



CNEN/SP

ipen *Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares*

GOVERNO DO BRASIL

**MODELAGEM DO CIRCUITO PRIMÁRIO DE UMA PLANTA
NUCLEAR**

Horácio NAKATA

IPEN-Pub-394

JULHO/1993

SÃO PAULO

MODELAGEM DO CIRCUITO PRIMÁRIO DE UMA PLANTA NUCLEAR

Horácio NAKATA

DEPARTAMENTO DE REATORES

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

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

E32 00

**PWR TYPE REACTORS
PRIMARY COOLANT CIRCUITS
COOLANT LOOPS
TRANSIENTS
SIMULATION
CORRECTIONS**

IPEN Doc-4637

Aprovado para publicação em 22/04/93

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

MODELAGEM DO CIRCUITO PRIMARIO DE UMA PLANTA NUCLEAR

Horácio NAKATA

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR-SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11 049-Pinheiros
05422-970 - São Paulo-SP - BRASIL

RESUMO

Foi desenvolvida uma modelagem para simulação de tubulações de um circuito primário de uma planta nuclear refrigerada com água pressurizada, com a finalidade de reproduzir os transientes termodinâmicos mais recorrentes em operação normal. Estudos analíticos mostraram que modelagens simplificadas tais como as de volumes de controles não representam com fidelidade os principais transientes operacionais no circuito primário de plantas nucleares.

MODELLING THE PWR PRIMARY LOOP TUBES

Horácio NAKATA

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR-SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11 049-Pinheiros
05422-970 - São Paulo-SP - BRASIL

ABSTRACT

The primary loop tubes simulation has been studied and a suitable numerical model has been developed in the present report. The main purpose of the modeling is the reproduction of the accurate thermohydraulic phenomena which occur during the most representative operational transients. The cold leg lumped parameter model has been analyzed and its results have shown an unacceptably high deviation from the theoretical results.

1 INTRODUÇÃO

Um projeto econômico e confiável de uma planta nuclear resulta muito invariavelmente de se ter à disposição uma ferramenta apropriada para a simulação e previsão dos eventuais desvios dos parâmetros de interesse que possam ocorrer durante os transientes operacionais e anormais para os quais a planta está sendo projetada.

É comum, portanto, em quase todas as empresas nucleares, a construção de simuladores de variados graus de detalhamento para as experimentações numéricas com a finalidade de evitar possíveis transtornos e desperdícios desnecessários, com um mínimo de estipêndio.

No entanto quando se trata de plantas nucleares que apresentam tubulações extensas no circuito primário a resposta dinâmica dos componentes, tais como reator nuclear, pressurizador, bomba e gerador de vapor, depende fortemente da condição de fluido entrante. O tempo gasto no deslocamento do fluido dentro das tubulações pode, em condições de meia-carga afetar seriamente o tempo de resposta dos componentes uma vez que o seu tempo de trânsito pode até chegar a 20 segundos dentro do circuito primário.

Para simulações detalhadas de plantas nucleares levando em consideração o tempo de resposta razoavelmente curto em relação a plantas termelétricas convencionais as modelagens das tubulações devem ter complexidades equivalentes às dos componentes mais importantes e complexos da planta. As tubulações, por sua natureza distribuída, não é bem representada quando simplificadas por parâmetros médios, tais como nas modelagens em grandes volumes de controle. Expansão e contração são muito importantes assim como o atraso real de transporte das propriedades do fluido primário.

O presente trabalho tem portanto o objetivo de analisar os erros cometidos por uma modelagem simplificada, por exemplo volume de controle, e desenvolver uma modelagem apropriada para corrigir os erros apresentados. Essa modelagem deve apresentar grau aceitável de precisão e ao mesmo tempo ser econômica o suficiente para poder ser utilizada em simuladores de plantas nucleares.

2 ANÁLISE DE MODELO SIMPLIFICADO

Para se estimar a ordem de aproximação dos modelos de perna fria em forma de volume de controle analisou-se o grau de discrepância entre solução numérica e solução exata para alguns transientes comumente encontrados durante a operação de plantas nucleares. Porém para se obter solução exata analítica é necessário restringir-se a tipos de transientes bastante simples, por exemplo, aumentos lineares de temperatura.

