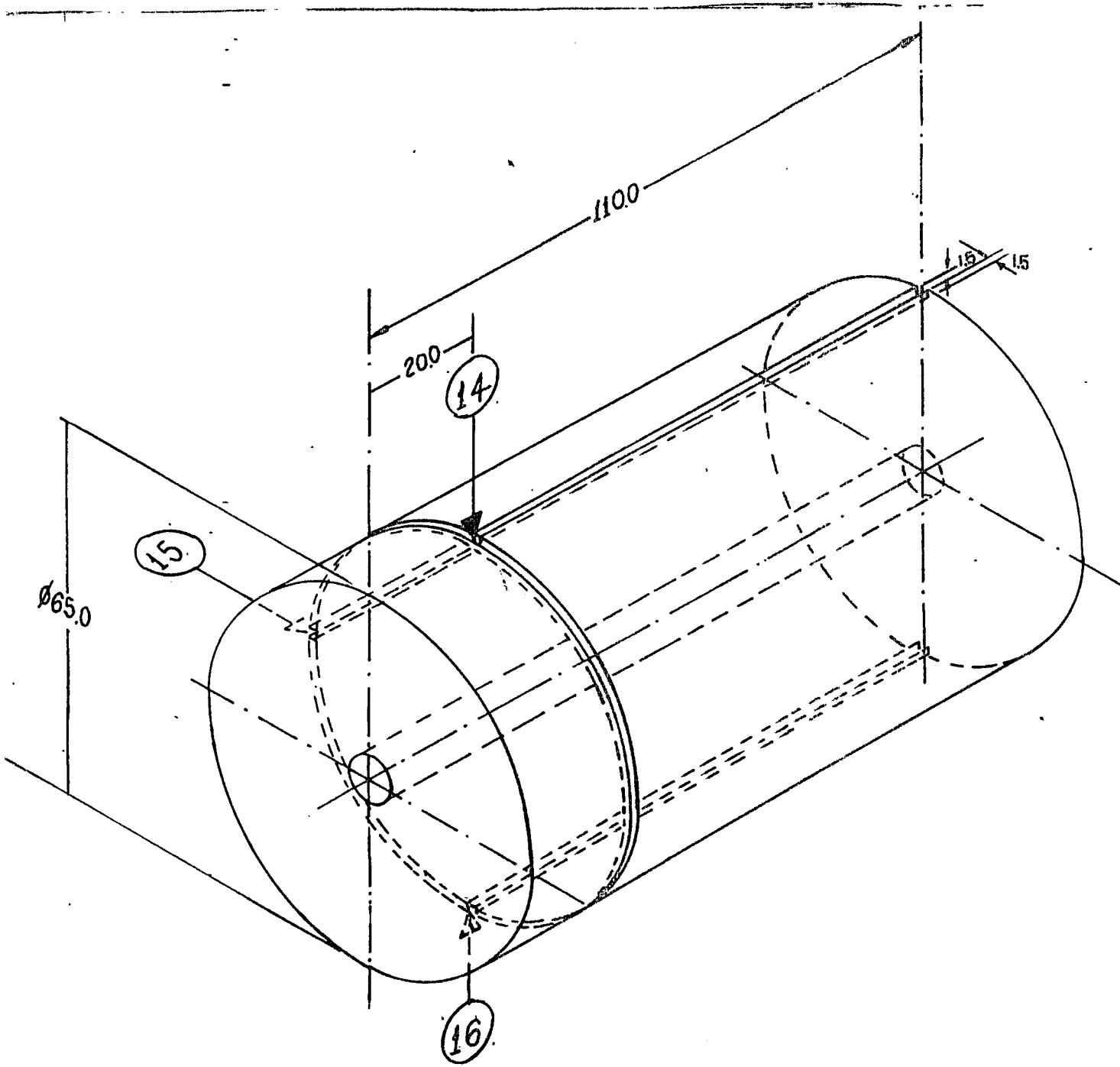
OBS.: Vale a mesma consideração feita para o aquecedor protetor lateral esquerdo.

Material dos termopares: Ni-Cr-Ni

Material do aquecedor : latão

.....

Fig. 11: Posicionamento dos termopares no aquecedor protetor lateral direito (Q3)



OBS.: Vale a mesma consideração feita para o aquecedor protetor lateral esquerdo.

Material do termopares: Ni-Cr-Ni

Material do aquecedor: latão

Escala: 1:1

Os termopares estão acoplados aos respectivos amplificadores diferenciais (com circuito integrado ANALOG DEVICE 605-K), cujos sinais de saída entram no conversor analógico-digital (ADF - DEC), acoplado a um computador PDP-11/45 (DEC) que utiliza programas em FORTRÂN IV para cálculo e impressão do histórico das temperaturas.

O PDP 11/45 faz aproximadamente 160.000 leituras sequenciais de temperatura por minuto, sendo portanto o conjunto dos 20 termopares lido 8.000 vezes por minuto.

O programa do computador permite a impressão automática de temperaturas em intervalos desejados. Foram usados normalmente intervalos de 15 minutos entre impressões consecutivas.

Cada impressão contém os últimos valores instantâneos e a média (por exemplo durante os 15 minutos) de todas as 20 temperaturas. A comparação das temperaturas instantâneas e médias durante o estado estacionário, permite avaliar as oscilações das temperaturas devido aos ruídos externos que causam interferência nos circuitos e corrigir eventuais defeitos do equipamento.

As diferenças entre valores instantâneos e médios das temperaturas, foram menores que 1°C . Quando as temperaturas médias para intervalos sucessivos de impressões começam a variar menos que 6°C , adota-se por critério que o estado estacionário foi atingido. Neste caso somente alguns termopares tiveram diferenças até 6°C mas a maioria variou dentro de uma faixa de 2 a 3°C .

Encontrou-se dificuldades em alcançar as condições de estado estacionário devido à ausência de um estabilizador de tensão que provocou variações de potência nos aquecedores.

O controle de potência dos 3 aquecedores é feito independentemente através de 3 variacs respectivos, conectados à rede elétrica de corrente alternada de 220V, de modo que ao atingirem o estado estacionário não existam diferenças de temperaturas maiores que 6°C entre os aquecedores. Para minimizar as diferenças de temperaturas entre as extremidades do cilindro de latão, central com os cilindros protetores laterais, é importante a minimização de fluxos de calor axiais, pois para calcular a condutividade térmica efetiva, admite-se que a potência gerada no aquecedor central é totalmente dissipada no sentido radial.

Os detalhes do equipamento e os procedimentos experimentais, estão apresentados no apêndice B.

Resultados

A tabela 2 mostra as 20 temperaturas médias em um intervalo de 15 minutos obtidas durante o regime de estado estacionário. Foi usado ar à pressão atmosférica. A temperatura ambiente foi de 33°C e a potência do aquecedor central de 45.6 W.

TABELA 2 (TEMPERATURAS EM °C)

T(1) = 336,5	T(2) = 336,9	T(3) = 336,7	T(4) = 335,9
T(5) = 336,1	T(6) = 336,5	T(7) = 364,9	T(8) = 334,3
T(9) = 334,2	T(10) = 334,8	T(11) = 336,1	T(12) = 337,6
T(13) = 335,6	T(14) = 338,8	T(15) = 336,8	T(16) = 326,8
T(17) = 88,7	T(18) = 93,4	T(19) = 94,4	T(20) = 90,2

Ao se examinar as temperaturas T(1), T(2), T(3) e T(4), nota-se que as variações angulares na secção central do aquecedor principal na superfície do cilindro de latão, não diferem mais do que 0,4°C. Isto mostra que não houve convecção natural. Em caso contrário, se houver convecção, então a distribuição angular das temperaturas não é uniforme segundo Welter {15}.

As temperaturas na secção central do aquecedor principal, na superfície externa do vaso de pressão T(17), T(18), T(19) e T(20) também podem ser consideradas uniforme dentro da precisão das medidas de temperaturas.

O cálculo de Ra/A confirma que não houve convecção natural.

Calculou-se um Ra/A de $1,55 \times 10^{-4}$ que é bem menor que 5. Logo não existe problema de convecção.

O exame de pares de temperaturas nas extremidades dos aquecedores {T(8) e T(11); T(9) e T(12); T(10) e T(13); T(5) e T(14); T(6) e T(15); T(7) e T(16)} indicam que as diferenças de temperaturas entre o aquecedor central e os aquecedores protetores estão dentro da diferença máxima estabelecida de 6°C. O único par que não obedeceu ao critério foi T(7) e T(16) devido aos amplifica-

dores desses canais estarem com seu ganho alterado, causado por interferência de fonte externa. Essa diferença máxima de 6°C foi a menor conseguida com o equipamento e sistema de medição de temperaturas disponíveis. Seria desejável manter essas diferenças menores, mas estima-se que os separadores de teflon entre cilindros de latão impeçam os fluxos de calor axiais prejudiciais à boa precisão dos resultados.

A condutividade térmica efetiva é calculada através da equação (1).

$$\lambda_{ef} = \frac{Q \ln (d_e/d_i)}{2\pi L(T_i - T_e)}$$

O cálculo da condutividade térmica efetiva é feito 4 vezes utilizando a diferença de temperaturas $T_i - T_e$ para os pares T(1) e T(20), T(2) e T(19), T(3) e T(18), T(4) e T(17), que estão na secção central do aquecedor central. As temperaturas T(1), T(2), T(3) e T(4) são tomadas na superfície do cilindro de latão e T(20), T(19), T(18) e T(17) são tomadas na superfície externa do vaso de pressão. As temperaturas na superfície externa do vaso de pressão, são tomadas como se fosse as temperaturas na superfície externa da camada de isolamento, pois a queda de temperatura através da parede do vaso de pressão com uma espessura de 3 milímetros é desprezível. A queda de temperatura foi calculada como sendo de 0,03°C para uma potência de 50 W.

Utilizando-se as temperaturas da tabela 2, obtém-se os seguintes valores da condutividade térmica efetiva em (W/m°C).

$$\begin{array}{ll} \lambda_{ef} (1) = 0,06983 & \lambda_{ef} (2) = 0,07094 \\ \lambda_{ef} (3) = 0,07074 & \lambda_{ef} (4) = 0,06972 \end{array}$$

A condutividade térmica efetiva média é calculada como a média aritmética dos quatro valores acima, dando $\lambda_{ef} = 0,07031$.

O apêndice C contém todos os dados experimentais de medidas de condutividade térmica efetiva. Os resultados são resumidos na tabela 3 e na figura 12.

gás	T °C ou °K	ΔT	erro máxi- mo tempe- ratura	p ($\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)	$\lambda_{\text{gás}}$ ($\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$)	λ_{ef} ($\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$)	λ_{fibra} ($\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$)	$\frac{Ra}{A}$
ar	131,4 °C 404,4 °K	178,1	5,67	1,0	0,03392	0,05406	0,02014	$2,84 \times 10^{-4}$
ar	90,8 °C 363,8 °K	112,7	1,62	1,0	0,03103	0,04996	0,01893	$1,79 \times 10^{-2}$
ar	146,2 °C 419,2 °K	202,0	4,75	1,0	0,03499	0,05608	0,02109	$1,68 \times 10^{-2}$
ar	139,7 °C 412,7 °K	191,8	1,83	1,0	0,03454	0,05960	0,02506	0,256
ar	144,8 °C 417,8 °K	197,4	5,66	1,0	0,03487	0,05758	0,02271	$2,86 \times 10^{-4}$
ar	164,6 °C 437,6 °K	234,7	3,35	1,0	0,03622	0,05785	0,02163	$2,98 \times 10^{-4}$
ar	123,2 °C 396,2 °K	127,2	4,09	1,0	0,03338	0,05797	0,02459	$1,25 \times 10^{-4}$
ar	214,1 °C 487,1 °K	244,8	3,54	1,0	0,03948	0,07031	0,03082	$1,55 \times 10^{-4}$
hélio	98,0 °C 371,0 °K	54,5	3,62	1,0	0,1782	0,22345	0,04525	$1,61 \times 10^{-6}$
hélio	66,6 °C 339,6 °K	28,9	3,93	1,0	0,16714	0,18563	0,01849	$1,42 \times 10^{-6}$

TABELA 3 - Comparação de vários parâmetros, variação de temperatura, pressão, condutividade térmica e nº de Rayleigh.

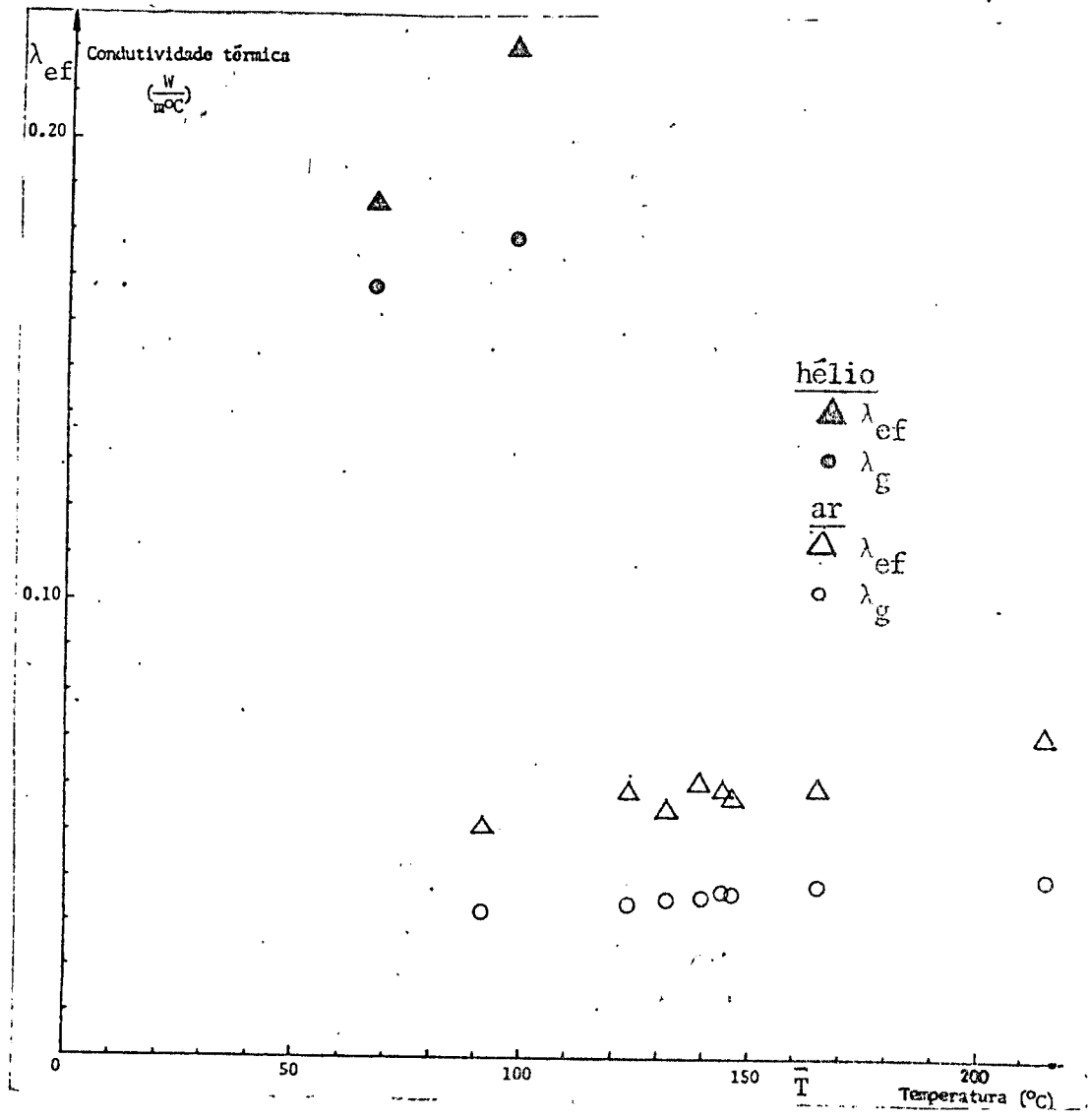


Figura 12 - Condutividade térmica efetiva da fibra (λ_{ef}) vs a temperatura média do isolamento (\bar{T}).

