

"Influência da Razão de Recirculação no Desempenho Térmico de Geradores de Vapor"

Wageeh Sidrak Bassel

Valdemir Gutierrez Rodrigues

Departamento de Operação de
Circuito Experimentais

IPEN-CNEN
SP

Resumo

Foi desenvolvido um modelo matemático para a simulação do desempenho térmico de geradores de vapor. A simulação foi feita com 3 volumes de controle independentes, resultando num sistema de equações algébricas não lineares, onde o calor transferido é calculado baseando-se na diferença de temperatura média logarítmica, e a solução é obtida por iteração. O modelo desenvolvido mostrou-se satisfatório para o cálculo dos parâmetros que influenciam o desempenho do Gerador de Vapor.

Abstract

A mathematical model was developed to simulate thermal performance of steam generator. The simulation was done with 3 control volumes. The coupled non-linear algebraic equations, where the heat transfer was calculated with logarithmic mean temperature difference, was solved by iterative method. The developed model is suitable for calculation, the parameters which affect the performance of steam generator.

1. Introdução

A disponibilidade de um método de cálculo rápido e confiável é uma necessidade na operação de plantas nucleares ou circuitos experimentais. A simulação rápida dos sistemas e/ou equipamentos, fornece as informações necessárias para avaliar a capacidade de manobra bem como a estratégia de controle. O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo matemático para simulação de Geradores de Vapor, utilizando-se da técnica de divisão do sistema em volumes de controle. O modelo desenvolvido pode ser implantado em computadores também em PC de médio porte.

2. Método de Cálculo

Para a modelagem do Gerador de Vapor, este foi dividido em três volumes de controle. A Figura 1 mostra esta divisão, onde o volume número 1 representa o trocador de calor de fluxo paralelo, o volume 2 o trocador de calor de fluxo paralelo e o volume 3 o trocador de contra-fluxo.

Os volumes 1 e 3 possuem a mesma altura e assume-se que na saída dos dois volumes de controle, ocorre a mistura, onde a temperatura na saída é a de saturação na pressão do GV.

Para o trocador de calor de fluxo paralelo, Figura 2, podemos escrever:

$$Q = m C_p (t_o - t_i) \quad (1)$$

$$= M C_p (T_i - T_o) \quad (2)$$

$$= U \cdot A \cdot LMTD \quad (3)$$

onde:

Q = Calor transferido por unidade de tempo

m = Vazão mássica no lado frio do trocador

M = Vazão mássica no lado quente do trocador

C = Calor específico

t_o^p = Temperatura de saída do lado frio

t_i = Temperatura de entrada do lado frio

T_o = Temperatura de saída do lado quente

T_i = Temperatura de entrada do lado quente

U = Coeficiente global de troca de calor

A = Área de troca de calor

LMTD = Média logarítmica das diferenças de temperatura, ou seja:

$$\frac{(T_i - t_i) - (T_o - t_o)}{\ln \frac{T_i - t_i}{T_o - t_o}}$$

$$\ln \frac{T_i - t_i}{T_o - t_o}$$

Estas três equações algébricas não lineares possuem como incógnitas T_o , t_o e t_i . A solução simultânea destas equações é dada pelas seguintes expressões:

$$Q = \frac{T_i - t_i}{\beta_1} \left(1 - \frac{1}{\Theta_1}\right) \quad (4)$$

onde: $\Theta_1 = e^\alpha$

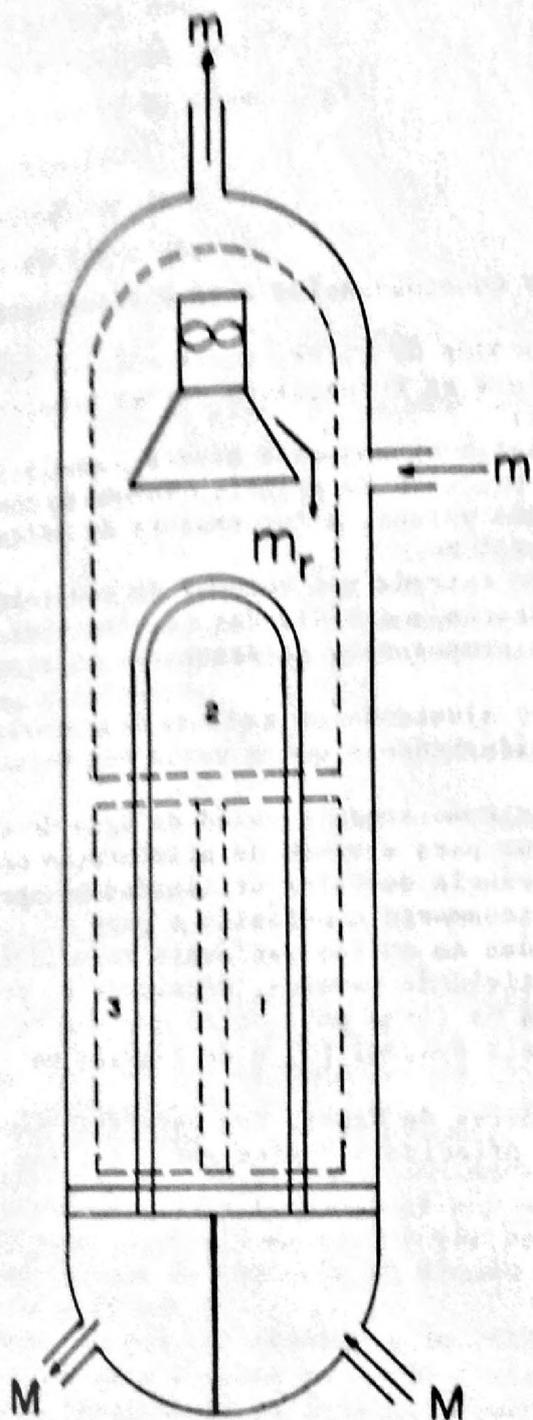


FIG 1. Divisão do GV em Volumes de Controle

m = Vazão de água de alimentação
 m_r = Vazão de água de retorno do Separador de Vapor

