

BR8920806

ISSN 0101-3084

CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS DE PERDA DE PRESSÃO
TOTAL DURANTE A FASE DE REMOLHAMENTO

Roberto Longo Freitas

PUBLICAÇÃO IPEN 246

FEVEREIRO/1989

IPEN - PUB - 246

SÃO PAULO

**AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS DE PERDA DE PRESSÃO
TOTAL DURANTE A FASE DE REMOLHAMENTO**

Roberto Longo Freitas

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES

**CNEN/SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SÃO PAULO – BRASIL**

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

E32.00

BOILING
COMPARATIVE EVALUATIONS
LOSS OF COOLANT
PRESSURE DROP
PWR TYPE REACTORS
TWO-PHASE FLOW
VOID FRACTION

IPEN - Doc - 3252

Publicação aprovada pela CNEN em 30/08/88.

Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).

AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS DE PERDA DE PRESSÃO TOTAL DURANTE A FASE DE REMOLHAMENTO*

Roberto Longo Freitas

RESUMO

Este trabalho objetiva fazer uma comparação teórica-experimental dos resultados de perda de pressão total durante a fase de remolhamento de um Acidente de Perda de Refrigerante Primário.

Verificou-se desta avaliação que os modelos de fração de vazio e de perda de pressão em escoamento bifásico, incluindo a influência da ebulição sub-resfriada e da configuração do escoamento, não permitem prever com uma precisão satisfatória os resultados experimentais obtidos. Esta diferença se deve ao fato de que os modelos disponíveis são estabelecidos, na sua grande maioria, para condições diferentes daquelas do remolhamento.

ANALYSIS OF THE REFLOODING PRESSURE DROP MEASUREMENTS

ABSTRACT

These work draw a theoretical-experimental comparison from the total pressure drop results during the reflooding phase of a loss of coolant accident of a PWR. It was verified from this evaluation that the void fraction and the pressure drop models for the two-phase flow, including the subcooled boiling influence and the flow configuration, don't permit a satisfactory prediction of the experimental data.

These differences can occur from the fact that the existing models are established, the majority, for the different conditions than those for the reflooding events.

(*) Trabalho apresentado no II Congresso Geral de Energia Nuclear, realizado no Rio de Janeiro, de 24 a 29 de Abril de 1988.

1. OBJETIVO

O conjunto dos trabalhos experimentais que foram realizados até o presente momento no domínio da fase de remolhamento tem mostrado que os parâmetros que influenciam a refrigeração do núcleo, para uma dada potência residual são: a pressão média no núcleo do reator, a temperatura inicial dos elementos combustíveis, a temperatura da água de resfriamento na entrada do núcleo e a vazão mássica da água chegando efetivamente nos elementos combustíveis. Assim, de uma maneira particular, este trabalho objetiva avaliar as medidas de perda de pressão total durante a fase de remolhamento através dos resultados obtidos na experiência ERSEC comparando-as com os modelos teóricos de fração de vazio e de perda de pressão em escoamento bifásico, incluindo a influência da ebulição sub-resfriada e da configuração de escoamento.

2. CIRCUITO EXPERIMENTAL ERSEC

O circuito experimental ERSEC (Étude de Refroidissement de Secours des Elements Combustibles) [1] permite estudar a eficiência dos sistemas de refrigeração de segurança em diferentes tipos de seção de testes durante a fase de remolhamento, conforme mostrado na figura 1.

A tabela 1 apresenta as condições operacionais da experiência ERSEC cujos parâmetros essenciais são mantidos constantes ao longo de cada transiente. As principais medidas efetuadas são: vazão mássica de água de injeção de resfriamento, fluxo de calor térmico, temperatura da água na entrada da seção de testes, temperatura da parede dos elementos aquecidos e perda de pressão ao longo do canal.

