

BR9024016

ISSN 0101-3084

**CNEN/SP**

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

**UM MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE  
AMORTECIMENTO DE QUEDA DO ELEMENTO DE  
CONTROLE PARA REATORES DO TIPO PWR**

**Carlos Eduardo Trindade, João Roberto Loureiro de Mattos e  
José Augusto Perrotta**

IPEN-PUB -- 187

**PUBLICAÇÃO IPEN 187**

**AGOSTO/1988**

**SÃO PAULO**

**UM MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE AMORTECIMENTO DE  
QUEDA DO ELEMENTO DE CONTROLE PARA REATORES DO TIPO PWR**

**Carlos Eduardo Trindade, João Roberto Loureiro de Mattos e José Augusto Perrota**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES**

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

**Série PUBLICAÇÃO IPEN**

**INIS Categories and Descriptors**

**E 24.00**

**CONTROL ELEMENTS  
DAMPING  
PWR TYPE REACTORS**

---

**IPEN - Doc - 3059**

**Publicação aprovada pelo CNEN em 17.10.87**

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

UM MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE AMORTECIMENTO DE QUEDA  
DO ELEMENTO DE CONTROLE PARA REATORES DO TIPO PWR \*

Carlos Eduardo Trindade, João Roberto Loureiro de Mattos e  
José Augusto Perrotta

RESUMO

Foi desenvolvido um método para a determinação do sistema de amortecimento de queda do elemento de controle (tubo amortecedor/tubo guia). É apresentado um modelo teórico, uma montagem experimental e os procedimentos para a caracterização desse sistema, utilizado em reatores do tipo PWR.

A METHOD TO DETERMINE THE DAMPENING SYSTEM OF A CONTROL  
ROD DROP MECHANISM FOR PWR REACTORS

ABSTRACT

A method to determine the Control Assembly dampening drop system (dashpot/guide tube) was developed. It's presented a theoretical model, an experimental device and the procedures to determine this system, which is used in PWR reactors.

1. INTRODUÇÃO

Em situações acidentais ou de desligamento do reator, o elemento de controle é liberado do seu mecanismo de acionamento, inserindo-se rapidamente no elemento combustível.

Para que a sua velocidade final de impacto, no topo do elemento combustível, não ultrapasse valores permitidos por projeto, é necessário um sistema de amortecimento. Este sistema consiste basicamente, de um tubo de menor diâmetro, colocado na extremidade inferior do tubo guia, de forma a prover um amortecimento hidráulico. Além deste tubo, existem furos do tubo guia, que permitem a refrigeração da vareta de controle, na condição de inserção, e servem de calibradores da velocidade de queda do elemento de controle.

Para caracterização deste sistema, desenvolveu-se um procedimento de seleção, que consta de um modelo teórico e de uma montagem experimental, descritos a seguir.

(\*) Trabalho apresentado no 2º Congresso Geral de Energia Nuclear, realizado no Rio de Janeiro, de 24 a 29 de abril de 1988.

## 2. MODELO TEÓRICO

A equação de movimento é dada por:

$$(M + m) \cdot \frac{dv}{dt} = P - E - A - V \quad (1)$$

onde M ... massa da vareta

m ... massa virtual da vareta devido à aceleração do fluido

v ... velocidade da vareta

P ... peso da vareta

E ... empuxo

A ... força de arraste nas varetas

V ... força de atrito viscoso entre a vareta e a água circundante.

Assumindo-se que todas as forças hidráulicas (força de arraste na vareta, atrito viscoso, etc) são proporcionais ao quadrado da velocidade da vareta, a equação (1) pode ser reescrita sob a forma:

$$\frac{dv}{dt} = C_1 - C_2 v^2 \quad (2)$$

a solução desta equação é:

$$v^2 = \frac{C_1}{C_2} (1 - e^{-2 C_2 z}) \quad (3)$$

com z sendo a distância percorrida pela vareta dentro do tubo guia.