Na tabela 3, \bar{T} é a temperatura média do isolamento. Ela é obtida por:

$$\bar{T} = \frac{T(1) + T(2) + T(3) + T(4) + T(20) + T(19) + T(18) + T(17)}{8}$$

ΔT é a diferença média de temperaturas entre a face quente e a face fria do isolamento, definido por:

$$\Delta T = \frac{T(1) + T(2) + T(3) + T(4) - T(20) - T(19) - T(18) - T(17)}{4}$$

O erro máximo de temperatura diz respeito à diferença máxima de temperaturas entre as extremidades dos aquecedores.

λ_g é a condutividade térmica do gás.

λ_{ef} é a condutividade térmica efetiva do isolamento.

λ_f é a condutividade térmica efetiva das fibras.

Ela é obtida a partir da equação 7 anteriormente definida como:

$$\lambda_f = \lambda_{ef} - \lambda_g$$

O número de Rayleigh (Ra) e a constante geométrica (A) foram definidos anteriormente. As propriedades do gás que aparecem na definição do número de Rayleigh foram calculados a partir da temperatura média do isolamento (\bar{T}).

Nota-se que Ra/A é sempre menor que 6, então não houve convecção natural e a equação (7) que foi usada para calcular a condutividade térmica efetiva das fibras (λ_f) é válida.

Os valores da condutividade térmica efetiva das fibras (λ_f) são muito pequenos apesar da alta densidade de compactação do isolamento (ρ_i), até menores que a condutividade térmica do ar.

As últimas duas linhas da tabela 3 indicam que o isolamento em um ambiente de hélio, o gás é o condutor principal de calor, sendo que a contribuição das fibras é mínima.

Podia se esperar que com a alta densidade de compactação do isolamento (ρ_i), o contato entre fibras aumenta e melhora bastante a condutividade das fibras. Os dados indicam que para as densidades de compactação de isolamento $\rho_i = 280 \text{ kg/m}^3$ este caso

não ocorreu. Voltando-se aos resultados da permeabilidade, observa-se que a permeabilidade para a densidade de compactação das fibras $\rho_i = 280 \text{ kg/m}^3$ é 7 vezes menor que a permeabilidade para a densidade de compactação de $\rho_i = 135 \text{ kg/m}^3$. Portanto seria interessante utilizar-se uma alta densidade de compactação das fibras, pois isso aumenta a resistência das fibras à passagem do gás pela sua estrutura, diminuindo assim a possibilidade de convecção natural, sem resultar em altos valores de condutividade térmica efetiva da fibra.

A figura 12 mostra a condutividade térmica efetiva da fibra (λ_g) e a condutividade térmica do gás (hélio ou ar) (λ_g) vs a temperatura média do isolamento (\bar{T}).

Apesar da dispersão dos dados, nota-se que a condutividade térmica da fibra aumenta com a temperatura. Como foi citado antes, a dispersão dos dados é devido às dificuldades encontradas em se atingir um estado estacionário na ausência de um estabilizador de tensão.

IV - CONCLUSÕES

Foi obtido experimentalmente a permeabilidade do Kaowool em uma faixa de 1 a 25 kgf/cm² usando hélio e ar.

Foram utilizadas densidades de compactação para o isolamento de 100, 135, 210, 280 e 400 kgf/cm³.

Observou-se que a permeabilidade decresce de 1 a aproximadamente 15 kgf/cm² e permanece constante entre 15 e 25 kgf/cm².

Não se conseguiu ainda explicar a razão para a variação da permeabilidade em função da pressão na faixa inicial de 1 a 15 kgf/cm². Para se avaliar a permeabilidade para qualquer densidade de compactação, a permeabilidade foi correlacionada com a densidade de compactação utilizando um modelo simplificado do escoamento em fibras.

Nota-se que a permeabilidade é quase que inversamente proporcional à densidade de compactação das fibras.

Da mesma forma foi obtido experimentalmente o valor da condutividade térmica efetiva do Kaowool na pressão de 1 kgf/cm² com uma densidade de compactação de 280 kg/m³, usando-se ar dentro do isolamento e a faixa de temperaturas médias do isolamento variou de 65°C a 215°C. Utilizou-se o vaso de pressão na posição horizontal.

Nestas faixas de temperatura e pressão não foi observada a convecção natural, uma vez que Ra/A sempre foi menor que 6, o que permitiu o cálculo da condutividade térmica da fibra.

A permeabilidade e a condutividade térmica efetiva da fibra podem ser utilizadas nos modelos numéricos de convecção natural em isolamento térmico de fibras para obter a distribuição de temperaturas e velocidades nos mesmos ou nas correlações Nu em função de Ra/A para se ter uma avaliação rápida do isolamento.

Trabalhos futuros

Serão repetidas as medidas de permeabilidade com os aquecedores instalados dentro do vaso de pressão mas sem que as suas resistências sejam ligadas e dissipem energia, comparando com a permeabilidade obtida neste trabalho.

Nas medidas de condutividade térmica efetiva, serão usadas densidades menores de compactação para que se tenha permeabilidades maiores, bem como utilizando-se temperaturas e pressões maiores. Sendo que estes fatores acarretarão relações Ra/A maiores, logo que se obtenha convecção natural testando-se a validade da curva numericamente obtida segundo a curva da figura 3 na região em que ocorre convecção natural.

APÊNDICE "A"

DETALHES DO EQUIPAMENTO E PROCEDIMENTO EXPERI-
MENTAL DAS MEDIDAS DE PERMEABILIDADE..

O equipamento consiste de:

- 1 tubo de ar comprimido com 140 kgf/cm^2 ;
- 1 tubo de hélio com 140 kgf/cm^2 ;
- 1 tubo de nitrogênio super sêco com 130 kgf/cm^2 ;
- 1 medidor de pressão diferencial de marca Fisher Controls Co. com uma faixa de leitura para a perda de carga de 0 a 30" e resistindo a uma pressão estática de 2000 psi; figura 13.

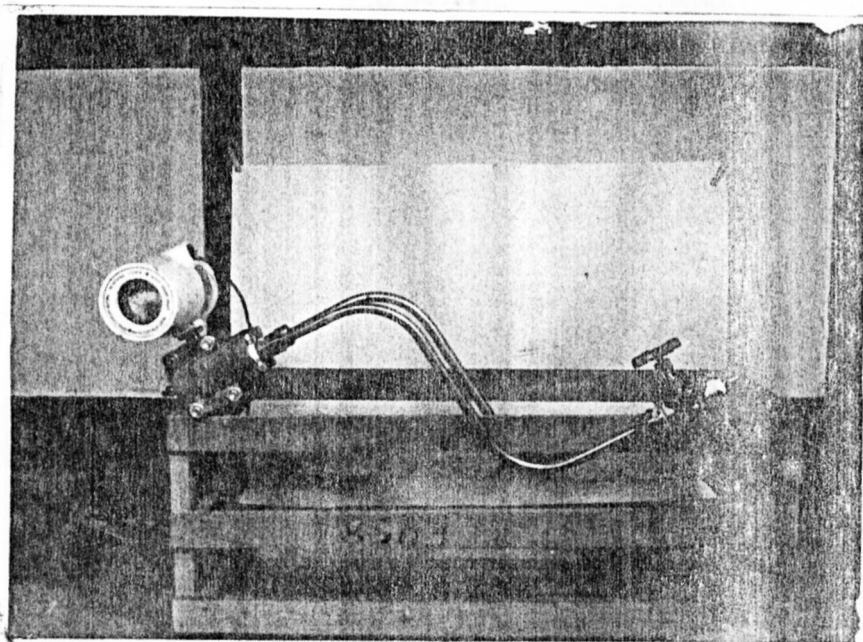


Fig.13: Medidor de Pressão Diferencial com as
Duas Linhas de Tomada de Pressão e Válvula Manifold

- 1 rotâmetro de marca Omel tipo RO "SG" com uma escala de 0.01 a $0.10 \text{ m}^3/\text{h}$, variando de $0.01 \text{ m}^3/\text{h}$ suportando uma pressão de 150 psi (10 kgf/cm^2) e temperatura máxima de serviço de 100°C ; figura 14.

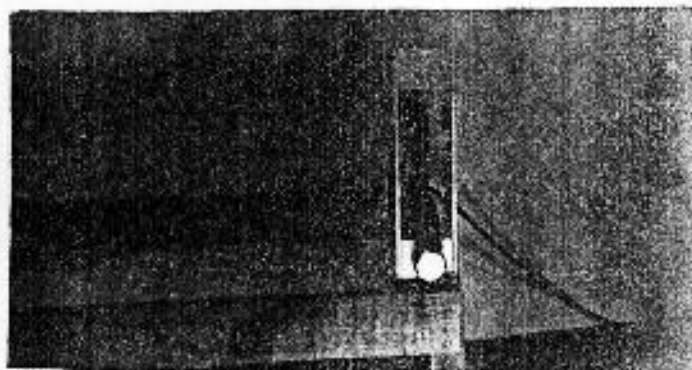


Fig.14: Rotâmetro para Ar.

- 1 válvula agulha na saída do vaso de pressão;
- 1 vaso de pressão com capacidade de 40kgf/cm^2 e temperatura de 200°C .

Conforme figura 15

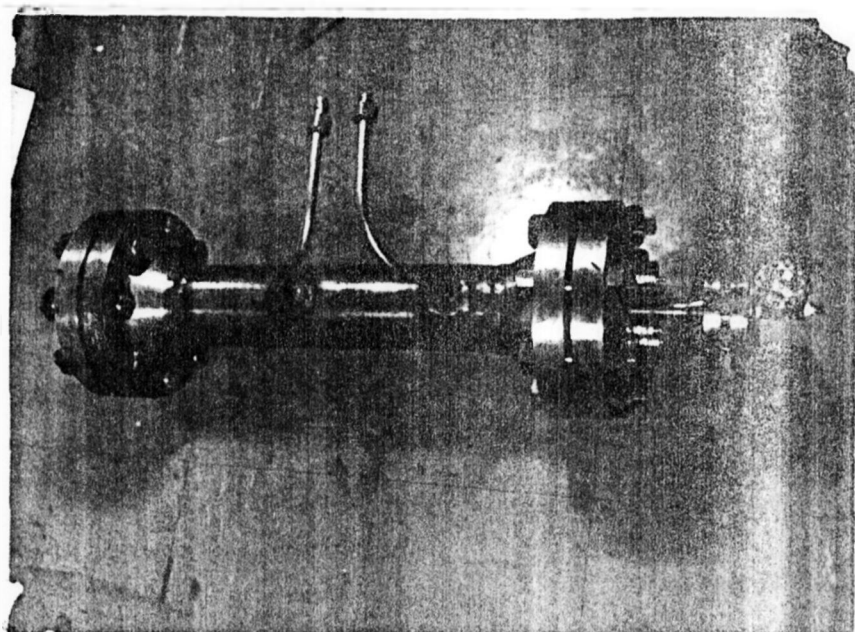


Fig. 15: Vaso de Pressão

- 1 tubulação de cobre com diâmetro de 1/4" ligando tubo de gás à válvula redutora;
 - 1 tubulação de cobre com diâmetro de 1/4" ligando a válvula redutora com a entrada do vaso de pressão;
 - 1 tubulação de cobre com diâmetro de 1/4" ligando a válvula agulha com o rotâmetro;
 - 1 válvula redutora de pressão com dois manômetros de escala com manômetro de alta pressão 300 bar, manômetro de baixa pressão 80 bar.
 - 1 manômetro com fundo de escala de 25 kgf/cm².
- Conforme figura 16.

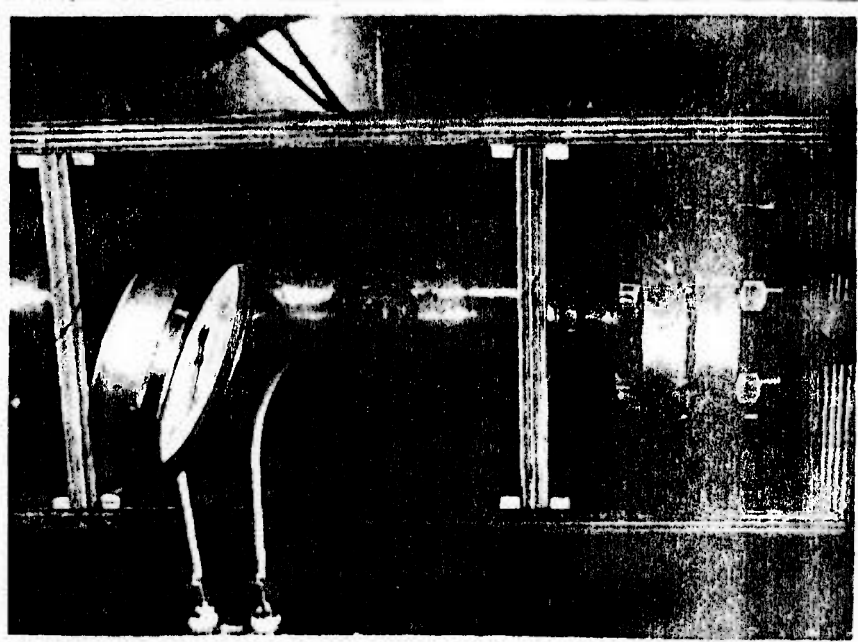


Fig. 16: Posicionamento do manômetro de 25 kgf/cm² Sobre o Vaso de Pressão

- 1 válvula manifold.

Conforme figura 17.