Tabela 1 - Faixa operacional da experiência ERSEC.

velocidade mássica da água	$G = 2 - 5 - 8 - 12 \text{ g.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$
fluxo de calor	$\phi = 3 - 5 - 7 \text{ W.cm}^{-2}$
sub-saturação da água	$\Delta T_{\text{sub}} = T_{\text{sat}} - T_{\text{ent}} = 20 - 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$
pressão	$p = 1 - 3 - 6 \text{ bar}$
temperatura inicial da parede	$T_p = 300 - 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$

As medidas de perda de pressão foram efetuadas em regime permanente assim que a fase de remolhamento é terminada. A seção de teste é constituída de um tubo em inconel, de diâmetros 12x14 mm, aquecida por efeito Joule e cuja distribuição axial de potência é uniforme. Tendo em vista que o modo de aquecimento não permite medir a evolução axial de pressão em condições satisfatórias, a medida da perda de pressão do escoamento foi efetuada entre a entrada e a saída da seção de testes para diferentes comprimentos aquecidos, conforme mostrado na tabela 2.

3. COMPARAÇÃO TEÓRICA-EXPERIMENTAL

Para avaliar os resultados de perda de pressão total obtidos na experiência ERSEC, os seguintes modelos foram utilizados após uma escolha judiciosa de acordo com a referência |2|:

- 1 - Ponto de geração franca de vapor: O modelo de Saha e Zuber |3| foi escolhido devido a levar em conta um grande número de resultados experimentais, particularmente para os valores do número de Peclet próximos as condições de interesse (fracos fluxo de calor, pressão e vazão mássica).
- 2 - Fração de vazio: A fração de vazio foi calculada com o modelo de Zuber, Staub e Bijwaard |4| (Modelo "Drift Flux"). Os valores do parâmetro de distribuição C_0 e da velocidade de deriva ponderada do vapor V_{gj} utilizados no modelo estão apresentados na tabela 3 para os diferentes regimes de escoamento. É importante ressaltar que C_0 e V_{gj} foram mantidos constantes (mesmo regime de escoamento) desde a aparição do ponto de geração franca de vapor até a saída da seção de testes. Cálculos foram igualmente efetuados com o parâmetro de distribuição proposto por Dix |5|. A fração de vazio também foi calculada com o modelo de Yamazaki e Yamaguchi |6|.
- 3 - Configuração do escoamento: O modelo analítico de Dukler e Taitel |7| foi utilizado para a transição do regime pistonado-anular.
- 4 - Perda de pressão total: O cálculo de perda de pressão total foi efetuada com os modelos homogêneo e a fase separada |2|.

Tabela 2 - Condições operacionais para as medidas de perda de pressão na experiência ERSEC.

Pressão (bar) : $\begin{matrix} 1 & - & 3 & - & 6 \\ x & & c & & \Delta \end{matrix}$

Comprimento aquecido (mm)				Parâmetros		
1017	2130	2730	3325	G (g cm ⁻² s ⁻¹)	ϕ (W cm ⁻²)	ΔT_{sub} (°C)
x Δ	x Δ	x Δ	x Δ	2	3	80
xo Δ	xo Δ	xo Δ	xo Δ	2	3	20
x	x	x	x	5	3	80
x	x	x	x	5	3	20
x	x	x	x	8	3	80
x	x	x	x	8	3	20
x	x			12	3	80
xo Δ	xo Δ	xo Δ	xo Δ	12	3	20
xo Δ	xo Δ	xo Δ		2	5	80
xo Δ	xo Δ	xo Δ	xo Δ	5	5	80
xo Δ	xo Δ	xo Δ	xo Δ	5	5	20
x	xo Δ	xo Δ	xo Δ	8	5	80
xo Δ	xo Δ	xo Δ	xo Δ	8	5	20
x	xo Δ	xo Δ	xo Δ	12	5	80
xo Δ	xo Δ	xo Δ	xo Δ	12	5	20
x	x	x	x	5	7	80
x	x	x	x	5	7	20
xo Δ	xo Δ	xo Δ	xo Δ	8	7	80
xo	x	xo	xo	8	7	20
xo	xo	xo	xo	12	7	80
xo	x	xo	xo	12	7	20

Tabela 3 - Valores de C_o e V_{gj} utilizados na comparação cálculo-experiência.