(quando a vareta atinge o tubo amortecedor, deve haver um aumento na componente do atrito, pois tem-se um pequeno espaço entre a vareta e o tubo guia. Desta forma, a força de atrito será composta por dois termos: um referente a parte da vareta que está inserida no tubo amortecedor e outro termo relativo a parte da vareta que está acima do tubo amortecedor. A equação (2) deve ser modificada, resultando:

$$\frac{dv}{dt} = C_1 - C_2 v^2 - C_3 z' v^2, \quad (4)$$

onde z' é a distância que a vareta percorre dentro do tubo amortecedor. A solução desta equação é:

$$v^2 = v_0^2 \exp(-2C_2 z' - C_3 z'^2) + 2C_1 \exp(-2C_2 z' - C_3 z'^2) \int_0^{z'} \exp(2C_2 z + C_3 z^2) dz, \quad (5)$$

com  $v_0$  sendo a velocidade de inserção no tubo amortecedor (calculada através da equação (3)).

A equação (5) só pode ser resolvida através de métodos numéricos, sendo que ela fornece a velocidade da vareta em qualquer ponto dentro do tubo amortecedor.

Este modelo teórico é simplificado, pois não mostra explicitamente a influência da furação do tubo guia e do tampão inferior, na velocidade de queda da vareta. Sendo estes parâmetros, dependentes do detalhamento mecânico de cada projeto.

Para se obter os coeficientes ( $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ ) das equações (2) e (4), são necessários experimentos.

### 3. MONTAGEM EXPERIMENTAL

Foi projetada e construída uma montagem experimental, operando em condições ambientais, que simula a queda do elemento de controle, através de uma única vareta (Figura 1). Os critérios básicos dessa bancada são:

- dimensões do modelo iguais às dimensões reais;
- fração em massa dos elementos que atuam na queda, reproduzida de forma proporcional no modelo experimental (massa do elemento de controle/ $n^2$  de varetas);
- diferenças operacionais de pressão e temperatura, corrigidas pela relação entre densidades.

O sistema de medição, consiste de um faiscador, que marca pontos em uma fita termosensível, em intervalos constantes de 1/60 segundos, durante o percurso da vareta.

As fitas obtidas reproduzem a curva espaço x tempo da queda da vareta, podendo-se avaliar o tempo total de queda e a velocidade final de impacto, bem como a influência do detalhamento mecânico (dimensões do tubo e furação) sobre estes parâmetros.

### 4. RESULTADOS DAS MEDIDAS

Para cada experimento são feitas várias repetições de medidas para se ter uma boa base estatística. A Figura 2 exemplifica os pontos obtidos experimentalmente, para uma dada configuração geométrica, do espaço percorrido x tempo de queda. São colocados na figura os pontos correspondentes aos valores calculados da velocidade e aceleração e as curvas ajustadas segundo as equações (3) e (5).

### 5. PARAMETRIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

A fim de melhor entendimento do sistema de amortecimento, verificou-se experimentalmente a influência de algumas características ( como massa da vareta, vazão de água, etc ) na velocidade final de impacto da vareta. Sendo assim, observou-se que um aumento de 1% no valor da vazão acarreta uma redução de 0,06% na velocidade final de impacto da vareta;

já para a massa da vareta, verificou-se que a cada 1% de aumento tem-se um aumento na velocidade final correspondente a 0,5%. Notou-se ainda, um aumento de 0,13% na velocidade final de impacto da vareta para um acréscimo de 1% na área de passagem de água da furação feita no tubo guia (furos com o mesmo diâmetro).

## 6. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Determinar o sistema de amortecimento tubo amortecedor/tubo guia, significa definir a altura e o diâmetro do tubo amortecedor; o diâmetro do furo do tampão inferior de fechamento do tubo guia e o número, diâmetro e posição dos furos do tubo guia.

A partir dos resultados da montagem experimental e do detalhamento mecânico do elemento combustível, define-se as alturas máxima e mínima possíveis do tubo amortecedor. Estas alturas, delimitam a região de seleção do sistema amortecedor (ver Figura 3).