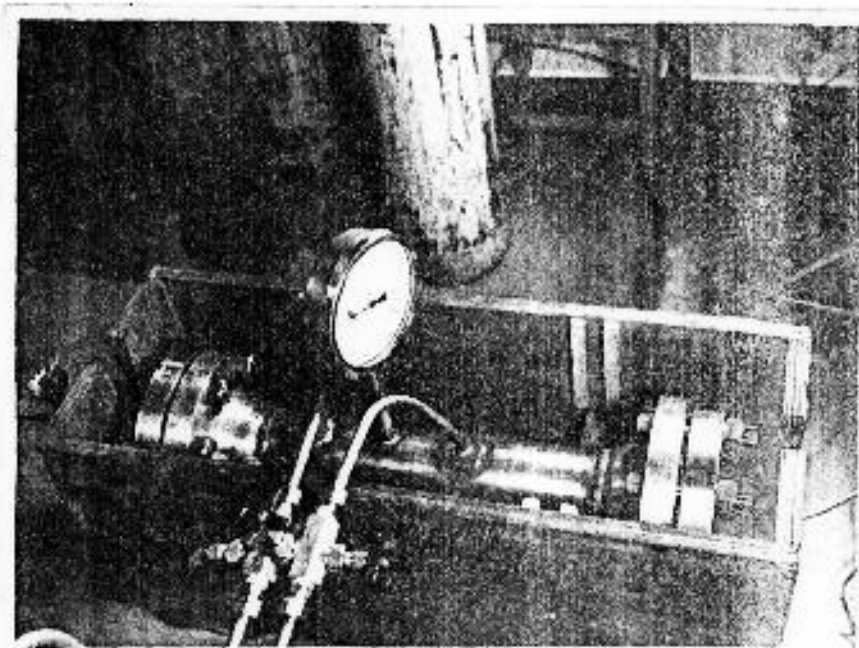


Fig.: 17: Posicionamento da válvula Manifold e do monômetro de 25 kgf/cm² com relação ao vaso de pressão.

- 1 multímetro digital marca Hewlet Packard;
- 2 socadores de fibra;
- 1 proveta graduada de 10 em 10ml com capacidade total de 200 ml.
- 1 cronômetro;
- 1 tubo elástico de borracha de 40 cm de comprimento conectando a proveta com o rotâmetro.

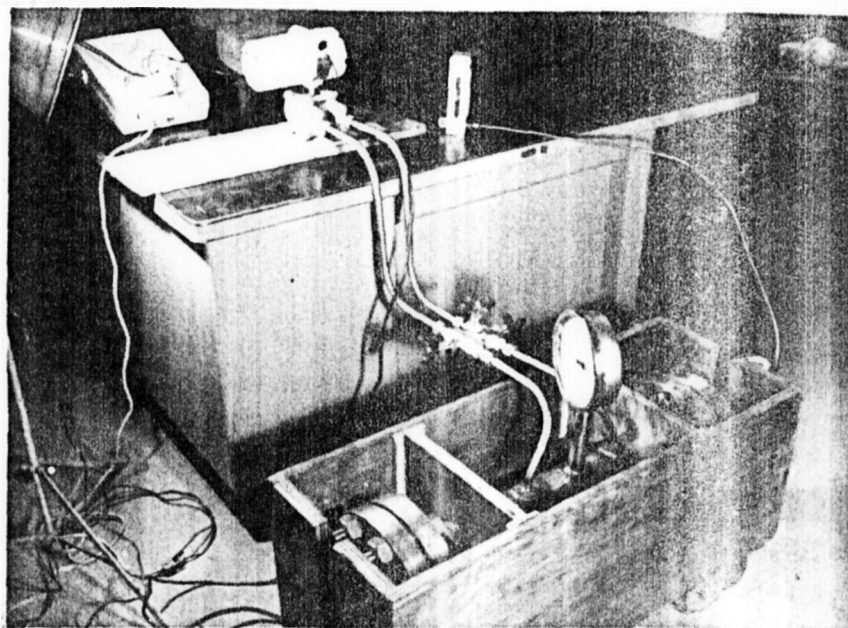


Fig.: 18: Equipamento para medição da permeabilidade.

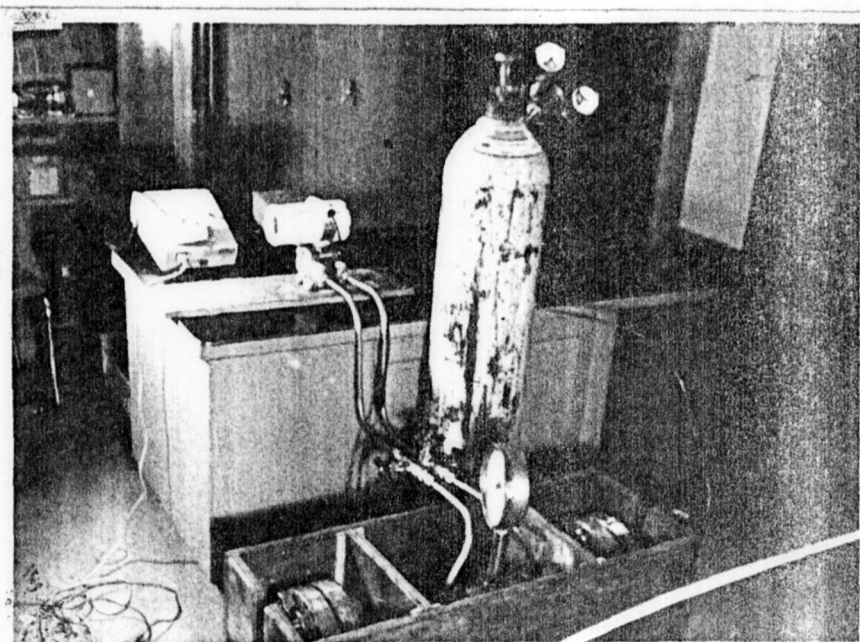


Fig.: 19: Equipamento para medição da permeabilidade.

Montagem

Para a montagem do equipamento, foram feitas as seguintes operações:

- 1- Tirou-se uma das tampas das flanges do vaso de pressão, para isso, soltou-se os oito parafusos com duas chaves fixas, uma de 1.1/2" para os parafusos e outra de 46mm para as porcas. Colocou-se no interior do vaso de pressão lã de caolim (kaowool) com o socador (vide figura 20), para isto, necessitando-se dar 106 (cento e seis) pancadas na haste do soca-

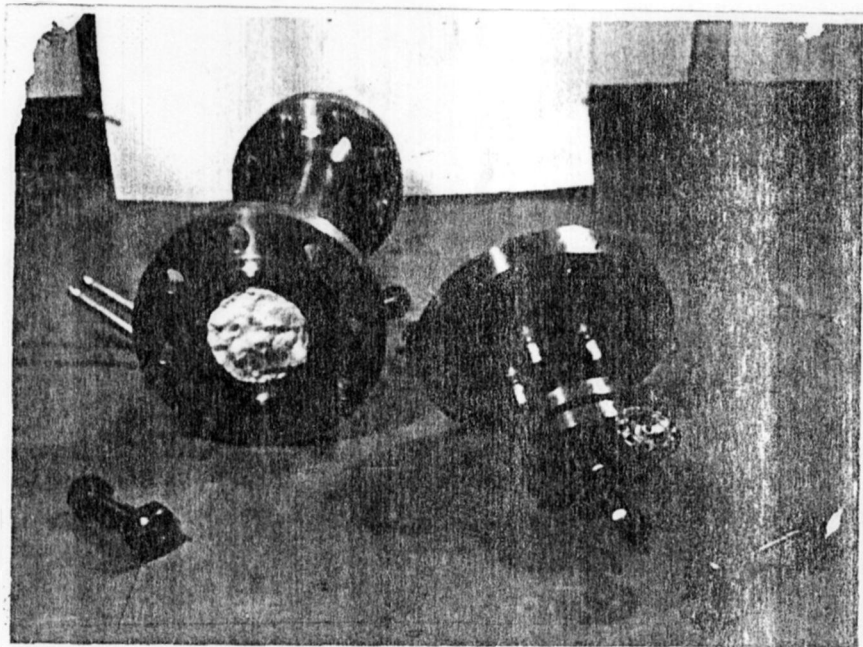


Fig. 20: Fibra (Kaowool) compactada no interior do vaso de pressão.

dor para que o volume de fibra com uma densidade de compactação de 280 kg/m^3 (igual a densidade do circuito de hélio do CEN) fosse totalmente inserido no vaso. Colocou-se, novamente, a tampa do flange com o anel para fechar o vaso, foram rosqueadas quatro velas de ignição na mesma tampa, colocado o manômetro de 25 kgf/cm^2 no corpo do vaso de pressão e a válvula agulha. (Conforme figura 21).

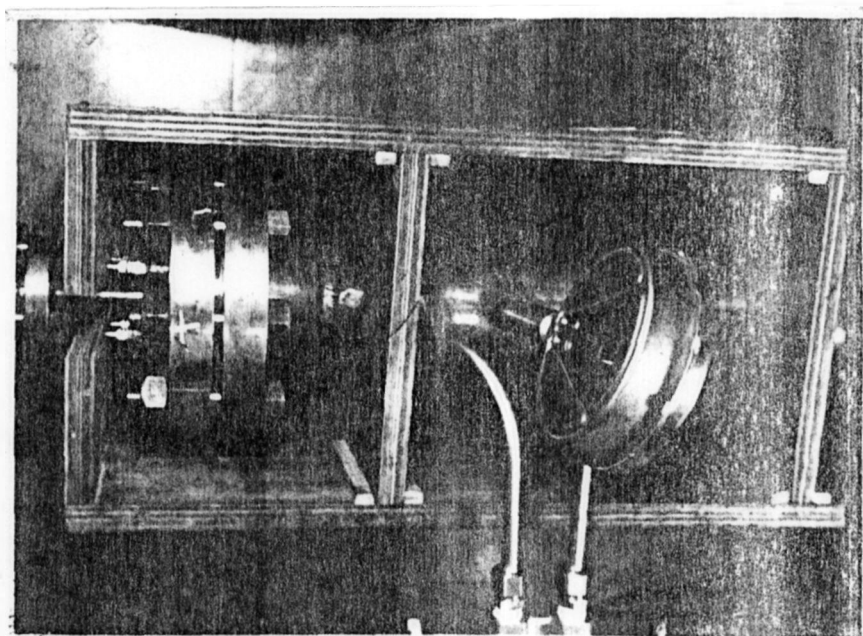


Fig.: 21: Flange do tipo "Welding Neck", anel intermediário e contra flange instalados no vaso de pressão.

No caso da densidade de compactação de 400 kg/m^3 , utilizou-se um saca polias para se compactar o isolamento em camadas de 5cm em cada fim de ciclo até se atingir a massa de isolamento desejado dentro do volume do vaso de pressão.

- 2- Foram ligadas as tubulações de cobre aos diversos equipamentos.
- 3- O medidor de pressão diferencial foi conectado ao manifold e este às duas tomadas de pressão do vaso.
- 4- O multímetro digital foi acoplado em série ao medidor de pressão diferencial.

APÊNDICE "B"

DETALHES DO EQUIPAMENTO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL
DE CONDUTIVIDADE.

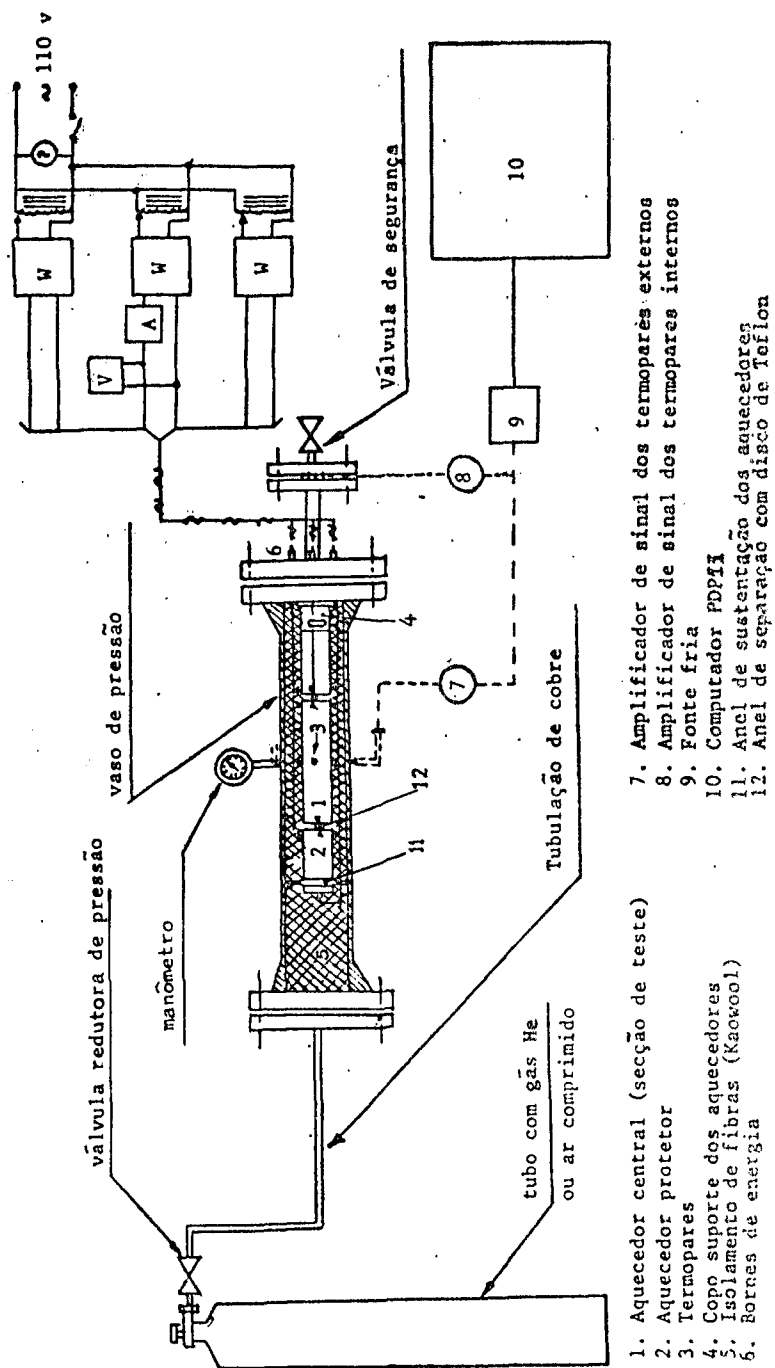


Fig. 22: Esquema do equipamento para medir condutividade térmica efetiva.

O equipamento utilizado nas experiências para medidas da condutividade térmica efetiva consiste de:

- 1 tubo de ar comprimido com 140kgf/cm^2
- 1 tubo de hélio com 140kgf/cm^2
- 1 tubo de nitrogênio super seco com 130kgf/cm^2
- 1 vaso de pressão com capacidade de 40kgf/cm^2 e temperatura de 200°C .

Conforme figura 23.

