

ESTUDO EXPERIMENTAL DA SEPARAÇÃO GRAVITACIONAL EM  
SEPARADORES DE VAPOR OPERANDO COM MISTURA ÁGUA - AR

WALMIR MAXIMO TORRES - IPEN/CNEN

AMIR CAMILO ABRAHIM ASSAD (\*) - COPESP

RESUMO

Este trabalho consiste no estudo experimental da influência da separação gravitacional no desempenho de separadores de vapor de pás axiais utilizados em geradores de vapor de usinas do tipo PWR. As experiências foram realizadas em um circuito onde a mistura água-vapor é simulada através de uma mistura água-ar, onde é possível obter velocidades de água até 1,1 m/s e de ar até 17 m/s. Significativa contribuição para a eficiência de separação foi verificada ser causada pela parcela gravitacional.

INTRODUÇÃO

Títulos mássicos ( $x$ ) da ordem de 25% são frequentes na região acima dos tubos em U de geradores de vapor de usinas nucleares do tipo PWR [1]. Mistura de ar-vapor nestas condições produzem títulos volumétricos ( $\beta$ ) da ordem de 80% e deve passar por um processo de separação e secagem do vapor antes de ser remetido para expansão nas turbinas. Dois aspectos são importantes na busca de uma melhoria no processo de separação, ou sejam, minimização da degradação da turbina por problemas de erosão e corrosão, envio da maior quantidade possível de vapor para as turbinas, aumentando assim a eficiência do equipamento e conseqüentemente da planta. Por exemplo, 1% de água presente na mistura que é remetida para a turbina provoca uma queda de 7% na eficiência do equipamento [2]. Por este motivo, o processo de separação tem despertado grande interesse entre os fabricantes de equipamentos de troca de calor em países como Estados Unidos, França e Japão. A compreensão dos mecanismos de separação é um passo importante para a melhoria do rendimento dos separadores de vapor.

A separação da mistura água-vapor geralmente é realizada em estágios: separação primária ou principal e separação gravitacional. A separação primária é promovida pelos separadores de vapor, que de uma forma geral provocam uma rotação na mistura, fazendo com que a fase mais pesada seja separada por ação das forças centrífugas, enquanto que a separação gravitacional se processa por ação das forças de gravidade, que atuam principalmente na fase líquida não separada pela separação primária, na região entre a saída dos separadores e entrada dos secadores.

MONTAGEM EXPERIMENTAL

As experiências foram realizadas em um circuito desenvolvido para estudos de separadores de vapor, que simula a mistura água-vapor através de uma mistura água-ar com pressões levemente acima da pressão atmosférica ( $< 0.3$  MPa). Velocidades de água (J1) na faixa de 0 a 1,1 m/s e de ar (J2) entre 0 e 17 m/s podem ser obtidas no separador de vapor. A figura (1) mostra um esquema do circuito experimental com seus equipamentos e instrumentos. Transdutores de pressão e termômetros foram utilizados para medir pressão e temperatura, visando a correção da vazão volumétrica do ar na mistura devido a sua compressibilidade. A eficiência de separação é medida através da relação entre a vazão de água medida no tanque de "carry-over" e a vazão de água que está entrando no separador. A figura (2) mostra um típico gerador de vapor do tipo tubo em U com os principais componentes e os tipos de escoamento que ocorrem no seu lado secundário.

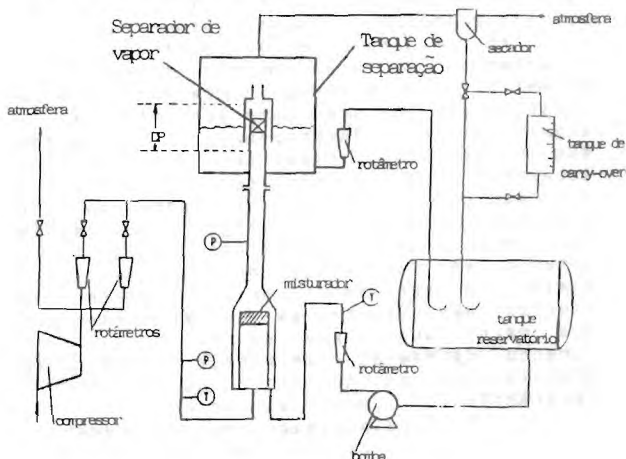


Figura (1) - Desenho esquemático do circuito experimental

(\*) Endereço atual  
Nuclear Eng. & Eng. Physics Dept.  
Rensselaer Polytechnic Institute  
Troy NY 12180 USA