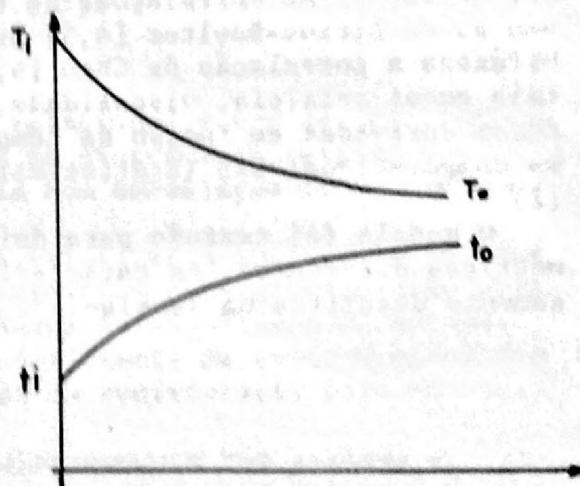
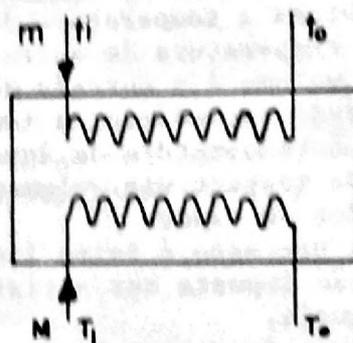


FIG 2. Trocador tipo Paralelo

$$\alpha = \left(\frac{1}{MC_p} + \frac{1}{mC_p} \right) (U.A)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{MC_p} + \frac{1}{mC_p}$$

$$e, T_o = T_i - \frac{Q}{MC_p} \quad (5)$$

$$t_o = t_i + \frac{Q}{mC_p} \quad (6)$$

Da mesma forma, podemos escrever as equações acima para o trocador de contra-corrente e com mudança de fase.

De maneira geral, para um certo trocador de calor, conhecendo-se as temperaturas de entrada do lado quente e frio e as respectivas vazões mássicas, podemos calcular as temperaturas de saída.

No programa é dado como valor inicial a altura onde ocorre a ebulição sendo calculada a temperatura de saída do primário do primeiro volume de controle, que é a temperatura de entrada do segundo volume. A temperatura de saída do segundo volume é a entrada do terceiro volume.

Do lado secundário, a temperatura de entrada nos volumes de controle 1 e 3 é igual à temperatura da água de alimentação e a média das temperaturas de saída dos respectivos volumes é igual à temperatura de saturação do secundário do gerador de vapor.

Este processo é feito iterativamente ajustando-se a altura de evaporação até a condição imposta ser satisfeita, considerando-se que a vazão nos volumes 1 e 3 são iguais.

A razão de recirculação foi definida como sendo a vazão de água de retorno após a separação nos Separadores de Vapor para a vazão de alimentação no Gerador de Vapor. As correlações de transferência de calor utilizadas no programa são as de Dittus-Boelter [4,5] para o escoamento monofásico e para a região bifásica a correlação de Chen [4,5]. Todas as outras variáveis termodrúlicas tais como: entalpia, viscosidade, condutividade térmica, densidade e pressão, foram derivadas em função da temperatura na forma polinomial com uso do programa computacional-SAS (Statistical Analysis System) [3] e de tabelas de vapor [2].

O modelo foi testado para dois Geradores de Vapor, com características geométricas diferentes. As características principais destes geradores são sucin^otamente descritos na Tabela-1.

Tabela 1. Parâmetros dos Geradores de Vapor

Tipo	*Gerador A	*Gerador B
	Tubos em U	Tubos em U
Número de tubos	5626	106
Diâmetro externo (mm)	17,4	12,7
Espessura da parede (mm)	1,016	0,89
Diâmetro interno do casco (mm)	3100	300
Altura média (mm)	8290	1910
Passo triangular (mm)	25,4	17,463
Vazão do primário (Kg/s)	4686	20
Temperatura entrada do primário (C)	325	285
Temperatura de entrada do secundário (C)	227	177

*Gerador A : Gerador tipo "B" da Westinghouse (856 Mw) [7]

*Gerador B : Gerador de Vapor de um circuito experimental de alta pressão (1,925 Mw) [1]

3. Resultados

O modelo foi testado inicialmente para reproduzir as condições nominais de operação dos dois Geradores de Vapor. Na condição de operação obtemos os seguintes resultados:

	Potência (Mw)		
	fornecida	Calculada	% erro
Gerador A	856	810	5,3
Gerador B	1,925	1,995	3,6

Os erros na determinação da potência estão relacionados com as correlações de transferência de calor diferentes utilizadas no programa em relação aos cálculos de referência e na aproximação introduzida com a modelagem de 3 volumes de controle independentes.

Foi feito também um estudo paramétrico para verificar a influência da razão de recirculação em diversos parâmetros de interesse para geometria do gerador A citado na Tabela 1. A seguir são apresentados os resultados do estudo.

As Figuras 3, 4 e 5 mostram a variação do coeficiente de troca de calor global U nos volumes de controle em função da razão de recirculação para as pressões de 54 e 69 bar.