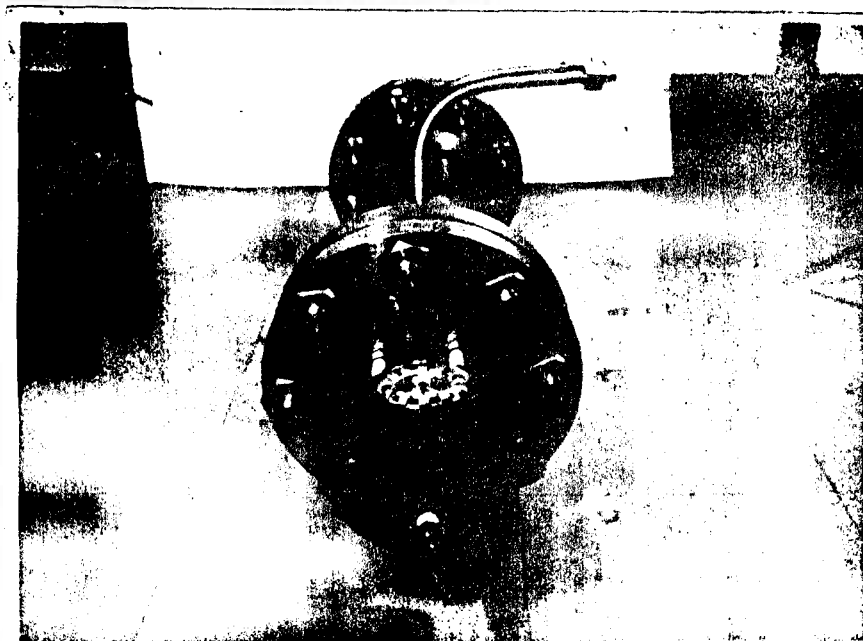


Fig.: 23: Vaso de Pressão.

- 25 termopares NiCr-Ni tipo AV-NCB com diâmetro de 1,6mm e 7,0m de comprimento.
- 1 aquecedor central (secção de teste) de latão com 210mm de comprimento 65mm de diâmetro.
- 2 aquecedores protetores com 110mm de comprimento e 65mm de diâmetro.

Conforme figura 24.

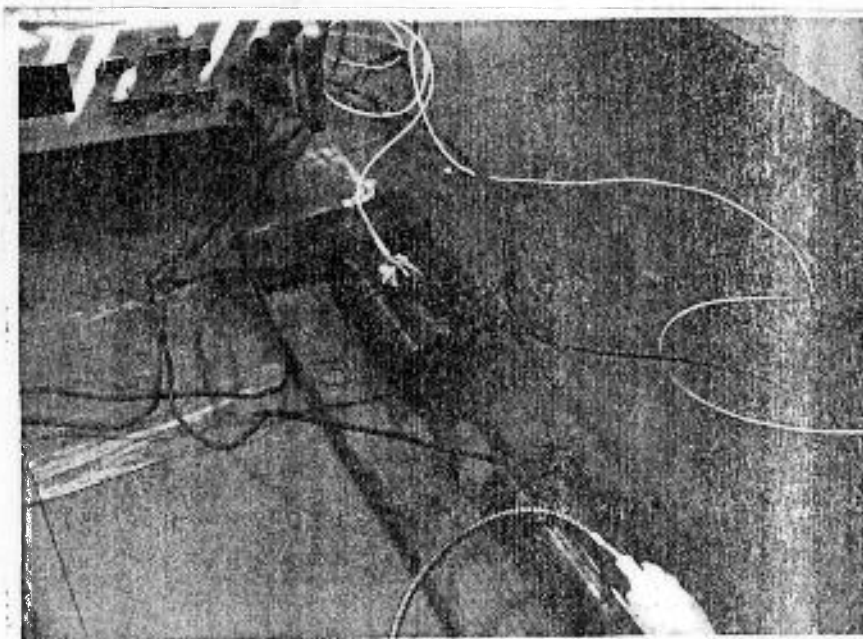


Fig. 24 : Detalhe do aquecedor lateral e aquecedor central com sensores de temperatura.

- 1 resistência central tipo EBLAC 61 110 volts e 300 watts.
- 2 resistências laterais tipo EBLAC 61 para 110 volts e 300 watts.
- 2 anéis protetores dos aquecedores de teflon.
- 4 velas tipo NGK com varetas de cobre soldadas em seus eletrodos.
- isolamento térmico tipo kaowoll com densidade de compactação de 280kg/m^3 .
- 1 manômetro marca Haemi com faixa de operação de 0 a 600kgf/cm^2
- 1 válvula de agulha de saída do vaso de pressão marca Shoritzu tipo sSs de 1/4" para pressão máxima de 800 lbs.
- 1 tubo encurvado (ligação tubo de hélio com vaso de pressão de cobre com 6mm de diâmetro.
- 1 válvula redutora de pressão marca EDELGAS tipo DE 38/50 entrada máxima de 300 bar e saída máxima de 80 bar.
- 3 transformadores com 2,88 espiras/volt com corrente máxima no secundário de 2,09 ampères, corrente máxima no primário de 2,46A e vetor de indução magnética de 6000 tesla.

- 3 varivolts tipo VM-115 para corrente máxima de 11 ampères e 1,5 quilovolt ampère.
- 1 watímetro com faixa de operação de 0 a 300W e com capacidade para 60 volts e 200 Ohms.
- 1 disjuntor termo-magnético tipo CEMASTOP para 110 - 550V/50 60 Hz com capacidade de 15A.
- 1 chave interruptora simples tipo CS301 para corrente de 20A e tensão de 250 volts AC.
- 3 fusíveis protetores dos transformadores para uma corrente de 4 ampères modelo SF.

Conforme figura 25.

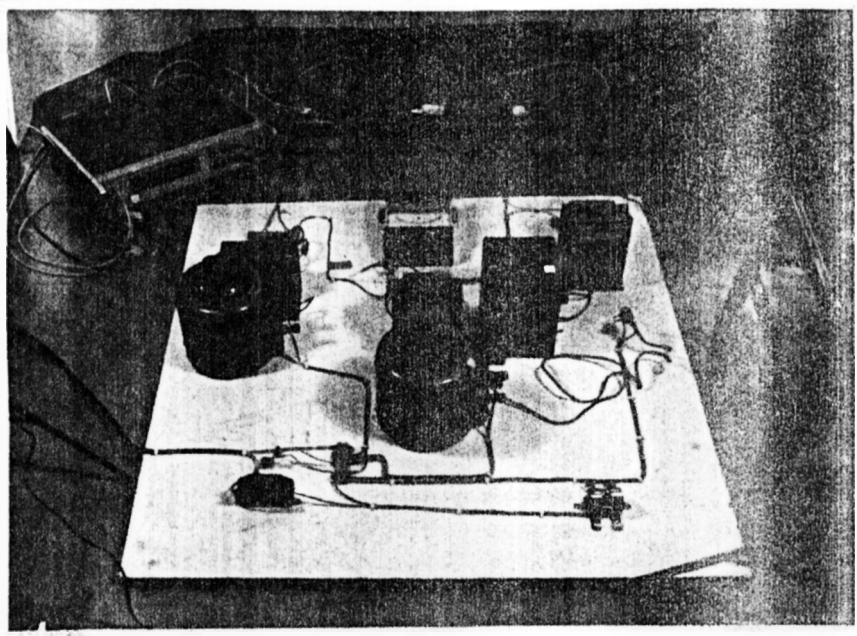
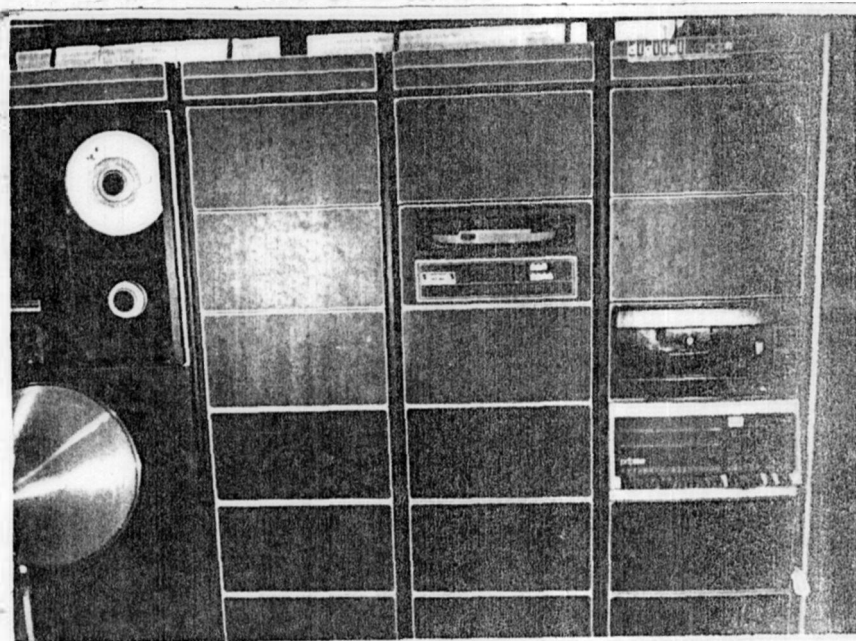


Fig.25 : Conjunto elétrico para alimentação dos aquecedores.

- 1 computador modelo PDP11/45

Fig.26 - Computador modelo PDP 11/45



- 20 amplificadores tipo PI61

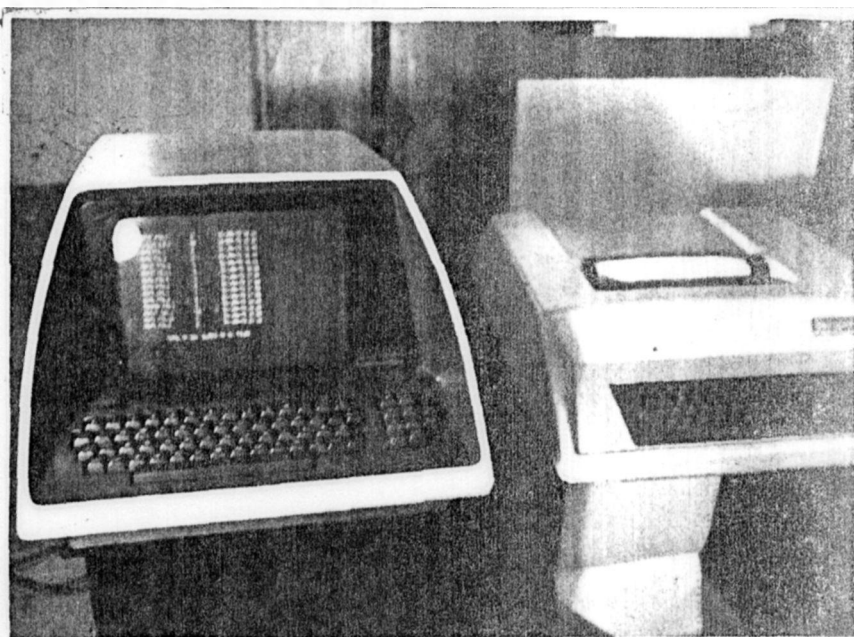


Fig. 27: Impressora e leitora de dados do computador PDP11/45.

- 2 fontes frias marca Debresistor modelo Icell MK II e frequências de 50 a 60Hz e tensões de 210 volts e 250 volts.
- 1 bomba de vácuo marca Pleifer tipo PH3Nr para vazão de $3\text{m}^3/\text{h}$ e potência de 0,185kW.

Conforme figura 28 .

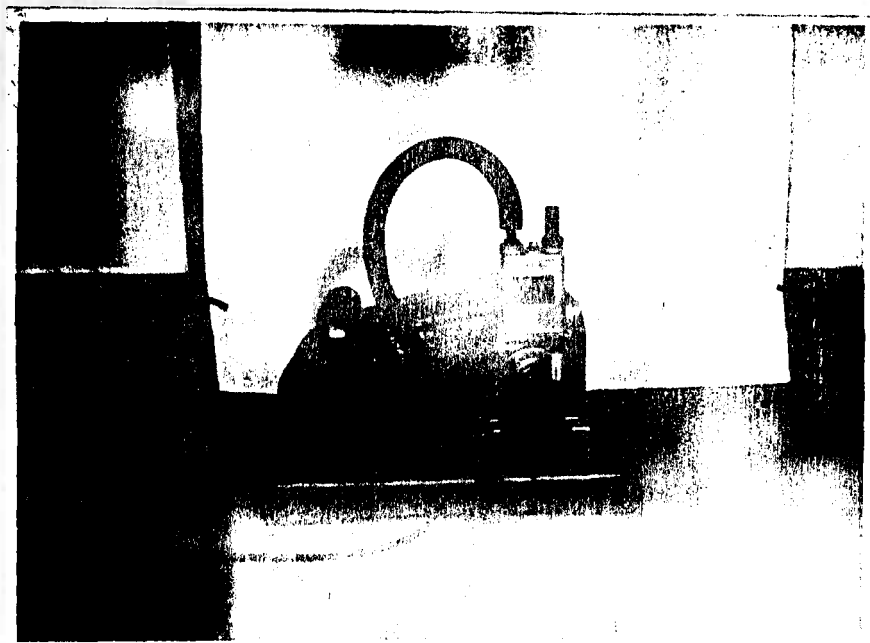


Fig. 28 . Bomba de vácuo.

- 20 cabos de ligação (amplificador-computador) com conectores tipo BNC em suas extremidades.
- 25 cabos de ligação (fonte fria-amplificador).
- 1 vacuômetro modelo SGM com faixa de operação de 0 a -76cmHg
- 1 ventilador Arno. .

APÊNDICE "C"

DADOS COMPLETOS DE MEDIDA DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA

APÊNDICE C

Leitura de Temperatura e Cálculo da Condutividade Térmica Efetiva
Fornecidos pelo Computador IBM PDP 11/45 - Analógico Digital

Data: 06.03.80

Hora: 10:14:45

Nº de temperaturas lidas: 15.141

Tipo de gás de operação: ar comprimido

Densidade de compactação da fibra: 280kg/m³

Pressão estática de operação: 1,0 atm

Temperatura ambiente: 26,0°C

Potência dissipada- aquecedor central : 14,9W

Diferença de potencial- aquecedor central (Q2): 22,6V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q1): 32,5V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q3): 19,0V

Temperaturas (°C)

T(1) = 146,9	T(2) = 147,3	T(3) = 147,5	T(4) = 146,9
T(5) = 146,9	T(6) = 146,9	T(7) = 147,5	T(8) = 145,9
T(9) = 145,7	T(10) = 146,2	T(11) = 146,7	T(12) = 147,3
T(13) = 146,6	T(14) = 149,3	T(15) = 147,7	T(16) = 136,0
T(17) = 33,4	T(18) = 36,5	T(19) = 34,8	T(20) = 33,2

Condutividade Térmica Efetiva (W/m°C)

K_{ef} (1) = 0,04934 K_{ef}(2) = 0,04991

K_{ef} (3) = 0,05086 K_{ef}(4) = 0,04974

K_{efmed} = 0,04996W/m°C

Data: 24.03.80

Hora: 12:59:47

Nº de temperaturas lidas: 13168

Tipo de gás de operação: ar

Densidade de compactação da fibra: 280 kg/m³

Pressão estática de operação: 1,0 atm

Temperatura ambiente: 32,0°C

Potência dissipada- aquecedor central: 19,5W

Diferença de potencial- aquecedor central (Q2): 26,1V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q1): 35,0V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q3): 24,0V

Temperaturas (°C)

T(1) = 186,7	T(2) = 186,9	T(3) = 187,2	T(4) = 186,3
T(5) = 186,3	T(6) = 186,9	T(7) = 188,1	T(8) = 185,3
T(9) = 184,9	T(10) = 185,4	T(11) = 188,0	T(12) = 188,9
T(13) = 187,8	T(14) = 187,6	T(15) = 185,7	T(16) = 184,7
T(17) = 58,1	T(18) = 60,9	T(19) = 61,2	T(20) = 58,1

Condutividade Térmica Efetiva (W/m°C)

$K_{ef}(1) = 0,05729$

$K_{ef}(2) = 0,05832$

$K_{ef}(3) = 0,05856$

$K_{ef}(4) = 0,05772$

Valores calculados:

$T_i = 186,8^{\circ}\text{C}$; $T_e = 59,5^{\circ}\text{C}$; $\Delta T = 127,2^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{K}$; $\bar{T} = 123,2^{\circ}\text{C}$ ou $\bar{T} = 396,2^{\circ}\text{K}$

$\alpha = 0,6423 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$; $\nu = 25,48 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $\beta = 0,00252^{\circ}\text{K}^{-1}$, erro máximo(ΔT) = 4,09°C

$Ra/A = 1,25 \times 10^{-4}$

$K = 2,0 \times 10^{-11} \text{ m}^2$, obtido experimentalmente.