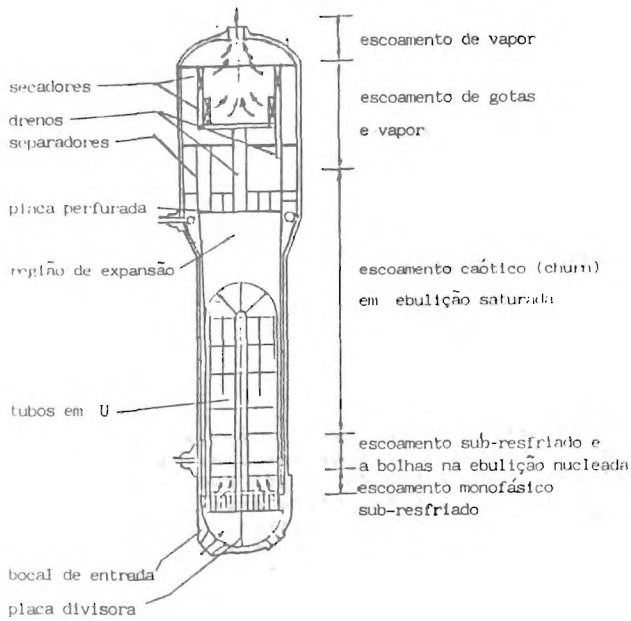


Figura ( 2 ) - Componentes típicos de um gerador de vapor e os regimes de escoamento.

### RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Basicamente 2 tipos de experiência foram realizados para avaliar a contribuição da separação gravitacional na separação da mistura, ou sejam, experiência utilizando um duto para ligar a saída do separador de vapor a saída do tanque de separação (avaliação da separação primária) e experiência sem o duto (avaliação da separação primária + gravitacional). A porção da fase líquida não separada é enviada para um secador do tipo placa corrugada que retira esta fase e descarrega no tanque de "carryover" graduado. Com o auxílio de um cronômetro obtém-se a taxa de líquido não separado, e o rendimento de separação é obtido pela relação entre a taxa de líquido admitido no separador menos a taxa de líquido não separado, dividido pela taxa de líquido admitido. Três níveis de afogamento no tanque de separação foram testados para avaliar a influência deste parâmetro.

As figuras (3-11) apresentam os resultados de rendimento primário e primário + gravitacional, mostrando que a contribuição da separação gravitacional é significativa. Observa-se destas figuras que o aumento do nível de afogamento do separador atua no sentido de diminuir o rendimento, fato já esperado, pois o separador trabalhando afogado apresenta maior dificuldade na separação primária. O aumento da velocidade do líquido ( $J_l$ ) diminui o rendimento pois a parte do líquido não separada sai do separador com uma maior quantidade de movimento. O tamanho da região onde ocorre a separação gravitacional age no sentido de aumentar o rendimento (3), porém, vai de encontro com a filosofia de projeto de equipamentos cada vez mais compactos. Nenhuma variação no tamanho desta região foi realizada neste trabalho.