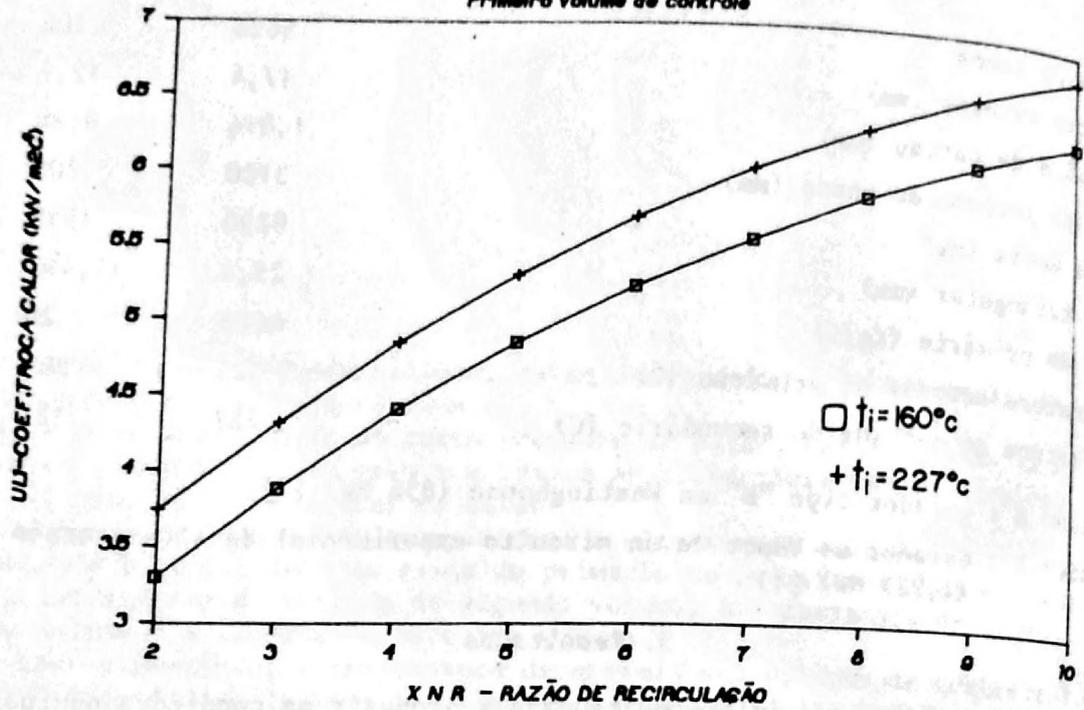
Observa-se que o coeficiente de troca de calor aumenta com a razão de recirculação e para a mesma razão de recirculação o coeficiente aumenta com o aumento da temperatura da água de alimentação devido à variação do número de Nusselt.

Observa-se também que para a mesma razão de recirculação, o coeficiente de troca de calor diminui com o aumento da pressão devido à variação da vazão de água de alimentação.