Regime de Escoamento	Turbulento	Pistonado	Anular	Homogêneo
C_o	1,13	1,2	1,0	1,0
V_{gj}	$1,18 \left[\frac{g\sigma\Delta\rho}{\rho_\ell^2} \right]^{1/4}$	$0,56 \left[\frac{g\Delta\rho D_h}{\rho_\ell} \right]^{1/2}$	$23 \left[\frac{\mu_\ell V_{ent}}{\rho_g D_h} \right]^{1/2} \frac{\Delta\rho}{\rho_\ell}$	0,0

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As figuras 2.1 a 2.3 comparam as perdas de pressão calculadas com os resultados experimentais mostrando que:

- (i) Os valores calculados com o modelo homogêneo, figuras 2.1-a, 2.1-b e 2.1-c, que superestima a fração de vazio, são, como era de se esperar, largamento inferiores aos valores experimentais, isto é, 30 a 70% quando a pressão varia de 1 a 6 bar.
- (ii) O modelo de Yamazaki e Yamaguchi subestimam a perda de pressão quando associado ao multiplicador de atrito do regime pistonado, figuras 2.1-d, 2.2-a e 2.2-b, a saber, 70 a 30% quando a pressão varia de 1 a 6 bar. A utilização do multiplicador de atrito anular melhora um pouco os resultados, isto é, variando de +30 a -20% à pressão atmosférica e subestimando os resultados por volta de 40% para pressões de 3 a 6 bar, conforme mostrado nas figuras 2.2-c, 2.2-d e 2.3-a.
- (iii) O modelo "Drift Flux", figura 2.3-b a 2.3-d, fornece resultados sensivelmente melhores, porém a diferença entre o cálculo e os resultados experimentais chegam ainda a atingir valores elevados, conforme mostrada na tabela 4. Assim, relativamente aos resultados analisados com este modelo pode-se resumir que:

- os modelos "Drift Flux" turbulento e pistonado subestimam sistematicamente a perda de pressão,
- o modelo anular considera particularmente mal o efeito de pressão,
- que a modificação do parâmetro de distribuição proposto por Dix não melhora sensivelmente os resultados, exceto para o regime anular quando a pressão é diferente de 1 bar.

Tabela 4 - Desvio máximo obtido com o modelo "Drift Flux".

* mesma ordem de grandeza para 3 bar.

Regime p (bar)	Turbulento	Pistonado	Anular	Pistonado Dix	Anular Dix
1	- 35%	- 25%	+ 25%	- 50%	+ 35%
6	- 20%	- 15%	- 20%	- 20%	+ 6% - 10% *

- (iv) Finalmente, os cálculos efetuados utilizando-se das cartas de regime de escoamento de Dukler e Taitel não trouxeram nenhum melhoramento decisivo aos resultados.

5. CONCLUSÕES

Uma avaliação entre o cálculo e a experiência foi realizada a partir das medidas globais de perda de pressão total efetuada na experiência ERSEC em um tubo de diâmetro hidráulico próximo do diâmetro hidráulico de um elemento combustível de reatores a água leve pressurizada.

A comparação das perdas de pressão calculadas relativamente aos resultados experimentais mostram que os modelos simplificados examinados não permitem fazer previsões com uma precisão satisfatória. Isto advém do fato de que os modelos de fração de vazio, ebulição sub-resfriada e perda de pressão total disponíveis são estabelecidos, na sua grande maioria, para as condições próximas das condições nominais de funcionamento dos reatores nucleares. Assim, um esforço maior deve ser feito,

do ponto de vista da modelagem, visando melhorar os conhecimentos para as baixas pressões, fracos fluxos de calor e velocidade mássicas que constituem as condições reais do remolhamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- | 1 | ANDREONI, D. Échanges thermiques lors de renoyage d'un coeur de reacteur à eau dans le cadre de l'accident de reference. Grenoble, France 1975. (Thèse de Docteur Ingénieur, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, Institut National Polytechnique de Grenoble).

- | 2 | FREITAS, R.L. Hydrodynamique des écoulements eau-vapeur dans la zone remouillée d'un tube chauffante en renoyage. Grenoble, France, 1981. (Thèse, de Docteur Ingénieur, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, Institut National Polytechnique de Grenoble).