A primeira aproximação adotada em modelos simplificados de simuladores é considerar a tubulação da perna fria (ou da perna quente) como um único volume com características homogêneas. Isto é, aproxima-se a perna fria por um misturador instantâneo, conforme a Figura 1 abaixo.

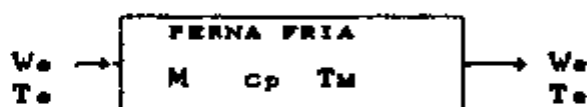


Figura 1- Modelo da perna fria como um misturador

A equação de conservação de massa para o volume de controle é escrita como

$$\frac{d}{dt} M = W_e - W_s \quad (\text{Eq 1})$$

onde

M = Massa do fluido da perna fria,
 W_e = vazão de entrada na perna fria,
 W_s = vazão de saída da perna fria

E a conservação da energia da perna fria é escrita como

$$\frac{d}{dt} (M c_p T_m) = W_e h_e - W_s h_s \quad (\text{Eq 2})$$

onde

T_m = temperatura média do fluido da perna fria,
 c_p = calor específico médio do fluido da perna fria,
 h_e = entalpia do fluido na entrada da perna fria,

h_e = entalpia do fluido na saída da perna fria

Considerando que o calor específico não varia muito para as variações de temperaturas que ocorrem durante transientes operacionais, as equações acima podem ser escritas como

$$M \frac{d}{dt} T_M = W_e(T_e - T_M) - W_s(T_s - T_M) \quad (3)$$

A hipótese básica a ser considerada na solução analítica que será deduzida a seguir, é que a massa de líquido na perna fria é constante ao longo do transiente. Assim, a Equação 1 fornece a relação

$$W_e = W_s \equiv W \quad (4)$$

que permite reescrever a Equação 3,

$$\frac{d}{dt} T_M = \frac{T_e - T_s}{\tau} \quad (5)$$

onde $\tau = M / W$, isto é, o tempo médio de trânsito do líquido na perna fria

A seguir a hipótese a ser considerada é em relação à estimativa da temperatura média da perna fria. A temperatura média da perna fria deve ser estimada conservando-se a energia acumulada na perna fria. Porém como as temperaturas são diferentes ao longo da perna fria é praticamente impossível expressar a temperatura média em forma fechada. Portanto foram consideradas duas formas de aproximação de temperatura média

$$T_M = \gamma T_e + (1 - \gamma) T_s \quad (6)$$

$$\text{com } \gamma = \begin{cases} 0,0 \\ \text{ou} \\ 0,5 \end{cases}$$

Isto é, a temperatura média é considerada igual à temperatura de saída quando $\gamma = 0,0$, ou é considerada

média aritmética das temperaturas de entrada e de saída quando $\gamma = 0,5$

Resolvendo a Equação 5 para uma rampa de variação de temperatura de entrada $T_e(t)$

$$T_e(t) = T_m(0) + \alpha t$$

obtem-se a solução analítica, para $\gamma = 0,0$,

$$T_m(t) = T_e(t) - \alpha\tau(1 - e^{-t/\tau}) \quad (7)$$

e para $\gamma = 0,5$,

$$T_m(t) = T_e(t) - \frac{\alpha\tau}{2}(1 - e^{-2t/\tau}) \quad (8)$$

No modelo com $\gamma = 0,0$ a temperatura de saída é igual à temperatura média

No modelo com $\gamma = 0,5$ a temperatura de saída é dada por

$$T_s(t) = T_e(t) - \alpha\tau(1 - e^{-2t/\tau}) \quad (9)$$

As Figuras 2 e 3 ilustram as temperaturas calculadas com as soluções analíticas do modelo de misturador em comparação com valores de temperaturas que são observadas na situação idealizada, para valores de γ iguais a 0,0 e 0,5, respectivamente

A Figura 2 ilustra a temperatura de saída $T_s(t)$ calculada, com $\gamma=0,0$, isto é, a temperatura $T_s(t)$ é a própria temperatura média T_m calculada. Logo no início do transiente, em comparação com a temperatura média real ela é bastante próxima, mas em comparação com a temperatura de saída real o seu valor é bastante superior. Após aproximadamente $t=2\tau$ a temperatura de saída calculada aproxima-se da temperatura de saída real, porém fica bastante abaixo da temperatura média real.