A Figura 6 mostra a variação da altura de evaporação (XL) com a razão de

PRESSÃO 54 BAR

Primeiro volume de controle



PRESSÃO 69 BAR

Primeiro volume de controle

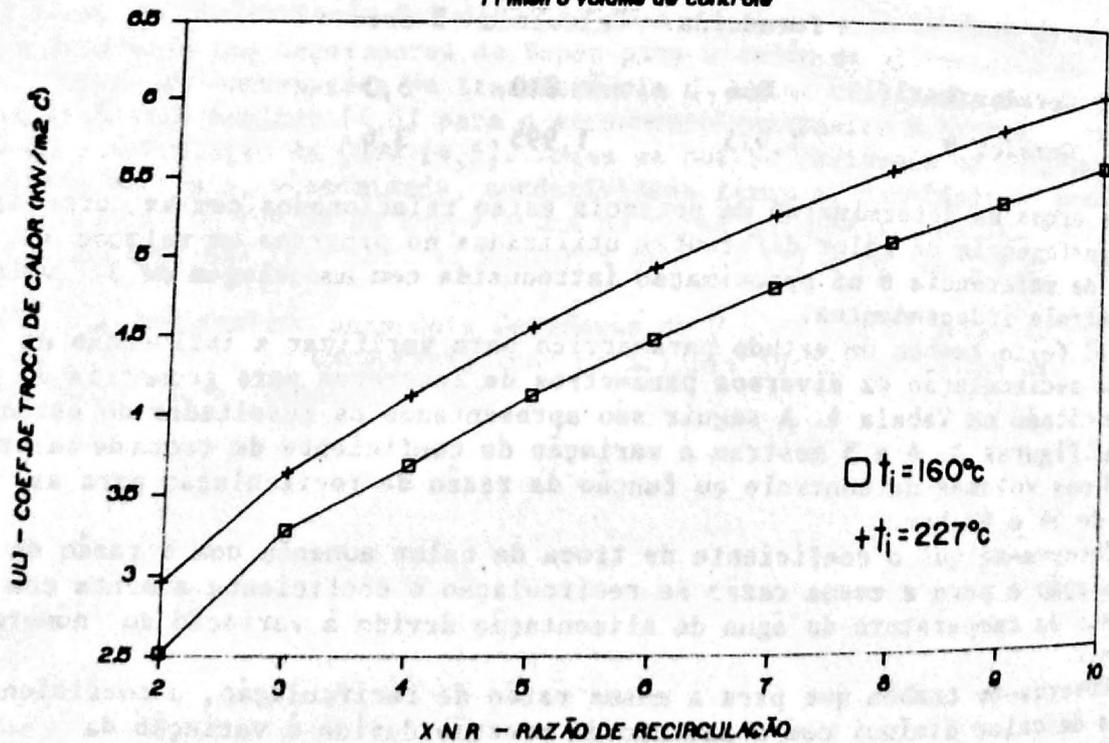


FIG.3. COEF. DE TROCA DE CALOR
VOL. I

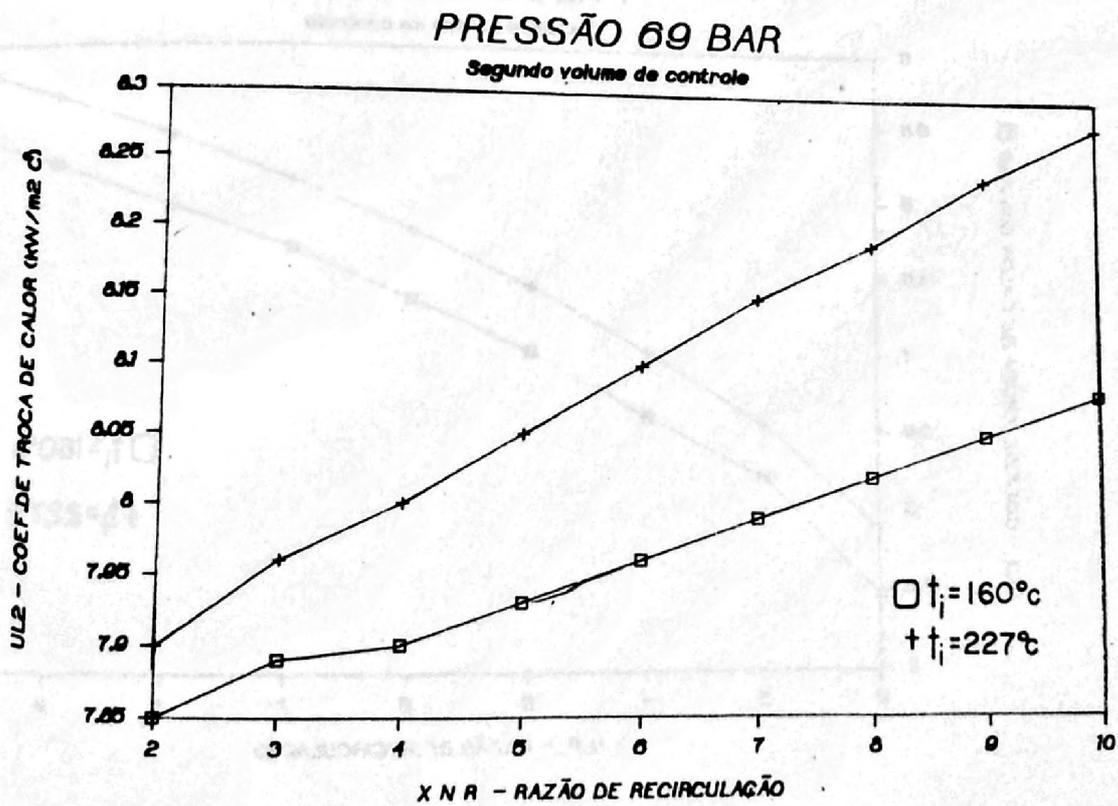
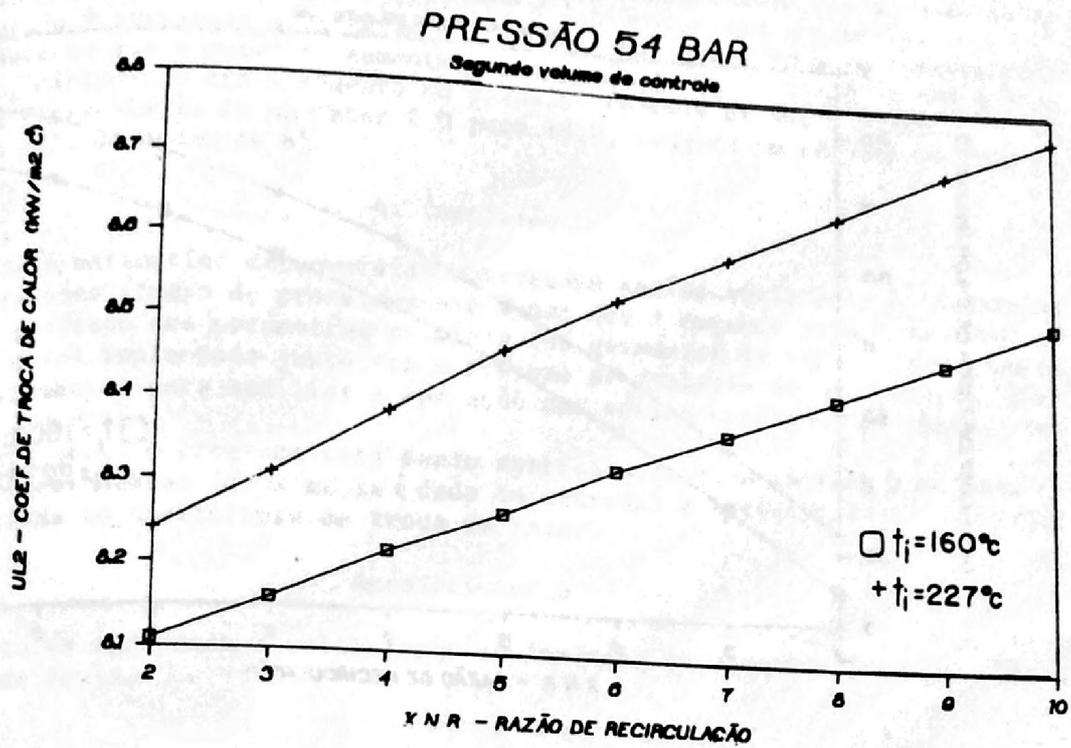
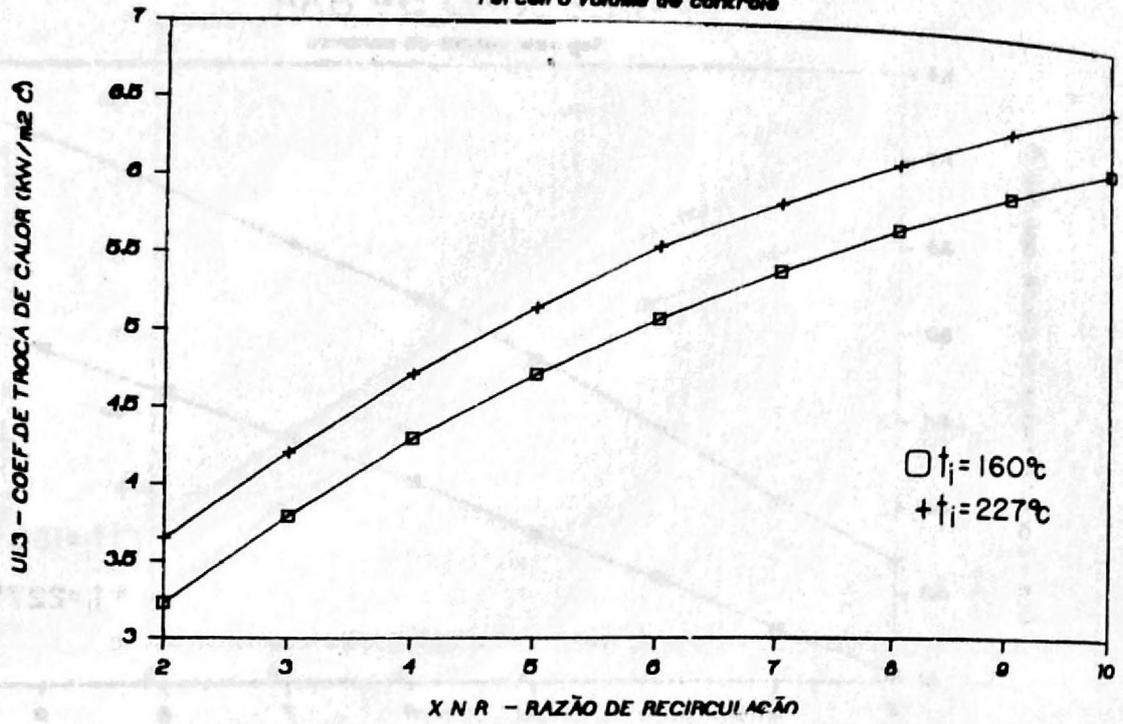