Os parâmetros ρ , C_p , $\lambda_{gás}$ e μ utilizados para calcular os valores acima, foram extraídos de tabelas termodinâmicas.

Data: 25.03.80

Hora: 12:33:38

Nº de temperaturas lidas: 853

Tipo de gás de operação : hélio

Densidade de compactação da fibra: 280 kg/m³

Pressão estática de operação: 1,0 atm

Temperatura ambiente: 29,0°C

Potência dissipada- aquecedor central : 14,2W

Diferença de potencial- aquecedor central (Q2): 22,5V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q1): 23,0V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q3): 18,0V

Temperaturas (°C)

T(1) = 81,5	T(2) = 81,3	T(3) = 80,7	T(4) = 80,8
T(5) = 80,4	T(6) = 80,5	T(7) = 83,8	T(8) = 80,3
T(9) = 80,2	T(10) = 80,9	T(11) = 83,5	T(12) = 84,1
T(13) = 84,3	T(14) = 82,8	T(15) = 82,0	T(16) = 98,7
T(17) = 50,8	T(18) = 53,8	T(19) = 53,0	T(20) = 51,2

Condutividade Térmica Efetiva (W/m°C)

$K_{ef}(1) = 0,17695$ $K_{ef}(2) = 0,19074$

$K_{ef}(3) = 0,19418$ $K_{ef}(4) = 0,18066$

$K_{efmed} = 0,18563W/m^{\circ}C$

Valores Calculados:

$T_i = 81,1^{\circ}C$; $T_e = 52,2^{\circ}C$; $\Delta T = 28,9^{\circ}C$ ou $^{\circ}K$; $\bar{T} = 66,6^{\circ}C$ ou $\bar{T} = 339,6^{\circ}K$

$\alpha = 0,2522 \times 10^{-3} m^2/s$; $\nu = 15,20 \times 10^{-5} m^2/s$; $\beta = 0,00294^{\circ}K^{-1}$; $\Delta T_{m\acute{a}ximo} = 3,93^{\circ}C$

$Ra/A = 1,42 \times 10^{-6}$

$K = 2,0 \times 10^{-11} m^2$ obtido experimentalmente.

Os parâmetros ρ , C_p , $\lambda_{g\acute{a}s}$ e μ utilizados para calcular os valores acima, foram extraídos de tabelas termodinâmicas.

Data: 27.03.80

Hora: 12:29:26

Nº de temperaturas lidas: 726

Tipo de gás de operação: hélio

Densidade de compactação da fibra: 280 kg/m³

Pressão estática de operação: 1,0 atm

Temperatura ambiente: 29,0°C

Potência dissipada- aquecedor central: 32,2W

Diferença de potencial- aquecedor central (Q2): 34,2V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q1): 32,0V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q3): 27,0V

Temperaturas (°C)

T(1) = 124,9	T(2) = 125,9	T(3) = 125,3	T(4) = 124,7
T(5) = 125,1	T(6) = 124,9	T(7) = 126,8	T(8) = 123,9
T(9) = 124,1	T(10) = 123,7	T(11) = 124,9	T(12) = 124,9
T(13) = 125,4	T(14) = 128,7	T(15) = 126,8	T(16) = 127,5
T(17) = 68,8	T(18) = 72,5	T(19) = 72,5	T(20) = 69,1

Condutividade Térmica Efetiva (W/m°C)

$K_{ef}(1) = 0,21780$

$K_{ef}(2) = 0,22916$

$K_{ef}(3) = 0,22879$

$K_{ef}(4) = 0,21804$

$K_{efmed} = 0,22345W/m°C$

Valores Calculados:

$T_i = 125,2°C$; $T_e = 70,7°C$; $\Delta T = 54,5°C$ ou $°K$; $\bar{T} = 98,0°C$

$\alpha = 0,3317 \times 10^{-3} m^2/s$; $\nu = 17,60 \times 10^{-5} m^2/s$; $\beta = 0,00269 °K^{-1}$; erro máximo(ΔT) = 3,62°C

$Ra/A = 1,61 \times 10^{-6}$

$K = 2,0 \times 10^{-11} m^2$ obtido experimentalmente.

Os parâmetros ρ , C_p , $\lambda_{gás}$ e μ utilizados para calcular os valores acima, foram extraídos de tabelas termodinâmicas.

Data: 12.03.80

Hora: 12:59:27

Nº de temperaturas lidas: 9355

Tipo de gás de operação: ar

Densidade de compactação da fibra: 280 kg/m³

Pressão estática de operação: 1,0 atm

Temperatura ambiente: 29,0°C

Potência dissipada- aquecedor central: 30,3W

Diferença de potencial- aquecedor central (Q2):32,8V

Diferença de potencial- aquecedor lateral:(Q1):43,0V

Diferença de potencial- aquecedor lateral:(Q3):28,5V

Temperaturas (°C)

T(1) = 243,4	T(2) = 243,7	T(3) = 244,2	T(4) = 242,7
T(5) = 243,2	T(6) = 244,1	T(7) = 244,5	T(8) = 241,7
T(9) = 241,9	T(10) = 242,5	T(11) = 240,3	T(12) = 241,4
T(13) = 239,9	T(14) = 248,8	T(15) = 246,8	T(16) = 247,9
T(17) = 44,1	T(18) = 48,7	T(19) = 47,1	T(20) = 44,6

Condutividade Térmica Efetiva

$K_{ef}(1) = 0,05758$

$K_{ef}(2) = 0,05756$

$K_{ef}(3) = 0,05759$

$K_{ef}(4) = 0,05757$

$K_{efmed} = 0,05758 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$

Valores calculados:

$T_i = 243,5^{\circ}\text{C}$; $T_e = 46,1^{\circ}\text{C}$; $\Delta T = 197,4^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{K}$; $\bar{T} = 144,8^{\circ}\text{K}$ ou $\bar{T} = 417,8^{\circ}\text{K}$

$\alpha = 0,3924 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$; $\nu = 26,95 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $\beta = 0,00239^{\circ}\text{K}^{-1}$; erro máximo (T)=5,66°C

$Ra/A = 2,86 \times 10^{-4}$

$K = 2,0 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ obtido experimentalmente.

Os parâmetros ρ , C_p , $\lambda_{gás}$ e μ utilizados para calcular os valores acima foram extraídos de tabelas termodinâmicas.

Data: 11.03.80

Hora: 10:23:36

Nº de temperaturas lidas: 15544

Tipo de gás de operação: ar comprimido

Densidade de compactação da fibra: 280 kg/m³

Pressão estática de operação: 1,0 atm

Temperatura ambiente: 26,0°C

Potência dissipada- aquecedor central: 30,3W

Diferença de potencial- aquecedor central (Q2): 32,8V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q1): 43,0V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q3): 28,5V

Temperaturas (°C)

T(1) = 235,1	T(2) = 236,2	T(3) = 235,9	T(4) = 234,9
T(5) = 235,5	T(6) = 235,3	T(7) = 235,9	T(8) = 234,2
T(9) = 233,2	T(10) = 234,2	T(11) = 234,2	T(12) = 235,1
T(13) = 233,7	T(14) = 236,3	T(15) = 234,5	T(16) = 227,8
T(17) = 41,8	T(18) = 46,3	T(19) = 43,4	T(20) = 43,6

Condutividade Térmica Efetiva (W/m°C)

$K_{ef}(1) = 0,05950$ $K_{ef}(2) = 0,05928$

$K_{ef}(3) = 0,06038$ $K_{ef}(4) = 0,05923$

$K_{efmed} = 0,05960W/m°C$

Valores Calculados:

$T_i = 235,5°C$; $T_e = 43,8°C$; $\Delta T = 191,8°C$ ou $°K$; $\bar{T} = 139,7°C$ ou $\bar{T} = 412,7°K$

$\alpha = 0,1686 \times 10^{-5} m^2/s$; $\nu = 6,90 \times 10^{-7} m^2/s$; $\beta = 0,00242°K^{-1}$; erro máximo(ΔT)=1,83°C

$Ra/A = 0,256$

$K = 2,0 \times 10^{-11} m^2$ obtido experimentalmente.

Os parâmetros ρ , C_p , $\lambda_{gás}$ e μ utilizados para calcular os valores acima, foram extraídos de tabelas termodinâmicas.

Data: 14.03.80

Hora: 08:43:09

Nº de temperaturas lidas: 13394

Tipo de gás de operação: ar

Densidade de compactação da fibra: 280 kg/m³

Pressão estática de operação: 1,0 atm

Temperatura ambiente: 24,0°C

Potência dissipada- aquecedor central: 36,0W

Diferença de potencial- aquecedor central (Q2): 35,9V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q1): 46,5V

Diferença de potencial- aquecedor lateral (Q3): 31,5V

Temperaturas (°C)

T(1) = 282,2	T(2) = 282,1	T(3) = 282,3	T(4) = 280,9
T(5) = 282,0	T(6) = 282,1	T(7) = 285,8	T(8) = 280,1
T(9) = 279,8	T(10) = 280,3	T(11) = 277,3	T(12) = 279,6
T(13) = 276,9	T(14) = 283,8	T(15) = 282,3	T(16) = 271,5
T(17) = 44,6	T(18) = 50,4	T(19) = 48,1	T(20) = 45,7

Condutividade Térmica Efetiva (W/m°C)

K_{ef}(1) = 0,05741 K_{ef}(2) = 0,05796

K_{ef}(3) = 0,05856 K_{ef}(4) = 0,05748

K_{efmed} = 0,05785W/m°C

Valores calculados:

T_i = 281,9°C; T_e = 47,2°C; ΔT = 234,7°C ou °K; T̄ = 164,6°C ou T̄ = 437,6°K

α = 0,4107x10⁻⁴m²/s; ν = 28,13x10⁻⁶/s; β = 0,00229°K⁻¹; ΔT máxima erro = 4,09°C.

Ra/A = 1,25x 10⁻⁴

K = 2,0 x 10⁻¹¹m² obtido experimentalmente.

Os parâmetros ρ, Cp, λgás e μ utilizados para calcular os valores acima, foram extraídos de tabelas termodinâmicas.

APÊNDICE "D"

PROGRAMAS UTILIZADOS PARA CÁLCULO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA E DIAGRAMAS DE BLOCO DOS PROGRAMAS.

a) PROGRAMA LEI FTN

b) PROGRAMA PRIN FTN

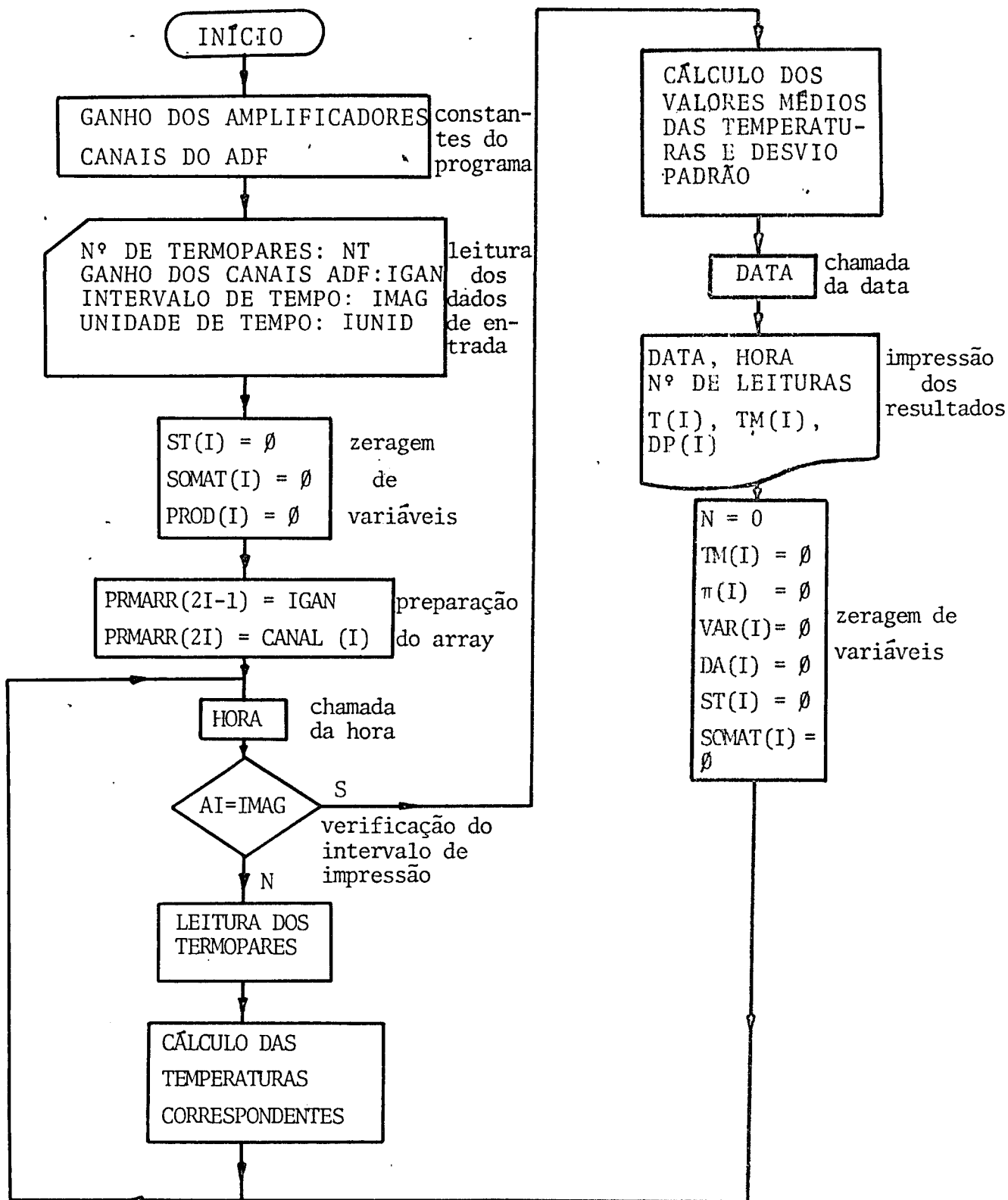


Figura .29 - Diagramas de blocos dos programas a) LEI FTN, b) PRIN FTN.