O diâmetro do furo do tampão inferior, não deve produzir aceleração adicional na queda do elemento de controle e ser de fácil fabricação. Para os testes realizados utilizou-se um diâmetro de 1,0 mm.

Os furos do tubo guia devem ter uma área comparável à estabelecida pelo diâmetro externo da vareta absorvedora e diâmetro interno do tubo guia, na condição de inserção, sendo o diâmetro e número desses furos escolhidos de forma a não comprometer a resistência mecânica do tubo guia.

A velocidade máxima permitida no experimento deve ser a velocidade máxima de impacto estabelecida por projeto, pois o elemento de controle possui uma mola helicoidal, projetada para absorver uma energia específica de impacto. Para os reatores do tipo PWR, a velocidade máxima permitida é da ordem de 1,0 m/s, sendo este o principal critério para a de terminação do sistema de amortecimento.

Como a montagem experimental opera a pressão e temperatura ambiente, os resultados devem ser corrigidos para as condições operacionais. Esta correção é feita pelas densidade, sendo que o valor de velocidade máxima perseguido no experimento vale:

$$V_{exp} = V_{proj} \cdot F_1 \cdot F_2 \quad (6)$$

onde  $V_{exp}$  ... velocidade buscada no experimento,

$V_{proj}$  ... velocidade máxima de impacto permitida,

$F_1$  ... fator de correção devido às diferenças de densidade,

$F_2$  ... margem para ajustes.

Como pode ser visto na Figura 3, o encontro da linha traçada a partir de  $V_{exp}$ , com a linha de altura do tubo amortecedor, estabelece o diâmetro interno deste tubo.

Desta forma, a região de seleção do sistema de amortecimento fica compreendida entre as linhas de altura máxima e mínima do tubo amortecedor.

dor com a interseção da linha de Vexp máximo (Figura 3). Nesta região, conforme a conveniência de fabricação e montagem, pode-se escolher as alturas e diâmetros do tubo amortecedor.

## 7. CONCLUSÕES

O modelo teórico apresentado é útil para a compreensão do problema e para o conhecimento dos fatores que têm influência na queda do elemento de controle. Todavia, não é suficiente para um detalhamento de projeto, pois alguns parâmetros influentes acham-se embutidos nas constantes, não podendo ser explicitados separadamente.