FIG.4 . COEF. DE TROCA DE CALOR
VOL.2

PRESSÃO 54 BAR

Terceiro volume de controle



PRESSÃO 69 BAR

Terceiro volume de controle

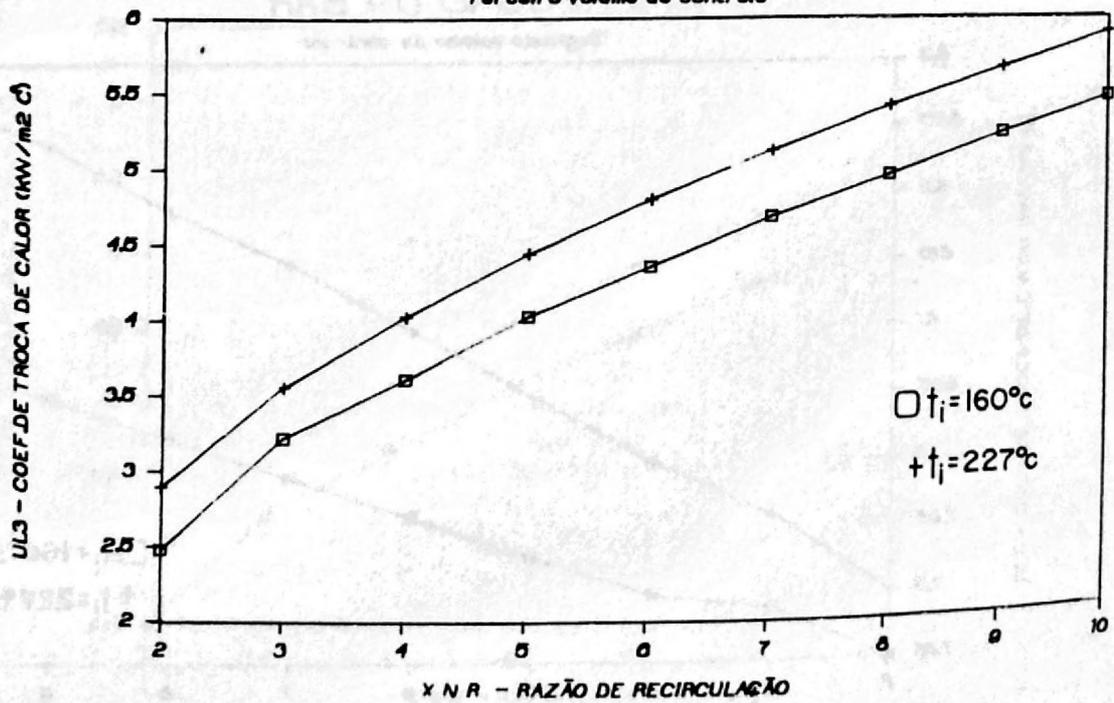


FIG.5. COEF. DE TROCA DE CALOR
VOL.3

recirculação (XNR), para duas temperaturas e pressões. Observa-se nesta figura que a altura de evaporação diminui com o aumento da razão de recirculação.

A Figura 7 mostra a variação da vazão de vapor (XMV) com a razão de recirculação (XNR), para duas temperaturas e pressões. Observa-se que a vazão de vapor aumenta com o aumento da temperatura, e diminuindo com a pressão.