PROGRAMA PRINT FTN

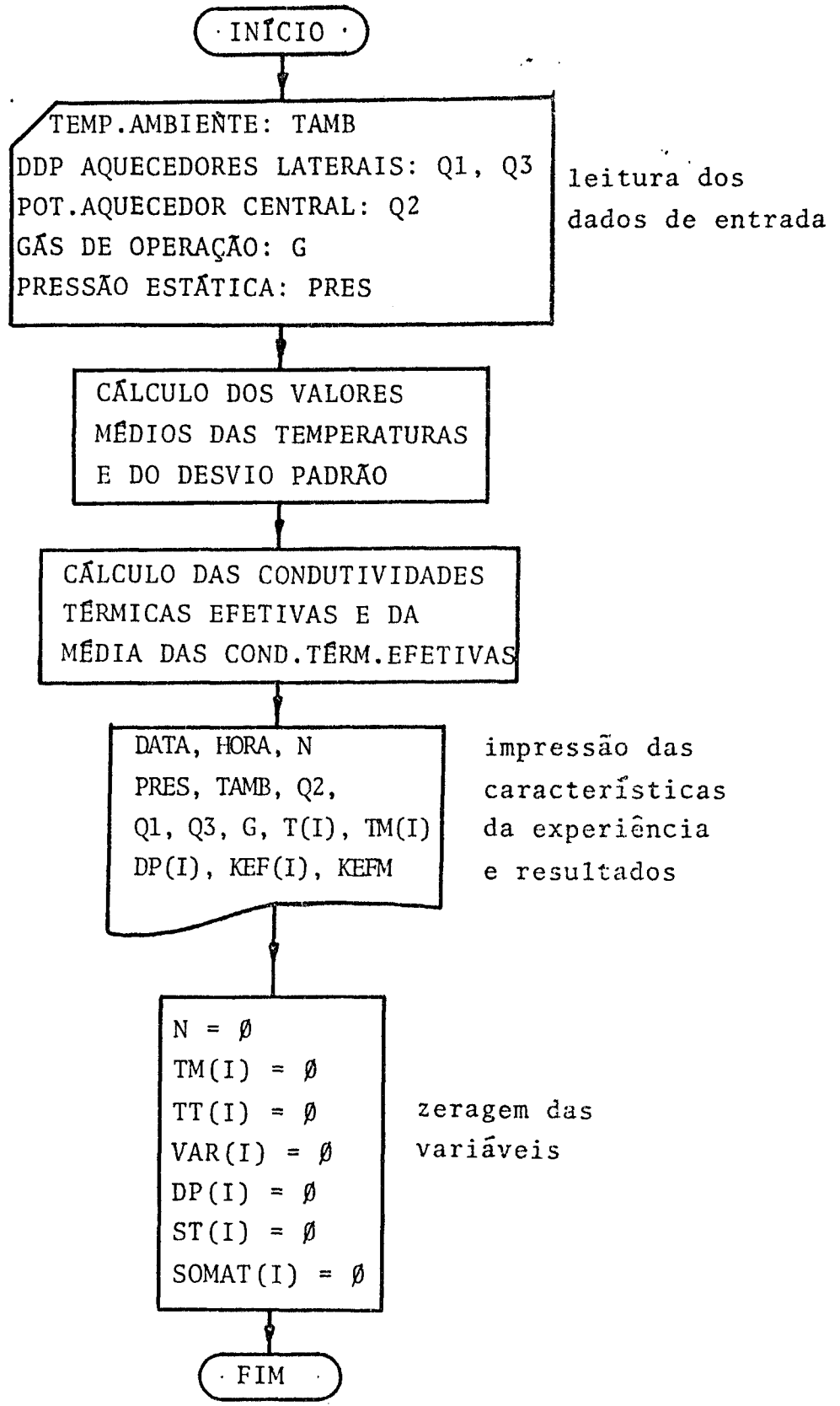


Figura 30: - Diagrama de blocos do programa PRINT FTN

FORTRAN IV . V01B-02
CORE=08K, UIC=[50, 50]

WED 13-FEB-80 13:39:32

PAGE 001
PRIN, PRIN=PRIN

```

C
C   PROGRAMA PARA CALCULAR CONDUTIVIDADE TERMICA EFETIVA
C       (CILINDRO NA POSICAO HORIZONTAL)
C
C   ESTE PROGRAMA UTILIZA OS VALORES OBTIDOS PELO PROGRAMA
C   "LEITER.FTN" QUE FAZ A LEITURA DOS TERMOPARES E CHAMA
C   ESTE PROGRAMA A CADA INTERVALO DE TEMPO DEFINIDO PELO
C   OPERADOR.
C
C   EDITADO EM JANEIRO DE 1980 POR GERSON ANTONIO RUBIN
C
0001   REAL*8 A
0002   INTEGER*4, N
0003   DIMENSION  TM(20), TT(20), VAR(20), DP(20), XKEF(4), D(3)
0004   COMMON /ADFAR/ ST(20), T(20), SOMAT(20), NT, N, Q, A, PRES
0005   CALL WAITFR(33, )
C
C   ENTRADA DOS PARAMETROS DE OPERACAO
C
0006   WRITE(6, 10)
0007   10  FORMAT(1X, '* ENTRE TEMP. AMB. E POTENCIAS AJUEC. LATERAIS ./)
0008   READ(6, 20) TAMB
0009   READ(6, 30) Q1
0010   READ(6, 30) Q2
C
C   CALCULO DOS VALORES MEDIOS DAS TEMPERATURAS E DO DESVIO PADR
C
0011   DO 101 I = 1, NT
0012   TM(I) = ST(I)/FLOAT(N)
0013   TT(I) = SOMAT(I)/FLOAT(N)
0014   VAR(I) = ABS(TT(I) - TM(I))*TM(I))
0015   DP(I) = SQRT(VAR(I))
0016   101 CONTINUE
C
C   CALCULO DA CONDUTIVIDADE TERMICA EFETIVA
C
0017   CTE = 0.3777585*Q
0018   DT1 = ABS(TM(1) - TM(20))
0019   DT2 = ABS(TM(2) - TM(19))
0020   DT3 = ABS(TM(3) - TM(18))
0021   DT4 = ABS(TM(4) - TM(17))
0022   XKEF(1) = CTE/DT1
0023   XKEF(2) = CTE/DT2
0024   XKEF(3) = CTE/DT3
0025   XKEF(4) = CTE/DT4
C
C   -----
C   CALCULO DA MEDIA DA CONDUTIVIDADE TERMICA EFETIVA

```


0065 220 FORMAT(25X, 'KEFMED = ' F10.5)

C
C ZERAGEM DAS VARIÁVEIS PARA INICIO DE NOVO CICLO DE LEITURAS
C

0066 N = 0
0067 DO 230 I=1, NT
0068 TM(I) = 0.
0069 TT(I) = 0.
0070 VAR(I) = 0.
0071 DP(I) = 0.

FORTTRAN IV V01B-02 WED 13-FEB-80 13:39:52 PAGE 003
CORE=08K, UIC=[50,50] PRIN, PRIN=PRIN

0072 ST(I) = 0.
0073 SOMAT(I) = 0.
0074 230 CONTINUE
C
0075 STOP
0076 END

FORTTRAN IV STORAGE MAP

NAME	OFFSET	ATTRIBUTES
TM	000006	REAL*4 ARRAY (20)
TT	000126	REAL*4 ARRAY (20)
VAR	000246	REAL*4 ARRAY (20)
DP	000366	REAL*4 ARRAY (20)
XKEF	000506	REAL*4 ARRAY (4)
D	000526	REAL*4 ARRAY (3)
WAITFR	000000	REAL*4 PROCEDURE
TAMB	001744	REAL*4 VARIABLE
Q1	001750	REAL*4 VARIABLE
Q2	001754	REAL*4 VARIABLE
I	001760	INTEGER*2 VARIABLE
FLOAT	000000	REAL*4 PROCEDURE
ABS	000000	REAL*4 PROCEDURE
SORT	000000	REAL*4 PROCEDURE
CTE	001762	REAL*4 VARIABLE
DT1	001766	REAL*4 VARIABLE
DT2	001772	REAL*4 VARIABLE
DT3	001776	REAL*4 VARIABLE
DT4	002002	REAL*4 VARIABLE
XKEFM	002006	REAL*4 VARIABLE
DATE	000000	REAL*4 PROCEDURE
J	002012	INTEGER*2 VARIABLE

COMMON BLOCK /ADPAR/ LENGTH 000406

ST	000000	REAL*4 ARRAY (20)
T	000120	REAL*4 ARRAY (20)
SOMAT	000240	REAL*4 ARRAY (20)


```

      T(I) = 0.
      TP(I) = 0.
      VAR(I) = 0.
      DP(I) = 0.
      ST(I) = 0.
      SOMAT(I) = 0.
236  CONTINUE
C
      STOP
      END

```

PROGRAMA PRINT

```

C
C   PROGRAMA PARA CALCULAR CONDUCTIVIDADE E ERRORES EFETIVOS
C   (CILINDRO NA POSICAO HORIZONTAL)
C
C   ESTE PROGRAMA UTILIZA OS VALORES DE TEMPERATURA AMBIENTE,
C   TEMPERATURA DO LEITER, P.A. QUE FAZ A LEITURA DOS POTENCIAIS E ERROS
C   ESTE PROGRAMA A CADA INTERVALO DE TEMPO DEBEM SER COLHEIDOS
C   OPERADOR.
C
C   EDITADO EM JANEIRO DE 1980 POR BRUNO A. L. DE SOUZA
C
C
C   REAL*8 H
C   INTEGER*4 I
C   DIMENSION T(20), TP(20), VAR(20), DP(20), ST(20), SOMAT(20)
C   COMMON /ADPAR/ ST(230), T(20), SOMAT(20), DP(20), VAR(20)
C   CALL WAITFR(33)
C
C   ENTRADA DOS PARAMETROS DE OPERADOR
C
C   WRITE(6,10)
C
C   10  FORMAT(1X, '* ENTRE TEMP. AMB. E POTENCIAIS (TEMP. DO LEITER)
C   CALL BELL
C   READ(6,20) TAMB
C   WRITE(6,20) TAMB
C   READ(6,30) Q1
C   WRITE(6,30) Q1
C   READ(6,30) Q2
C   WRITE(6,30) Q2
C   WRITE(6,31)
C
C   31  FORMAT(1X, '* ENTRE POTENCIA DO QUADRO DE OPERACAO
C   CALL BELL
C   READ(6,30) P
C   WRITE(6,30) P
C   WRITE(6,33)
C
C   33  FORMAT(1X, '* ENTRE GAS DE OPERACAO
C   CALL BELL
C   READ(6,34) (G(I), I=1,2)
C   WRITE(6,34) (G(I), I=1,2)

```

FORMAT(16) = 'ERRE F(3) SAO ESTATICA(7,7)'

CALL BELL

READ(6,35) NPTS

WRITE(3,36) NPTS

CALCULO DAS COEFICIENTES DAS TEMPERATURAS E DO DESVIO PADRAO

DO 10 I=1,NPTS

TM(I) = SUM(TEMP(I,J))

DP(I) = SUM(DP(I,J))

VAR(I) = (SUM(TEMP(I,J)**2) - TM(I)**2)/NPTS

DP(I) = (SUM(DP(I,J)**2) - DP(I)**2)/NPTS

END DO

CALCULO DA CONDUTIVIDADE TERMICA EFETIVA

DO 10 I=1,4

XKEF(I) = (TM(I) - TM(1)) / (DP(I) - DP(1))

XKEF(I) = XKEF(I) * (DP(1) - DP(1))

XKEF(I) = XKEF(I) * (DP(1) - DP(1))

XKEF(I) = XKEF(I) * (DP(1) - DP(1))

END DO

END DO

END DO

END DO

CALCULO DA CONDUTIVIDADE TERMICA EFETIVA

XKEF(1) = XKEF(1) + XKEF(2) + XKEF(3) + XKEF(4) / 4

END DO

CALCULO DAS CARACTERISTICAS DA EXPERIENCIA

WRITE(6,37) (J=1,20), A

WRITE(6,38) B

WRITE(6,39) (I=1,20), C

WRITE(6,40) D

WRITE(6,41) E

WRITE(6,42) F

WRITE(6,43) G

WRITE(6,44) H

WRITE(6,45) I

1. PRESSAO DAS TEMPERATURAS

WRITE(6,180)

WRITE(6,180) (I=1,3), (TM(I), DP(I), I=1,3)

WRITE(6,180) (I=4,6), (TM(I), DP(I), I=4,6)

WRITE(6,180) (I=7,9), (TM(I), DP(I), I=7,9)

WRITE(6,180) (I=10,12), (TM(I), DP(I), I=10,12)

WRITE(6,180) (I=13,15), (TM(I), DP(I), I=13,15)

WRITE(6,180) (I=16,18), (TM(I), DP(I), I=16,18)

WRITE(6,180) (I=19,20), (TM(I), DP(I), I=19,20)

IMPRESSAO DOS RESULTADOS

WRITE(6,200)

WRITE(6,210) (I=1,2), XKEF(I), I=1,2)

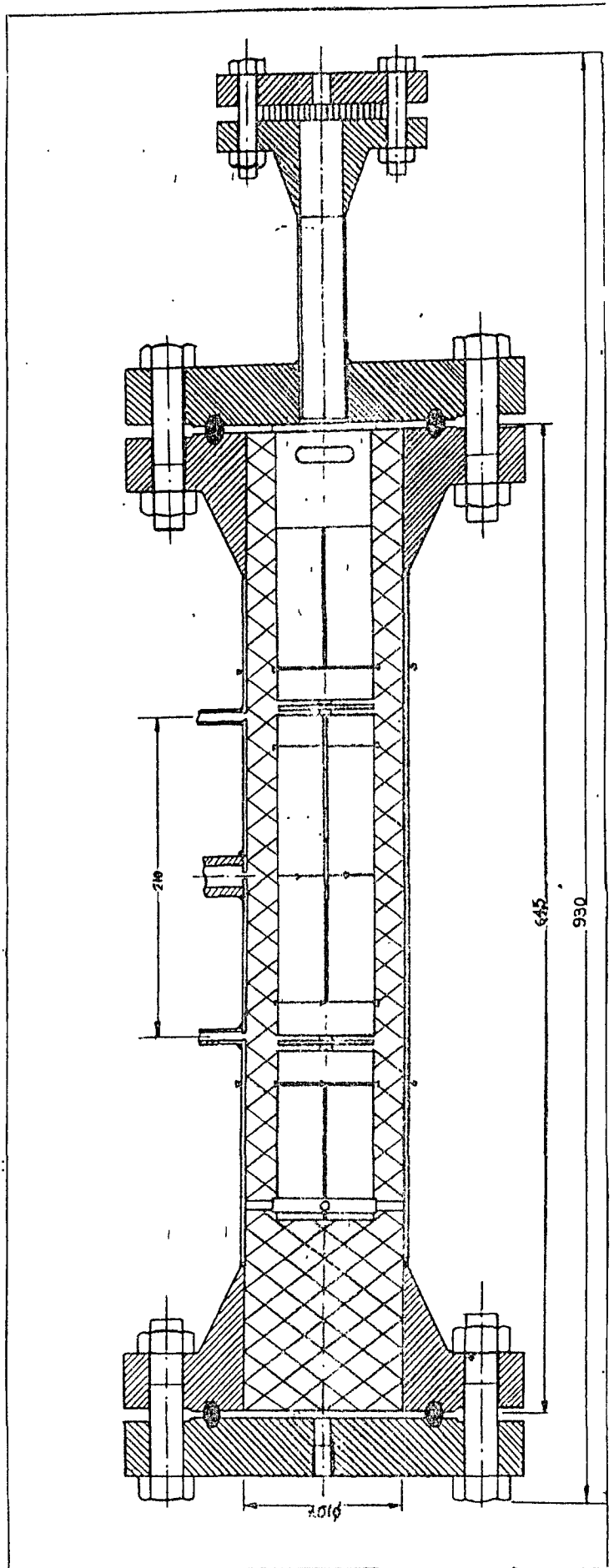
WRITE(6,210) (I=3,4), XKEF(I), I=3,4)