- | 3 | SAHA, P. & ZUBER, N. Point of net vapor generation and vapor void fraction in subcooled boiling. In: HEAT transfer conference: proceedings of the 5th International ... held in Tokyo, 1974. v.4. p. 175-179.

- | 4 | ZUBER, N.; STAUB, F.W.; BIJWAARD, G. Vapor void fraction in subcooled boiling and in saturated boiling systems. In : HEAT transfer conference: proceedings of the 3rd International ... held in Chicago, 1966. v.5. p. 24-38.

- | 5 | DIX, G.E. Vapor void fractions for forced convection with subcooled boiling at low flow rates. Berkeley, 1971. (Ph.D. Thesis, University of California, USA).

- | 6 | YAMAZAKI, Y. & YAMAGUCHI, K. Void fraction correlation for boiling and non-boiling vertical two-phase flows in tube. J. Nucl. Sci. Technol., 15 : 701-7, 1976.
- | 7 | DUKLER, A.E. & TAITEL, Y. Flow regime transitions for vertical upward gas liquid flow. A preliminary approach through physical modelling. 1977. (NUREG - 0162/NRC-2).

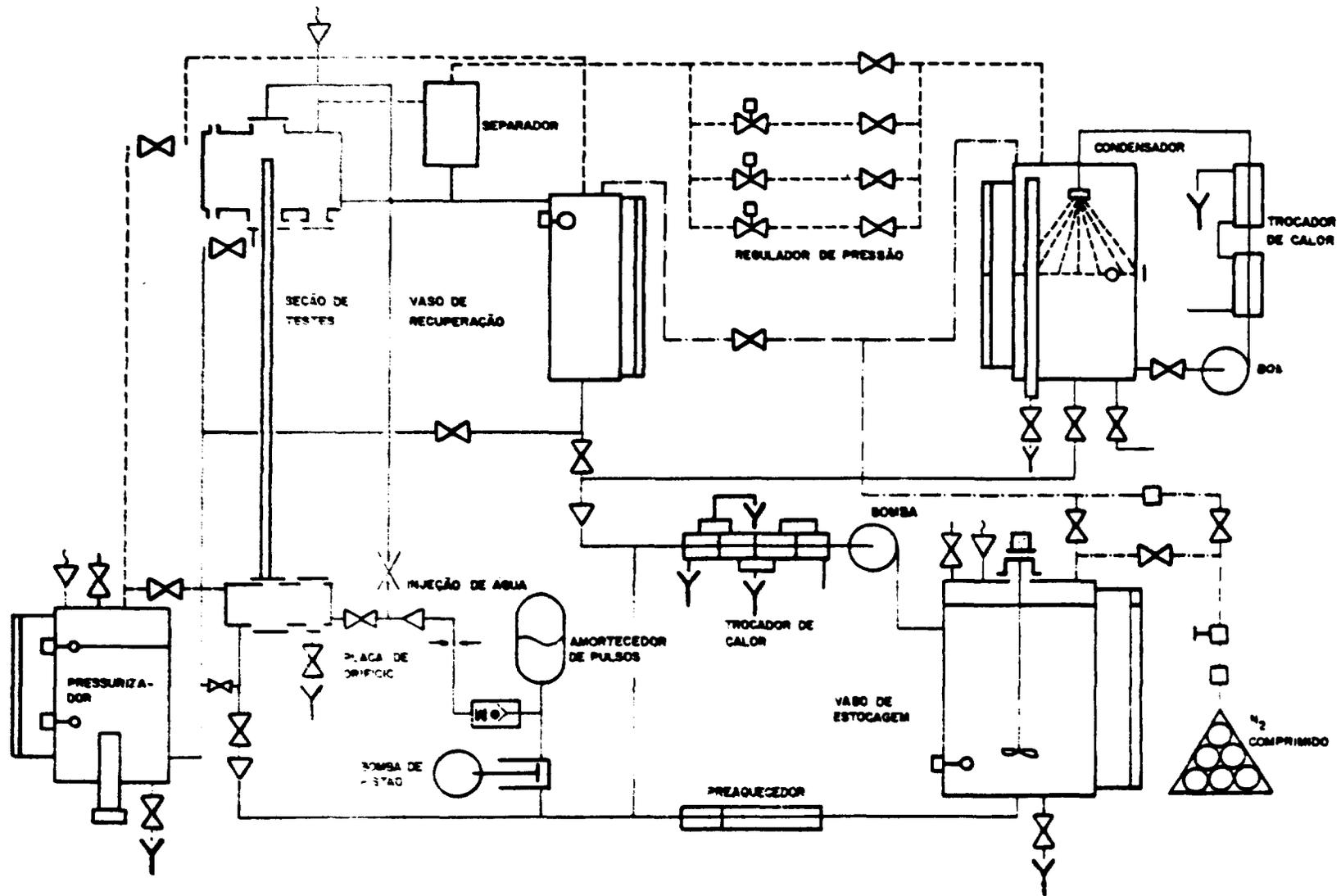


FIGURA 1: PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA EXPERIÊNCIA ER SEC.