A Figura 8 apresenta a variação da potência (Q) com a razão de recirculação (XNR). Nota-se que a potência aumenta com a razão de recirculação e com a temperatura, diminuindo com o aumento da pressão. Observa-se que o aumento da razão de recirculação de um fator 2,0 para 10,0, causará um pequeno aumento na potência (Q), da ordem de 6%.

4. Conclusão

O modelo matemático desenvolvido mostrou-se satisfatório para a determinação com rapidez (tempo de processamento menor que 1 segundo para cada caso) e razoável precisão dos parâmetros térmicos dos geradores de vapor. O programa desenvolvido foi implantado junto com o sistema de controle de um circuito térmico experimental para auxiliar a operação nas várias condições de carga, temperatura e pressão.

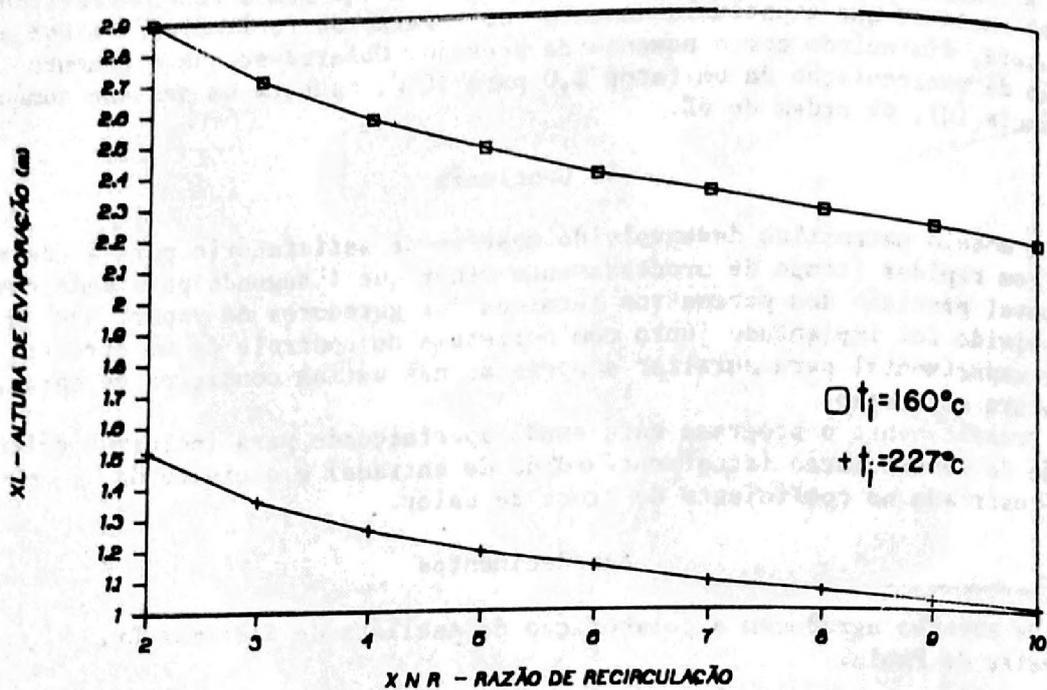
Presentemente o programa está sendo aperfeiçoado para incluir o cálculo da razão de recirculação (atualmente é dado de entrada) e o efeito da ebulição sub-resfriada no coeficiente de troca de calor.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração do Analista de Sistemas Sr. David Oliveira de Paula.