WRITE(6,220) XKEF(1)

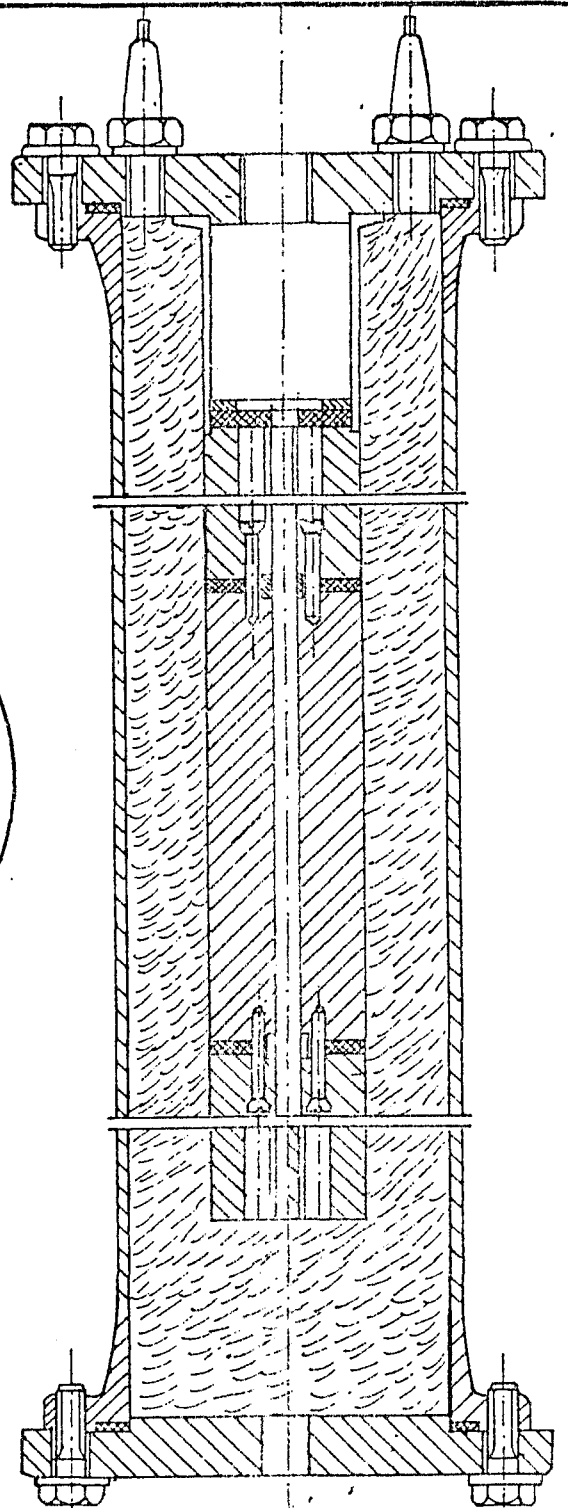
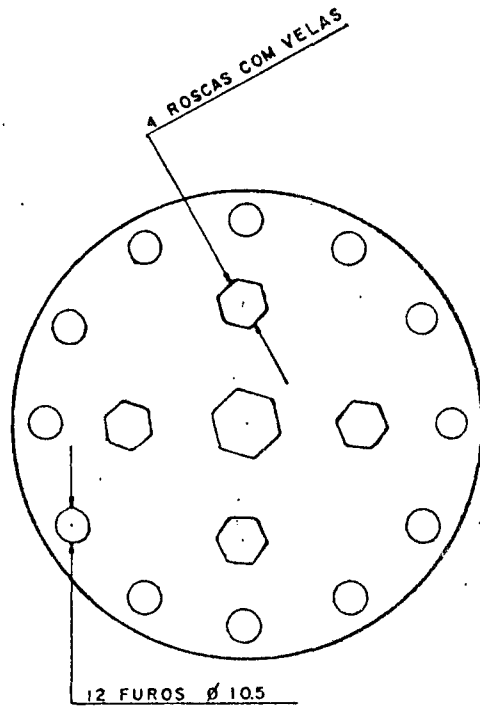
APÊNDICE "E"

DESENHOS DE CONSTRUÇÃO DO VASO DE PRESSÃO

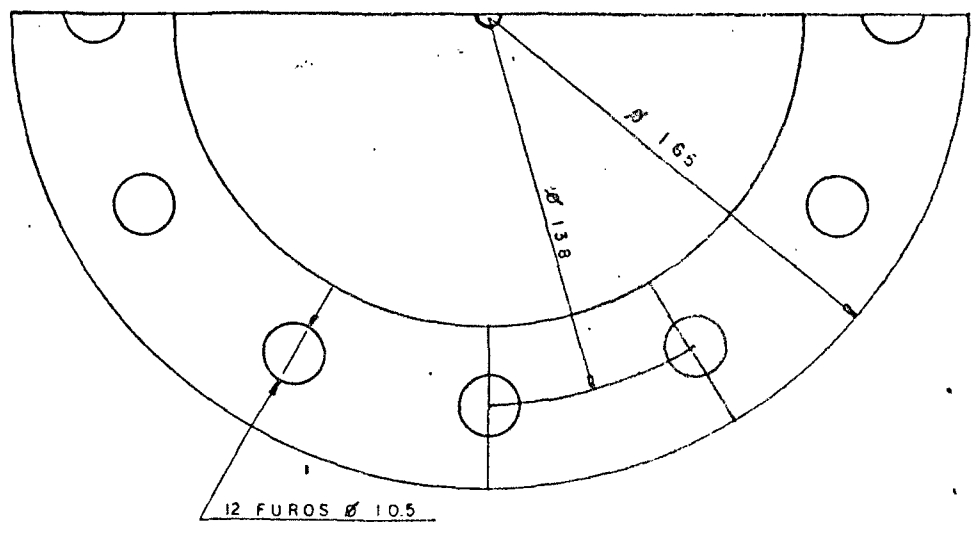
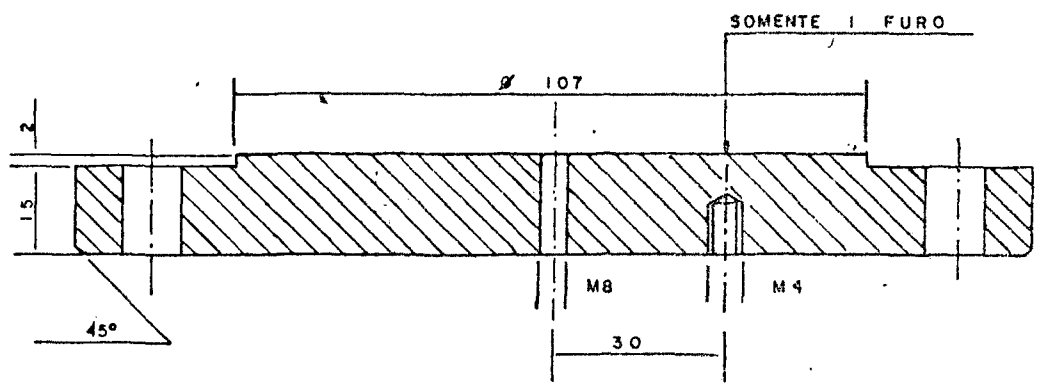
V A S O D E P R E S S Ã O



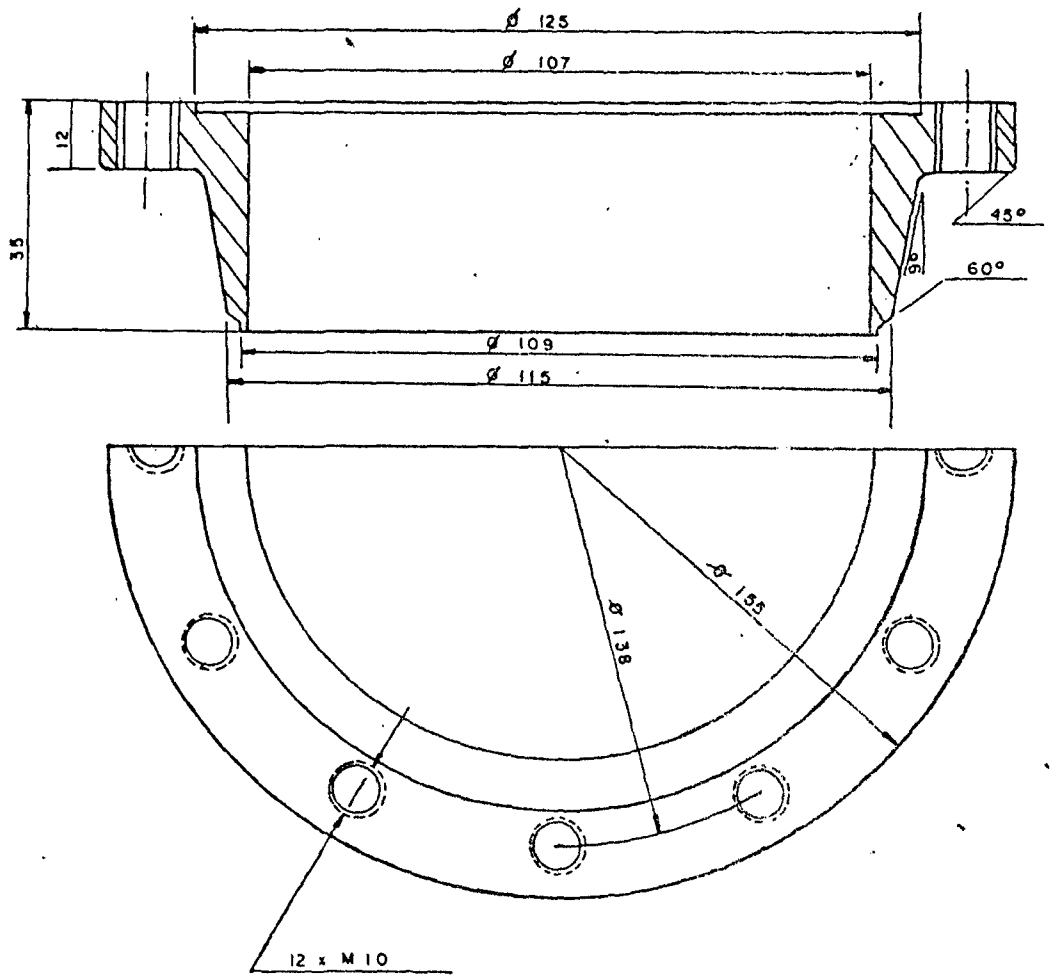
DETALHE DA PARTE SUPERIOR



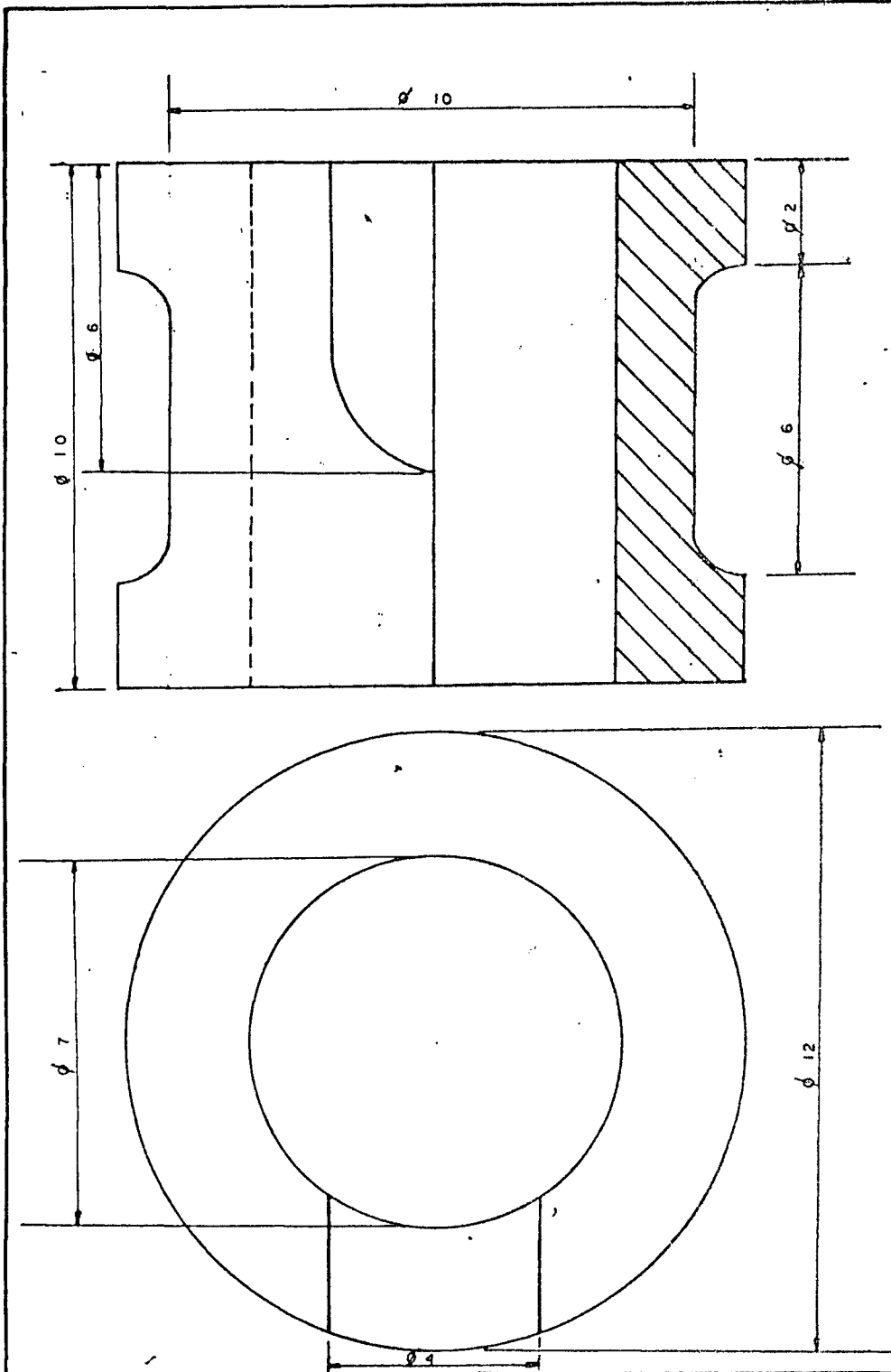
DATA	NOME	INSTITUTO DE ENERGIA ATOMICA - CEN - AFTR -
DES	25.876 TAKEO	
COP		
VISTO		
SEÇÃO DE TESTE PARA ME DIDAS DE ISOLAMENTO TER MICO FIBROSO		