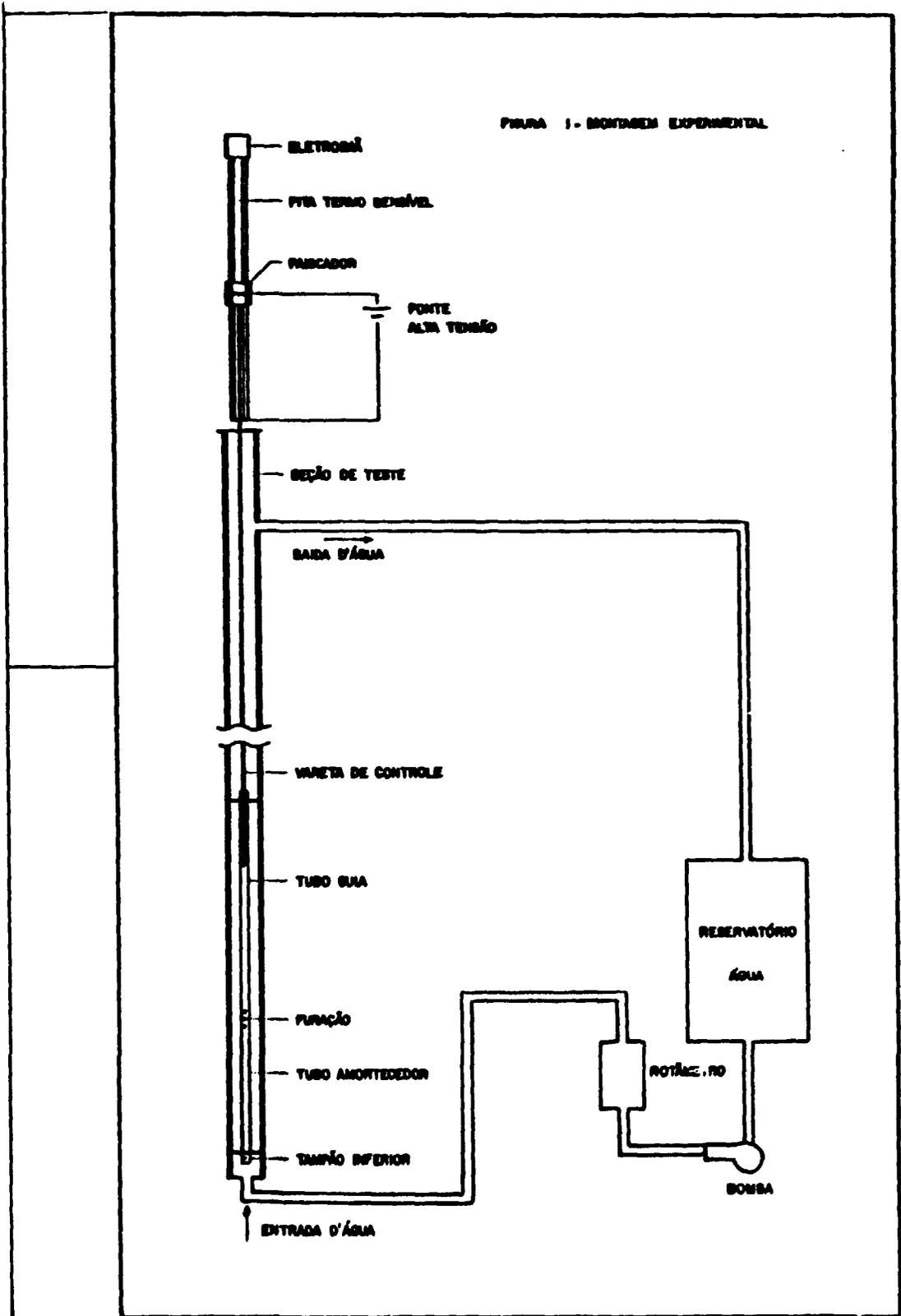
Sendo assim, para a definição desse sistema é necessário realizar um programa de experimentos, com equipamentos e procedimentos, semelhantes aos descritos anteriormente.

Outros aspectos observados, que servem como orientação na definição desse sistema, são:

- O furo do tampão inferior do tubo guia, não se destina a proporcionar uma vazão exata para o resfriamento da vareta de controle. Justifica-se no sentido de garantir a circulação de refrigerante na porção do tubo amortecedor, evitando uma região de possível estagnação e formação de um fluxo bi-fásico;
- Os furos do tubo guia calibram a velocidade de inserção da vareta no tubo amortecedor, ou seja, para diferentes diâmetros de tubo amortecedor a velocidade de inserção da vareta é constante, o mesmo não ocorrendo com o tubo guia sem furação;
- Dentro de uma faixa de velocidades de inserção da vareta no tubo amortecedor, a velocidade de impacto permanece constante (mantendo o furo do tampão do tubo guia constante). Acima de um determinado valor, na medida em que a vareta penetra com maior velocidade, nota-se um aumento da velocidade de impacto. Este valor de transição, para os sistemas estudados, está em torno de 3,0 m/s.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DONIS, J.M. & GOLLER, H. A mathematical model of a control rod drop. Nucl. Eng. Des., 23:107-20, 1972.
2. TONG, L.S. & WEISMAN, J. Thermal analysis of pressurized water reactors. Hinsdale, American Nuclear Society, 1970.