PRESSÃO 54 BAR



PRESSÃO 69 BAR

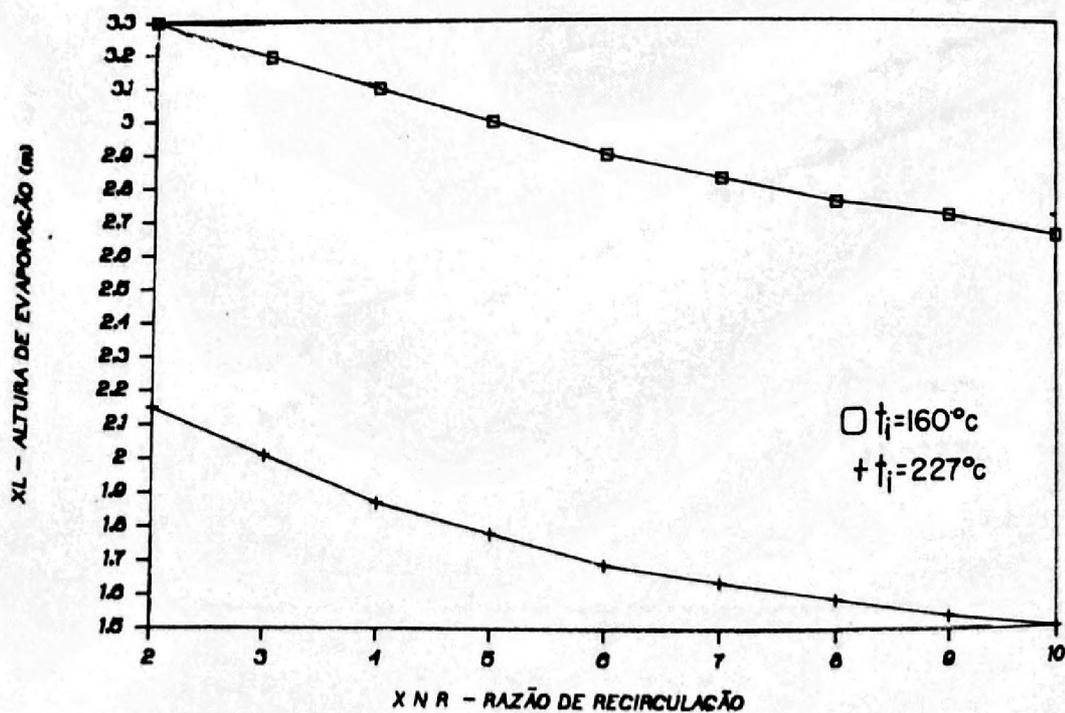
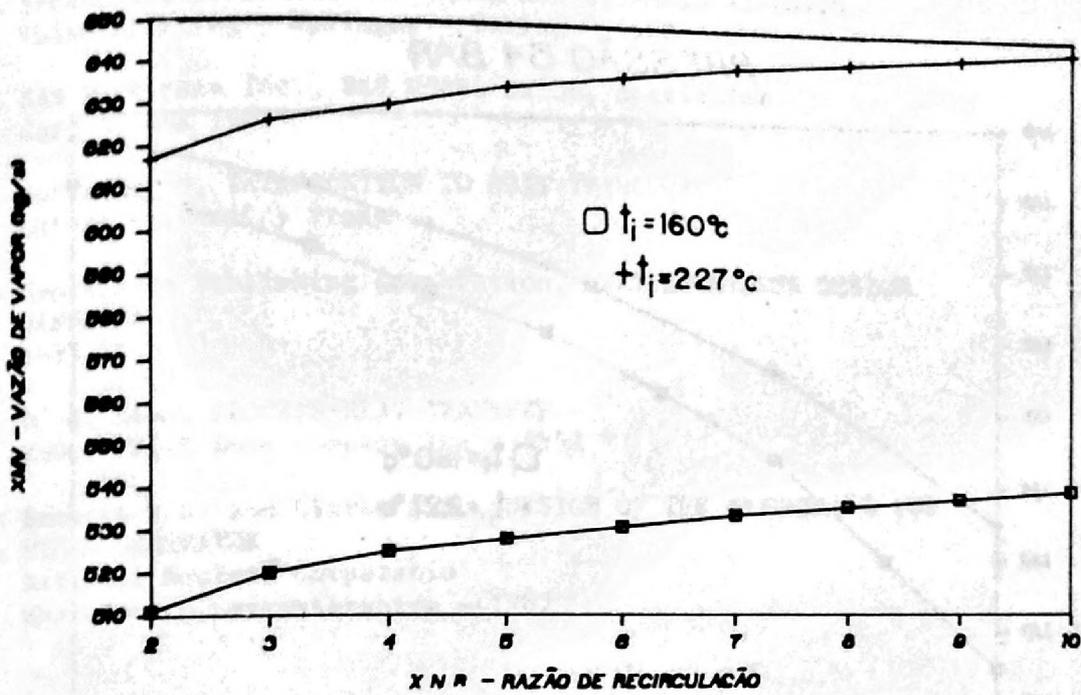


FIG.6. ALTURA DE EVAPORAÇÃO

PRESSÃO 54 BAR



PRESSÃO 69 BAR

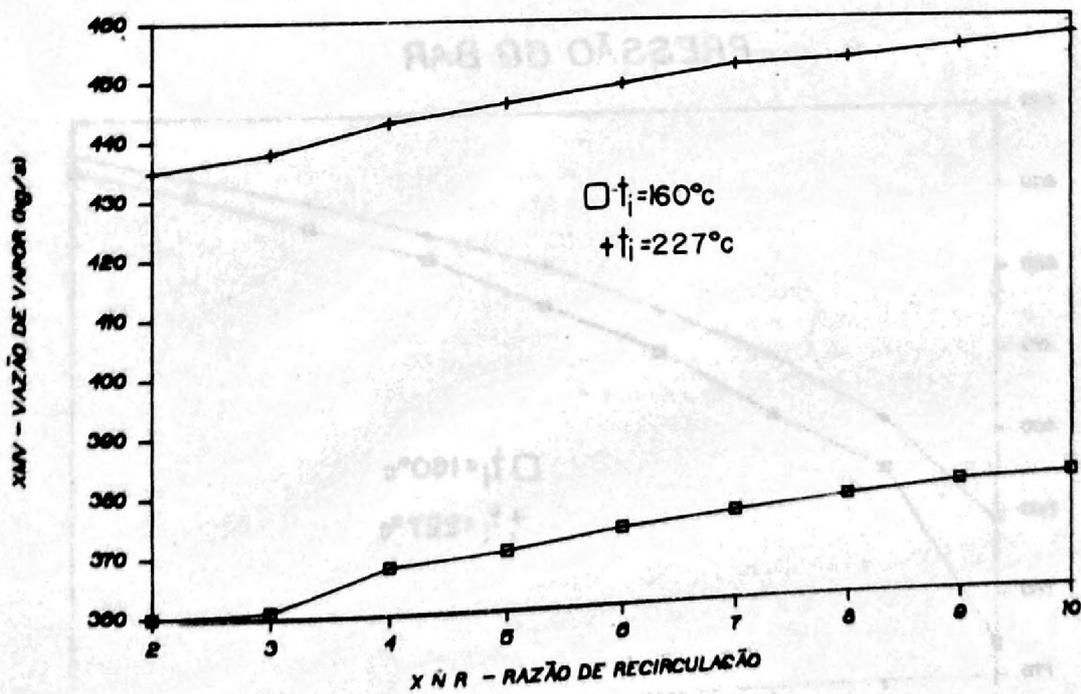
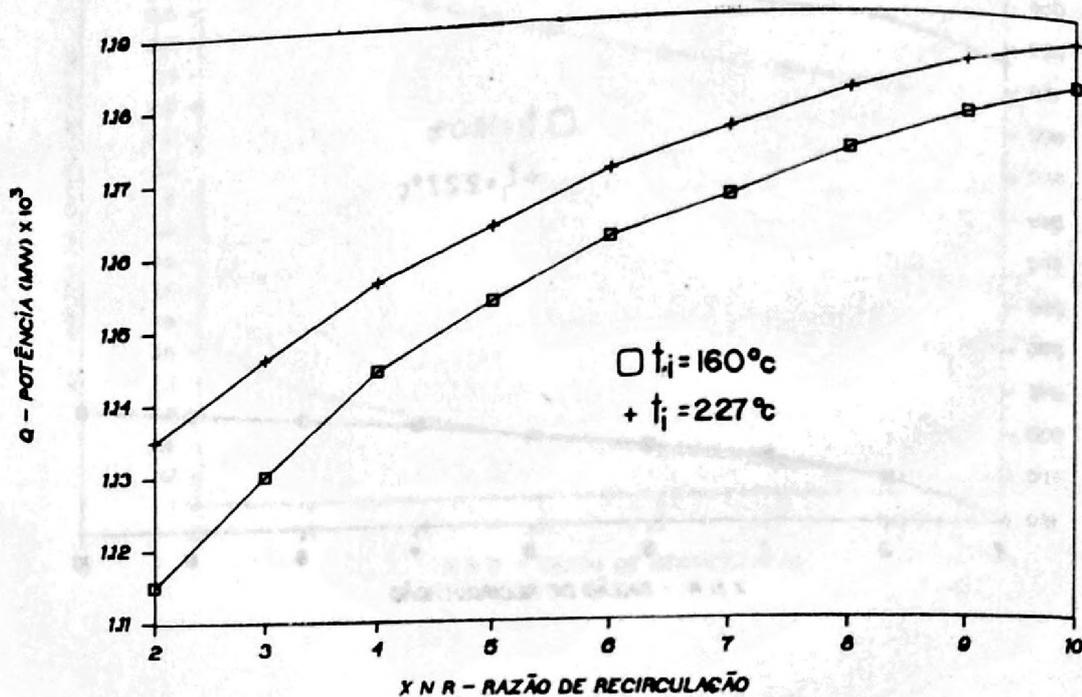