Na Figura 3 as mesmas comparações são feitas com

valor de $\gamma=0,5$. A temperatura média $T_M(t)$ calculada fica bastante próxima da temperatura média real durante todo o transiente. Porém a temperatura de saída $T_S(t)$ calculada com a Equação 9 fica abaixo da temperatura inicial, mesmo com rampa positiva, mas após $t = \tau$ os valores são bastante próximos.

Conclui-se parcialmente que a utilização do valor de $\gamma=0,0$, isto é, assumir temperatura média igual à temperatura de saída é melhor que utilizar a média aritmética das temperaturas de entrada e de saída da perna fria. Neste último caso há o inconveniente de surgir temperatura artificialmente baixa no início do transiente. Este comportamento pode dar origem a oscilações artificiais se a resposta do sistema for muito rápida em comparação com o valor τ . Como o valor de τ é da ordem de 5 a 10 segundos na perna fria, junto com a câmara inferior do vaso, o correto modelamento da perna fria é de fundamental importância para análise de transientes em plantas nucleares.

Portanto para melhor análise do desvio de temperatura na saída do volume de controle deduziu-se a solução analítica com $\gamma=0,0$ para um transiente com duração igual ao tempo de trânsito do fluido na perna fria, cuja expressão é mostrada na Equação 10 abaixo.

$$T_M(t) = T_0(t) - \alpha\tau(1 - e^{-t/\tau}) + T_M(\tau)e^{-t/\tau} \quad (10)$$

A Figura 4 ilustra a comparação da temperatura média calculada por Equação 10 (que também representa a temperatura de saída do volume) em comparação com a temperatura média e temperatura de saída reais. Até a metade do percurso do transiente as temperaturas calculadas são bastante próximas, mas, ao redor do tempo equivalente ao tempo de percurso do fluido no volume de controle, as discrepâncias atingem o seu maior valor, da ordem de 1/3 do aumento final de temperatura. Esta discrepância poderá acarretar em grande desvio de resposta dos sistemas da planta, principalmente da reatividade do reator nuclear a qual depende quase que exclusivamente da temperatura do refrigerante entrante.

Conclui-se, portanto, que a modelagem da perna fria ou da perna quente em um volume de controle equivalente a um misturador instantâneo não representa uma boa aproximação para estudo de transientes onde respostas da ordem de 10 segundos sejam importantes. Para representar as temperaturas de saídas com razoável fidelidade deve-se utilizar um modelo que represente o transporte de fluido