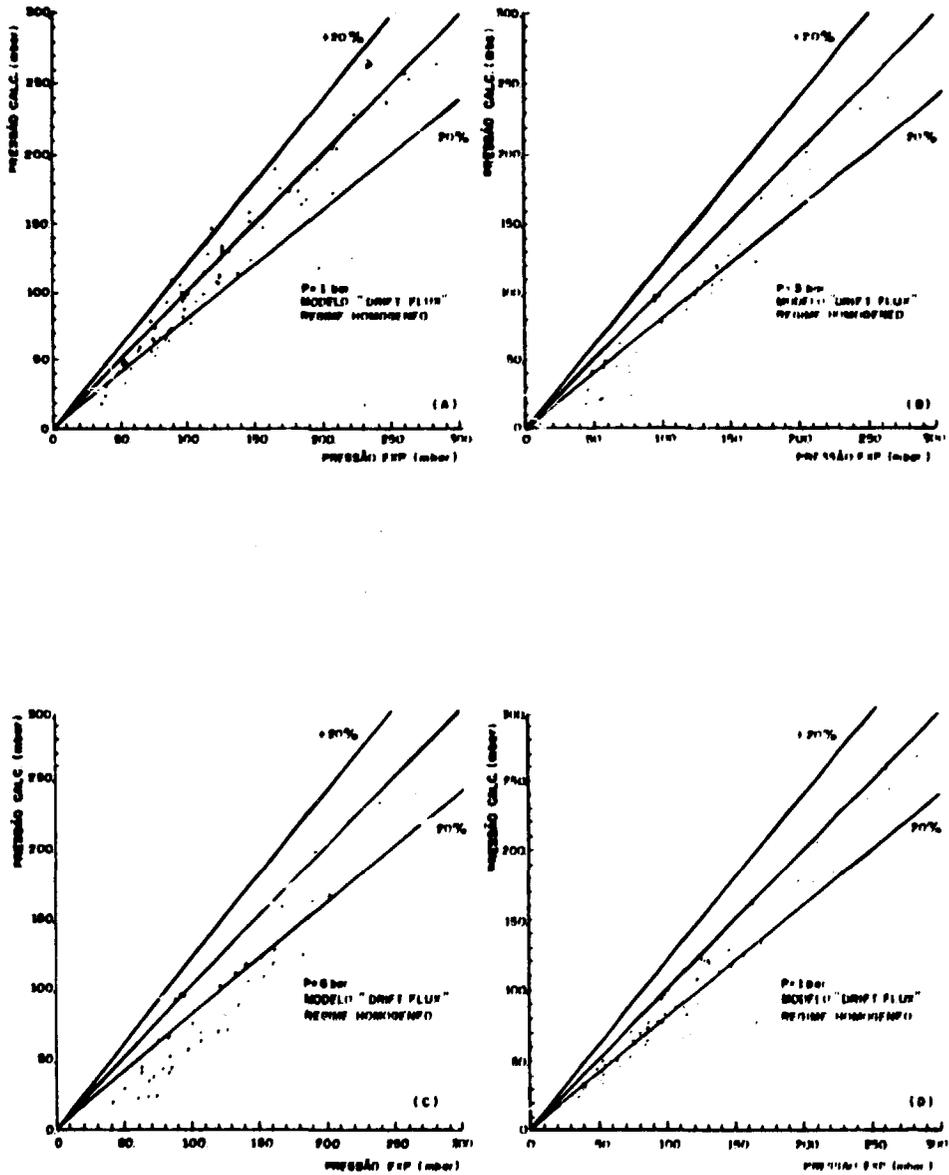


FIGURA 2.1 - COMPARAÇÃO ENTRE A PERDA DE PRESSÃO TOTAL CALCULADA E EXPERIMENTAL.