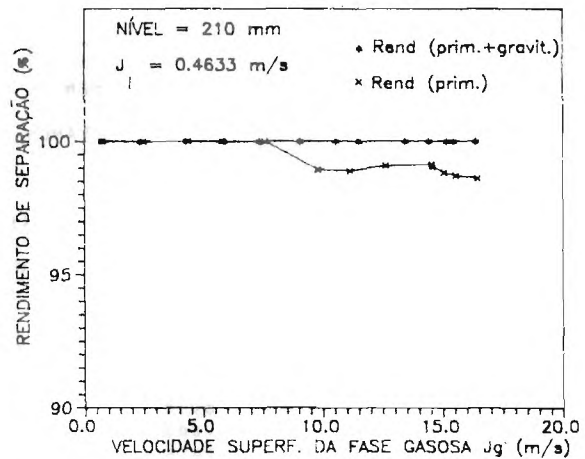


Fig.( 3 ) - Resultados de rendimento de separação

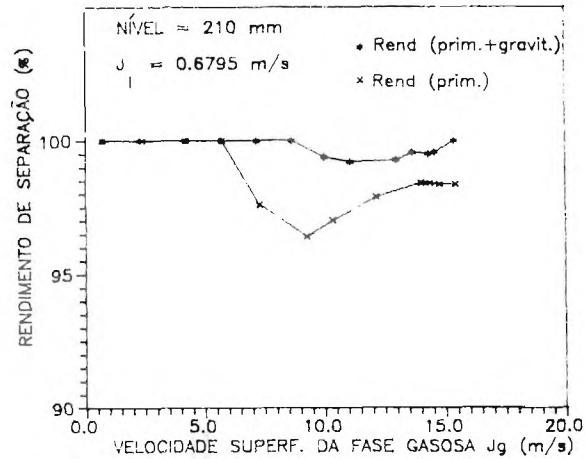


Fig.( 4 ) - Resultados de rendimento de separação

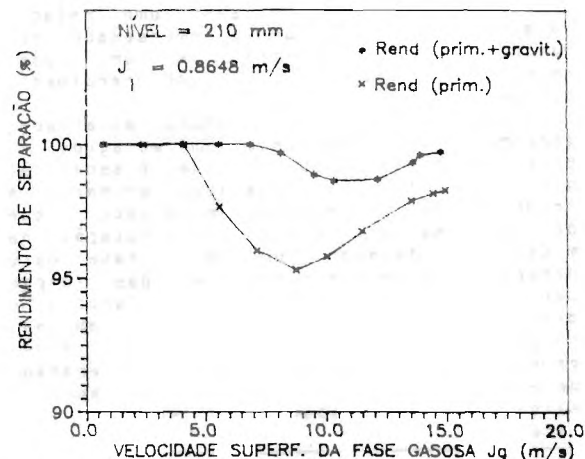


Fig.( 5 ) - Resultados de rendimento de separação

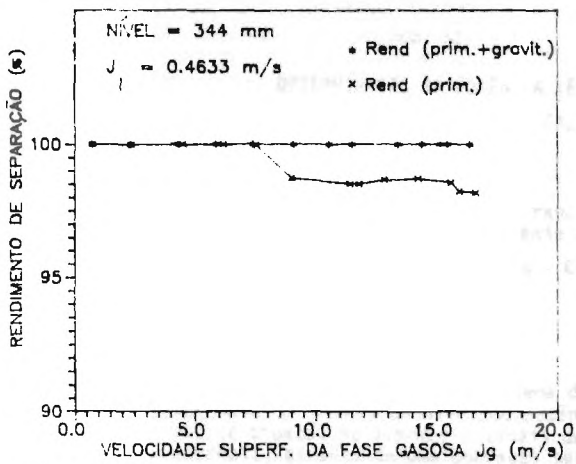


Fig.( 6 ) - Resultados de rendimento de separação

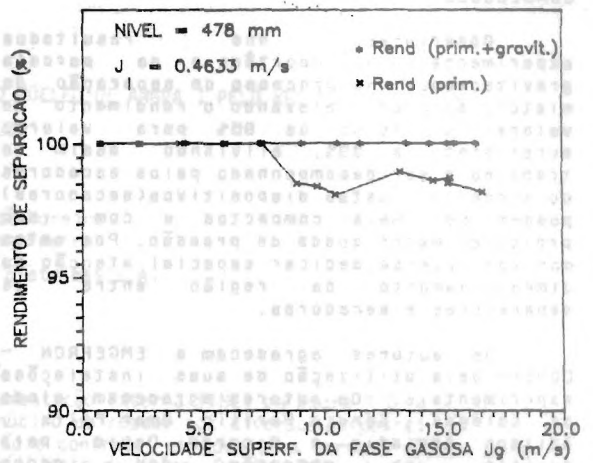


Fig.( 9 ) - Resultados de rendimento de separação

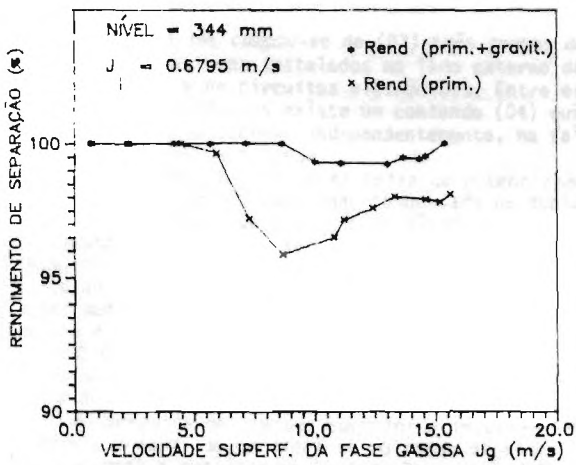


Fig.( 7 ) - Resultados de rendimento de separação

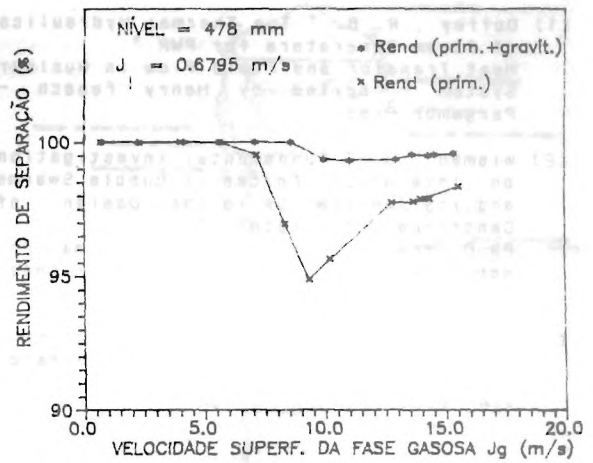


Fig.( 10 ) - Resultados de rendimento de separação

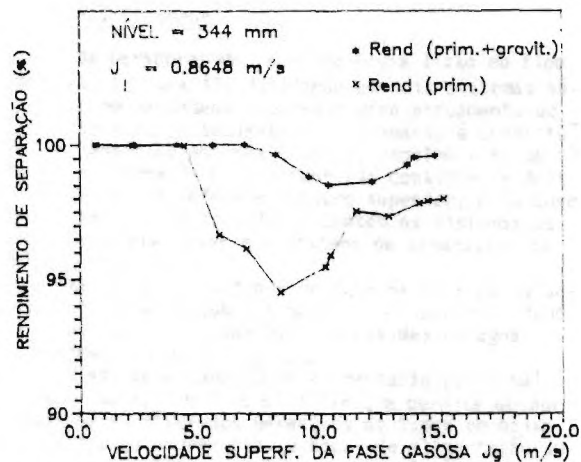


Fig.( 8 ) - Resultados de rendimento de separação

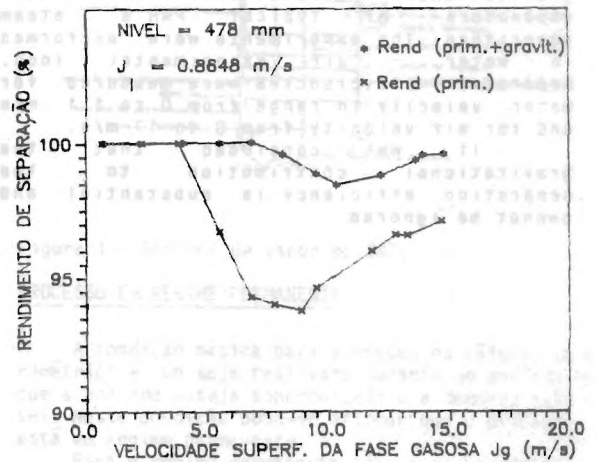


Fig.( 11 ) - Resultados de rendimento de separação

## CONCLUSÕES

Observa-se dos resultados experimentais a importância da parcela gravitacional no processo de separação da mistura água-ar, elevando o rendimento de valores em torno de 85% para valores superiores a 98%, aliviando assim o trabalho a ser desempenhado pelos secadores ou ainda, que estes dispositivos (secadores) possam ser mais compactos e com isso provoquem menor queda de pressão. Por estes motivos deve-se dedicar especial atenção no dimensionamento da região entre os separadores e secadores.