assim como a expansão e contração do mesmo

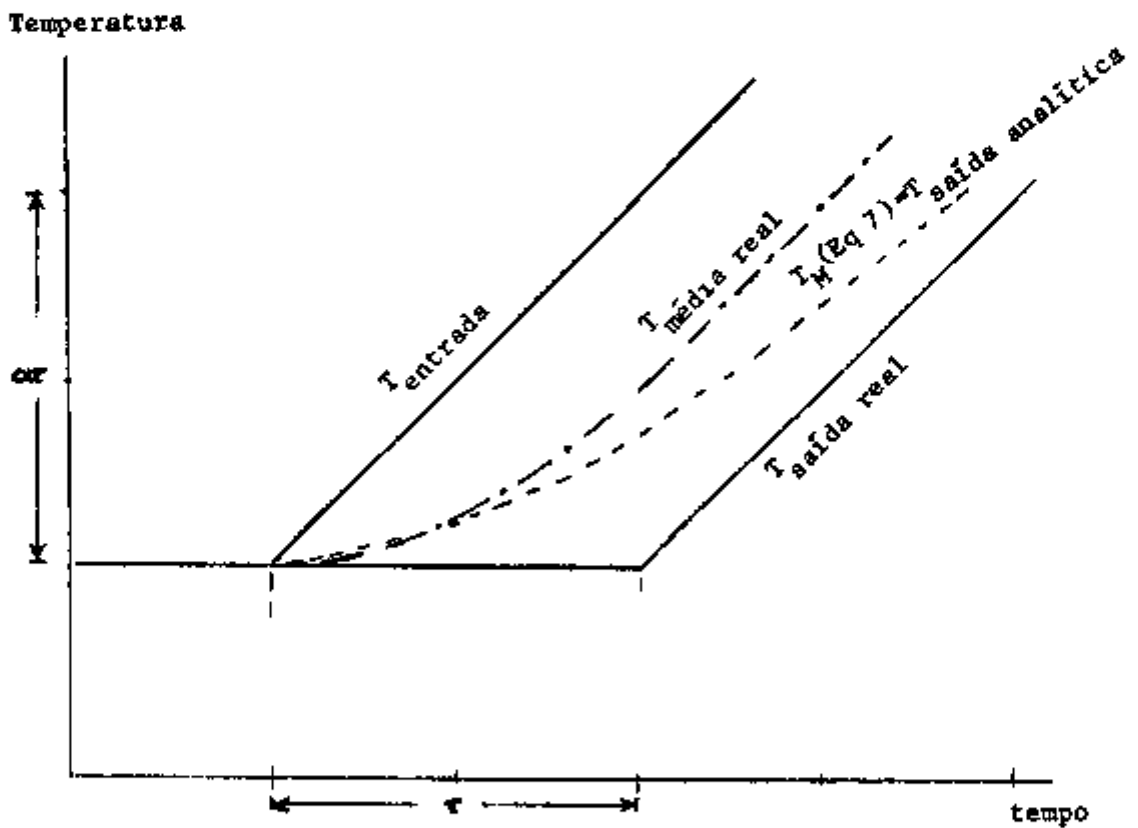


Fig 2-Comparação entre temperaturas reais e analíticas para $\gamma=0$

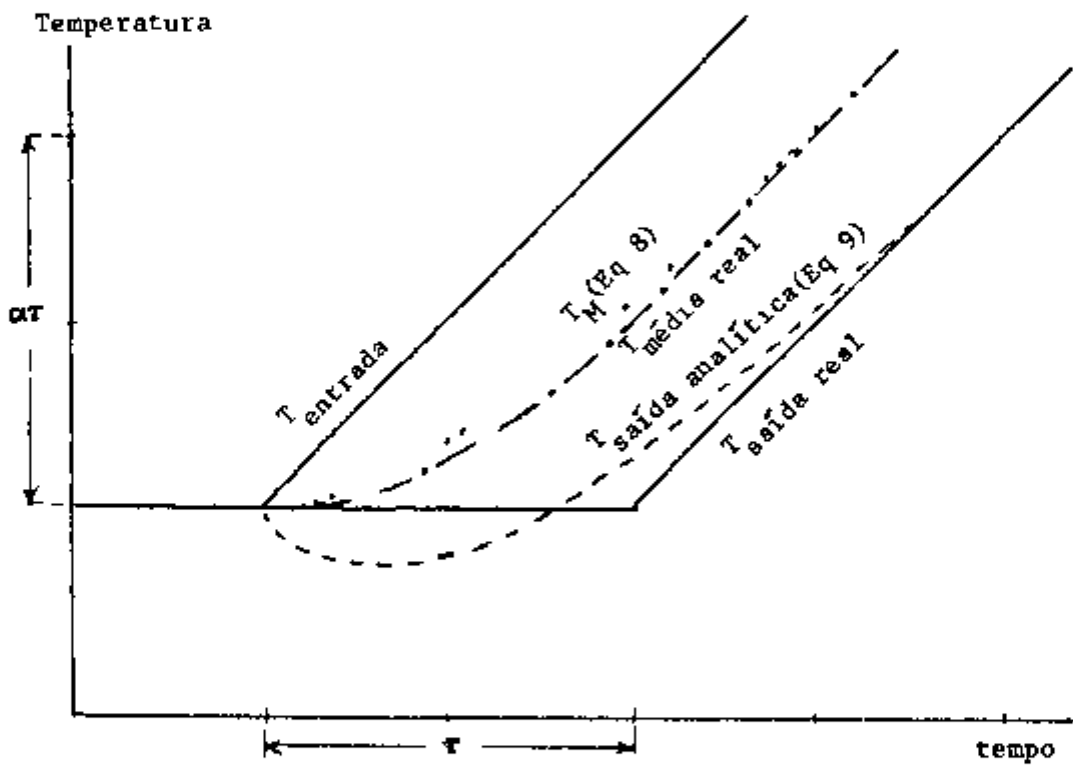


Fig 3-Comparação entre temperaturas reais e analíticas para $\gamma=0.5$.