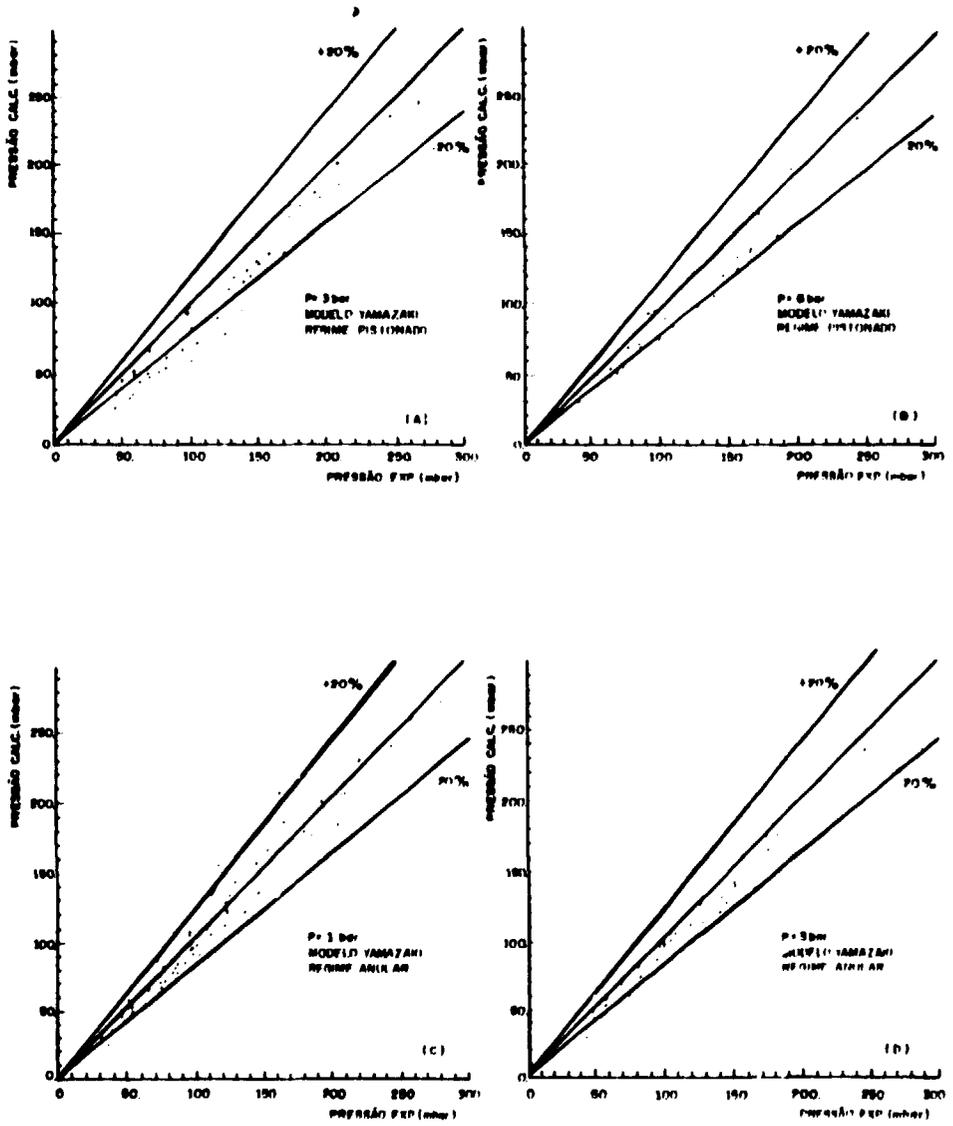


FIGURA 2 2- COMPARAÇÃO ENTRE A PERDA DE PRESSÃO TOTAL CALCULADA E EXPERIMENTAL.