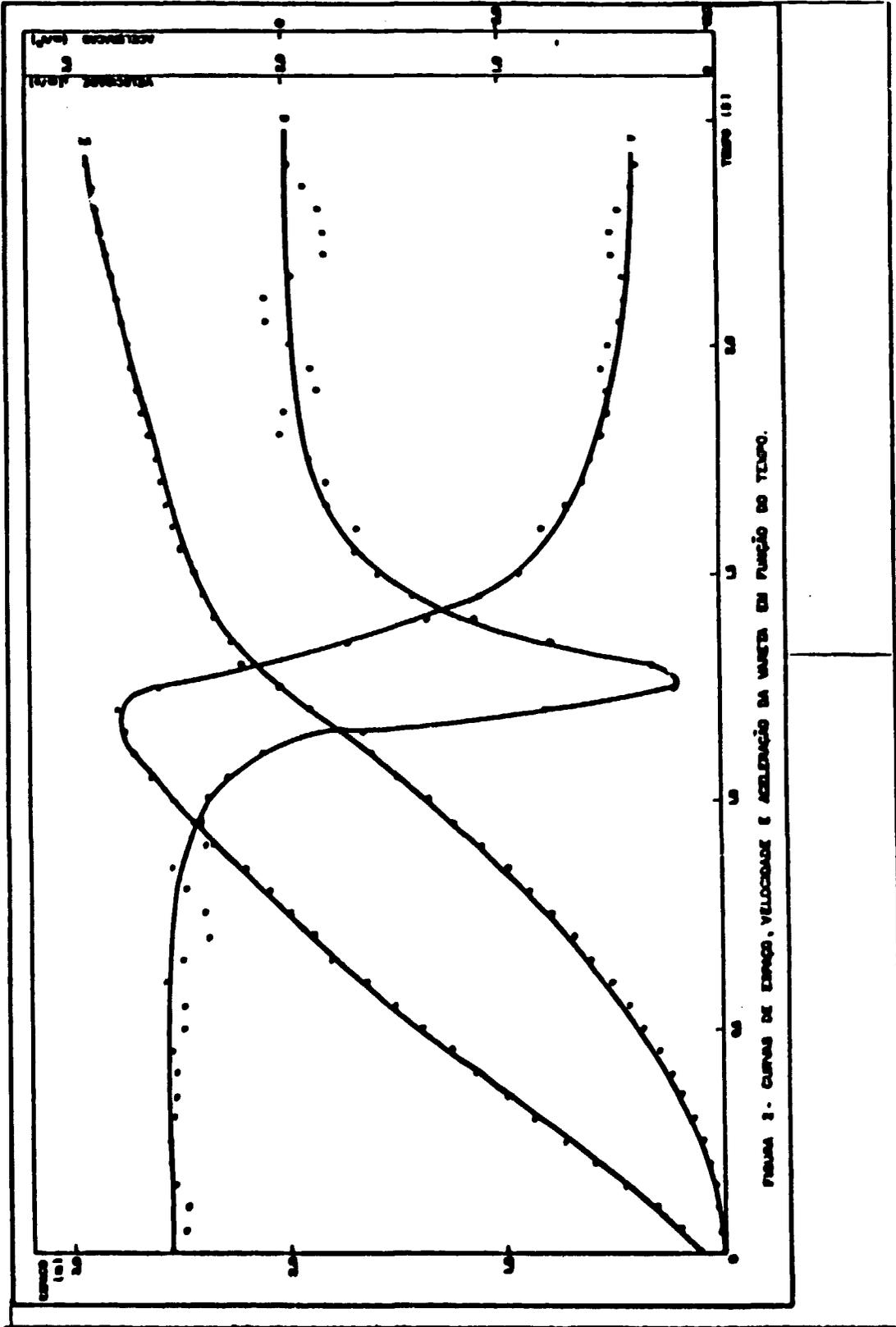


FIGURA 1. CURVAS DE ESPAÇO, VELOCIDADE E ACELERAÇÃO DA MANTA EM FUNÇÃO DO TEMPO.