DES	DATA	NOME	INSTITUTO DE ENERGI ATOMICA CEN AFT
COP			
VISTO			
FLANGE TIPO A			



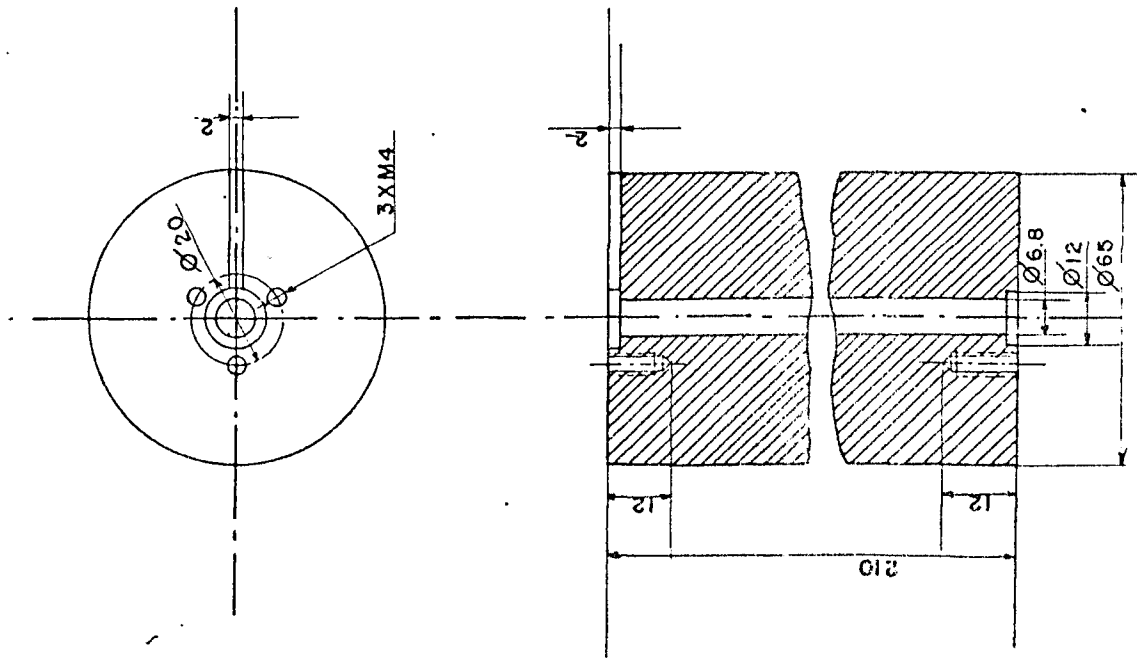
DATA	NOME	INSTITUTO DE ENERGIA ATOMICA - GEN - AFTR
FLANGE TIPO C		



	DATA	NOME	INSTITUTO DE ENERGIA ATOMICA CEN AFT
ESC.			

INSTITU

S

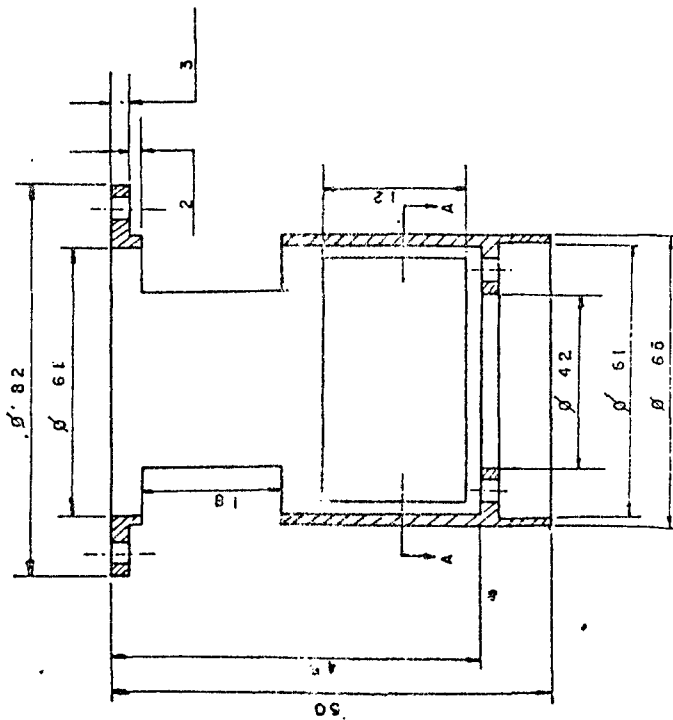
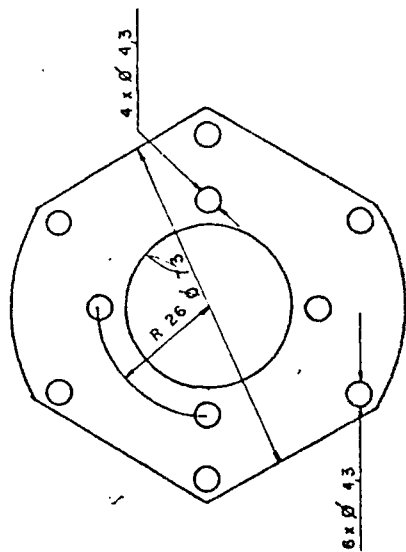
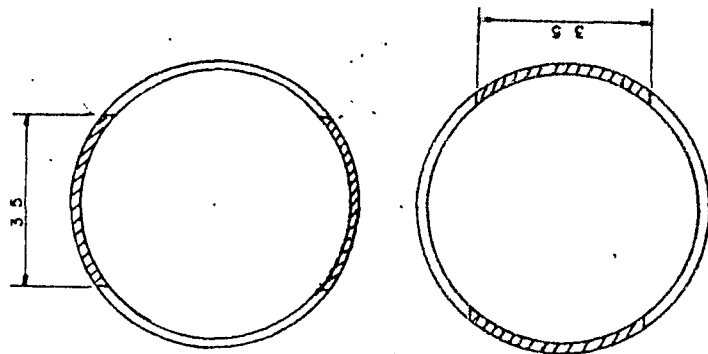


Nº	DES.	MAT.	QUANT.	NOTAS
6	HEATER JACKET	LATÃO	4	-

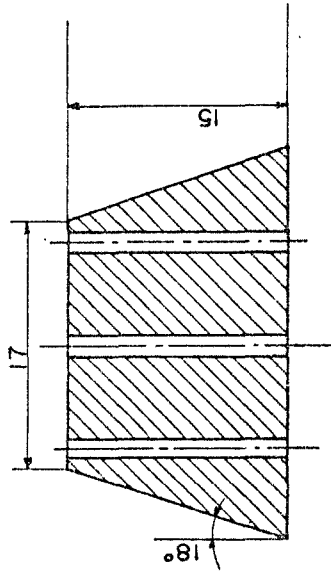
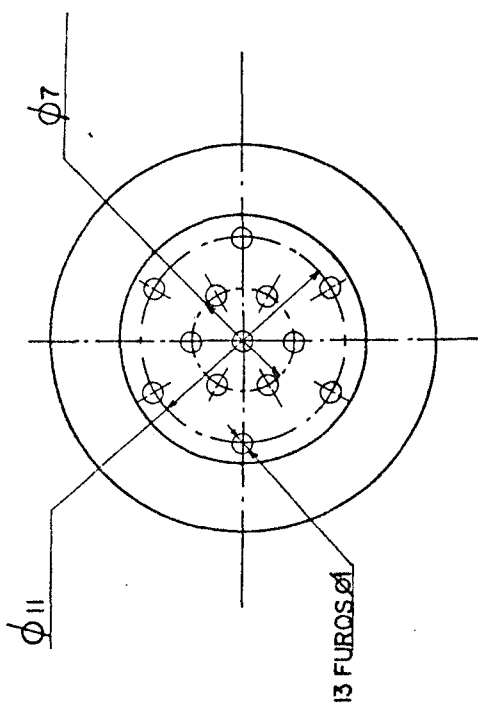
DATA		NOME	

INSTITUTO DE ENERGIA
 ATOMICA - CEN - AF TR

ESC.
 1:1

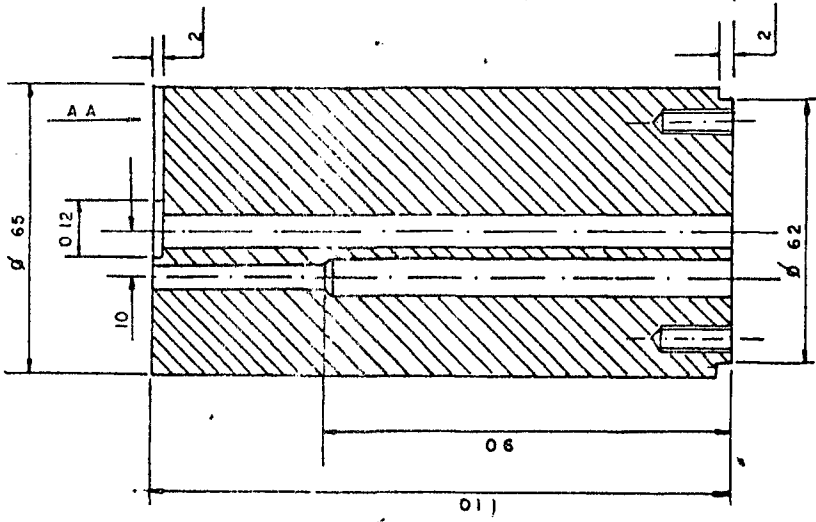
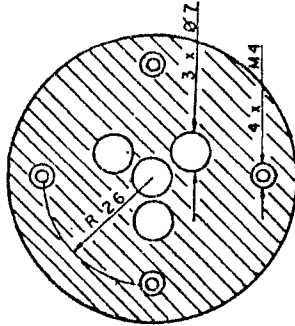
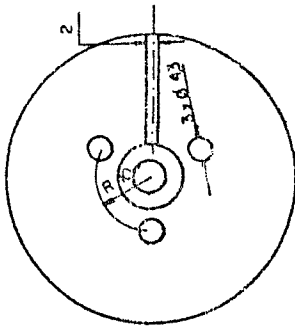
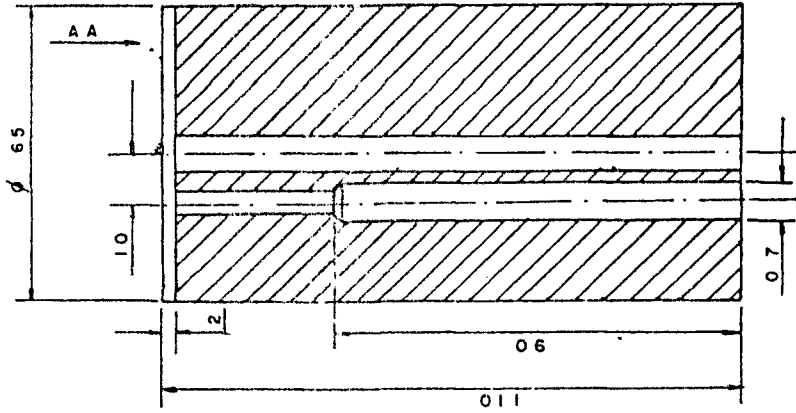


INSTITUTO DE ENER	
GIA ATOMICA A.F.T.R	
DATA	NOME
1 PEÇA DE AÇO 1020	



Nº7-8	NOME	MAT.	QUANT.	NOTAS
	PLUGE	TEFLON	01	

INSTITUTO DE ENERGIA ATOMICA_CEN_AFTR	
PLUGE	
ESC. 2.5:1	



INSTITUTO DE ENERGIA ATOMICA CEN AFTR	
DATA	NOME
	TAKEO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- {1} BAXI, C.B - Permeation Flow and heat transfer in the HTGR thermal barrier. Philadelphia, Pa., American Society of Mechanical Engineers, 1974. (ASME paper 74 - WA/HT-9).
- {2} BIKOV, V.N.; VOROHKOV, S.T.; DEKHTYAREV, V.L. - Experimental research on the effective thermal conduction of fibrous insulation in compressed gases. High Temperature, New York 10 (4): 707-12, Jul-Aug.1972.
- {3} BROCKERHOFF, P. - Insulation systems for the hot gas ducts of high temperature reactor and their behavior at high pressures and temperatures .J.Non - equilibrium thermodynamic, New York, V-3, 22/08/1977, pág. 231-44.
- {4} BROCKERHOFF, P. - A description of a Kohlestein - insulation and first results. Julich, Kernforschungsanlage, Institut für Reactor bavelemente, 1978 (palestra apresentada no I.E.A., em maio de 1978).
- {5} BROCKERHOFF, P. - Experiments on ceramic fibrous and rigid material. Julich, Kerforschungsanlage, Institut für Reactor bavelemente, May 1978, (palestra apresentada no I.E.A., em maio de 1978).
- {6} CALTAGIRONE, J.P. - Termoconvective instabilities in a porous medium bounded by two concentric horizontal cylinders. Fluid Mechanics (1976), vol.76, part 2 pp 337-362.
- {7} FURBER, B.N. & DAVIDSON, S. - The thermal performance of solid insulants in a high pressure gas enviroment. IN: Comission of the European Communities, Second information meeting on prestressed concrete pressure vessels and their thermal isolation, Brussels, 18-20 November, 1969 pág. 841-81. (EUR 4531 d/F/i/n/e).

- {8} HARTH, R. & HAMMECKE, K. - Thermodynamische Stoffwert von helium in Beriech von 0 bis 3000°C und 0,2 bis 200 bar. Julich, Kerforschungsanlage, Institut für Reactorbavelemente, Juni 1970 (JUL 666 RB).
- {9} HILSENATH, J; HOGE, H.J.; BECHETT, C.W.; MASI, J.F.; BENEDICT, W.S.; NUTTAL, R.L.; FANO, L.; TOULOUKIAN, Y.S. Table of thermodynamic and transport properties, Oxford, Perganonpress, 1960.
- {10} HOLST, P.H. & AZIZ, K. - A theoretical and experimental study of natural convection in a confined porous medium. The Canadian Journal of Chemical Engineering, vol.50, p.p. 232-241 April 1972.
- {11} Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Relatórios Internos do Centro de Engenharia Nuclear, São Paulo.
- {12} KONUK A.A. - Natural, Forced and Mixed Convection in Fibrous Insulation. Publicação I.E.A. - 503, CEN AFR 056.
- {13} KUEHN, T.H. & GOLDSTEIN, R.J. - An experimental and theoretical study of natural convection in the annulus between horizontal concentric cylinders. Journal of Fluid Mechanics, vol.74, part 4 pp 695-719.
- {14} TSEDEBERG, V.V.; POPOV, V.N.; MOROZOWA, N.A. - Thermodynamic and Thermophysical Properties of Helium - Jerusalém - Israel-1971.
- {15} WELTER, A.N.U. - Modelo Numérico de Isolação Térmica Interna tipo Fibras em Dutos de Gás Quente. (Tese de mestrado defendida no IPEN).