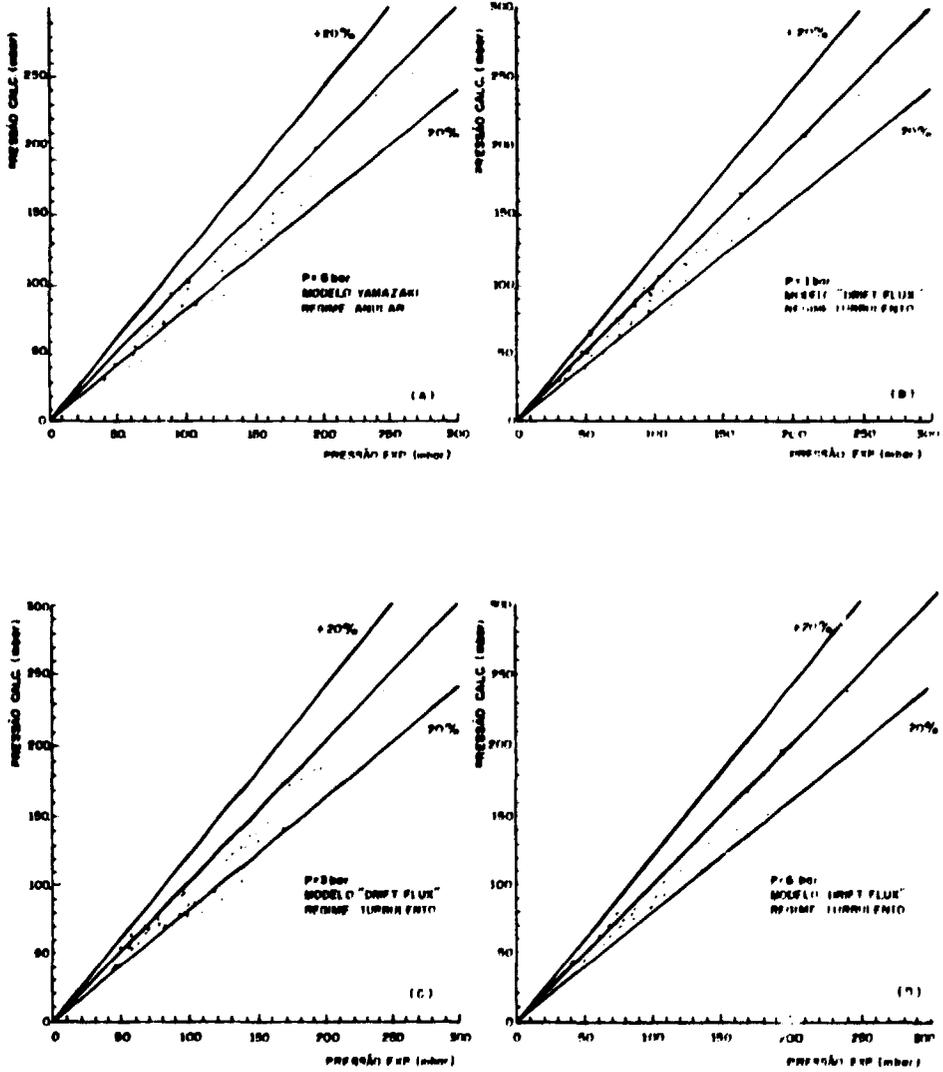


FIGURA 23 - COMPARAÇÃO ENTRE A PERDA DE PRESSÃO TOTAL CALCULADA E EXPERIMENTAL.