FIG.7. VAZÃO DE VAPOR

PRESSÃO 54 BAR



PRESSÃO 69 BAR

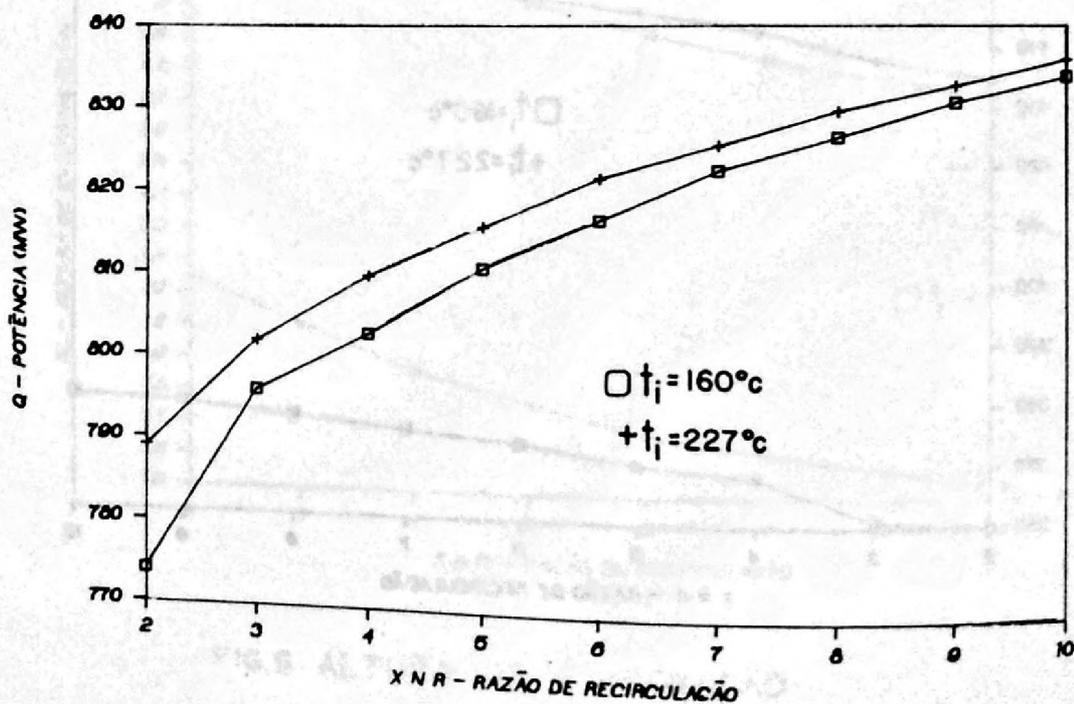


FIG.8. POTÊNCIA

Referências

- [1]- Artur J. Faya e Wageeh S. Bassel, DYNAMIC RESPONSE OF IPEN EXPERIMENTAL WATER LOOP
São Paulo, IPEN, Out/1982 (IPEN/PUB/52)
- [2]- Ernst. S., PROPERTIES OF WATER AND STEAM IN SI-UNITS.
Third Printing - Springer - Verlag - 1982
- [3]- SAS Institute Inc., SAS USERS GUIDE, Statistics
Cary NC USA 1985
- [4]- Butterworth, INTRODUCTION TO HEAT TRANSFER
Oxford University Press
- [5]- Hemisphere Publishing Corporation, HEAT EXCHANGER DESIGN
HANDBOOK
1983
- [6]- D. Q. Kern, PROCESS HEAT TRANSFER
McGraw Hill Book Company Inc - 1950
- [7]- Beckett V.S. and Clarke J.R., DESIGN OF THE SIZEWELL B PWR
STEAM GENERATOR
National Nuclear Corporatio
Wheistone - Leicestershire - 1983