Os autores agradecem a EMGEPRON - COPESP pela utilização de suas instalações experimentais. Os autores agradecem ainda os colegas: Sérgio Perillo, Omar Félix, Adilson Abolafo e Ricardo David pelo auxílio na obtenção dos dados experimentais.

## REFERÊNCIAS

- [1] Duffey, R. B. "The Thermal Hydraulics of Steam Generators for PWR" Heat Transfer and Fluid Flow in Nuclear System - edited by Henry Fenech - Pergamon Press
- [2] Wisman, R. "Fundamental Investigation on Interaction Forces in Bubble Swarms and its Application to the Design of Centrifugal Separators" Ph.D. thesis, Laboratory for Thermal Power Engineering, Delft Univ. of Technology, 1979.
- [3] Wyatt, P.W. "Drainage and Venting in a Swirl Vane Moisture Separator Application" ASME Paper 82-NE-2, 1982.

## SUMMARY

The present work consists in the experimental analysis of liquid - gas gravitational separation in steam separators of typical PWR's steam generators. The experiments were performed in water - air experimental loop. Separation efficiencies were measured for water velocity in range from 0 to 1,1 m/s and for air velocity from 0 to 17 m/s.

It was concluded that the gravitational contribution to the separation efficiency is substantial and cannot be ignored.