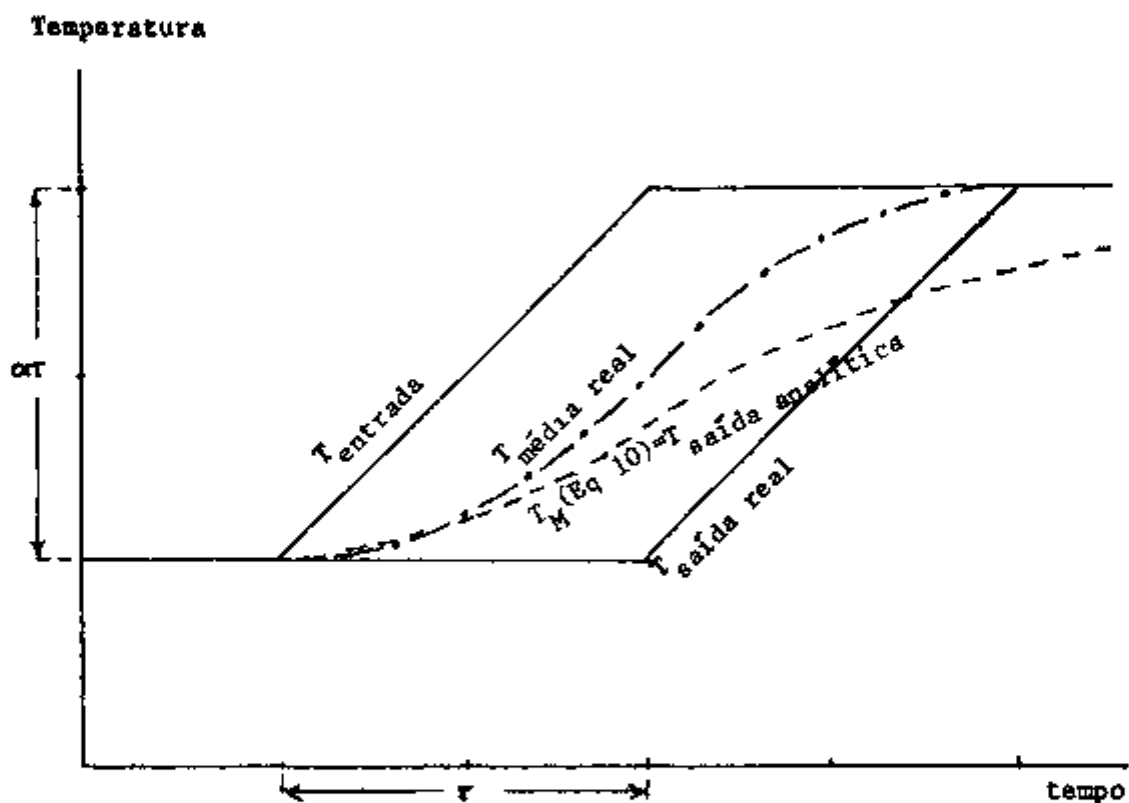


Fig 4-Comparação entre temperaturas reais e analíticas para $\gamma=0$
 Transiente de duração equivalente ao tempo de trânsito no
 volume de controle

3 MODELAGEM DO CIRCUITO PRIMÁRIO

No presente trabalho a modelagem não inclui perda de carga por questão de economia computacional, e portanto as equações de conservação de massa e de energia são as equações consideradas. Assume-se vazão da bomba modelada conforme desempenho previamente definido pelo usuário.

A modelagem do circuito primário, isto é, perna fria, perna quente, perna quente do pressurizador é descrita a seguir. Cada componente tem diferentes condições de contorno e portanto as modelagens diferem de acordo com as diferentes necessidades de aproximações.

As terminologias utilizadas nos parágrafos seguinte serão uniformizadas conforme segue:

W = vazão de fluido(kg/s)

H = entalpia(kJ/kg)

T = temperatura(°C)

GV = gerador de vapor

PZ = pressurizador

3.2- MODELO DA PERNA FRIA

A modelagem da perna fria desenvolvida pode ter nodos cujo numero pode ser definido pelo usuário. Cada nodo tem propriedades homogêneas e dimensões físicas constantes. Portanto a massa de cada nodo variará conforme a temperatura do fluido do nodo.

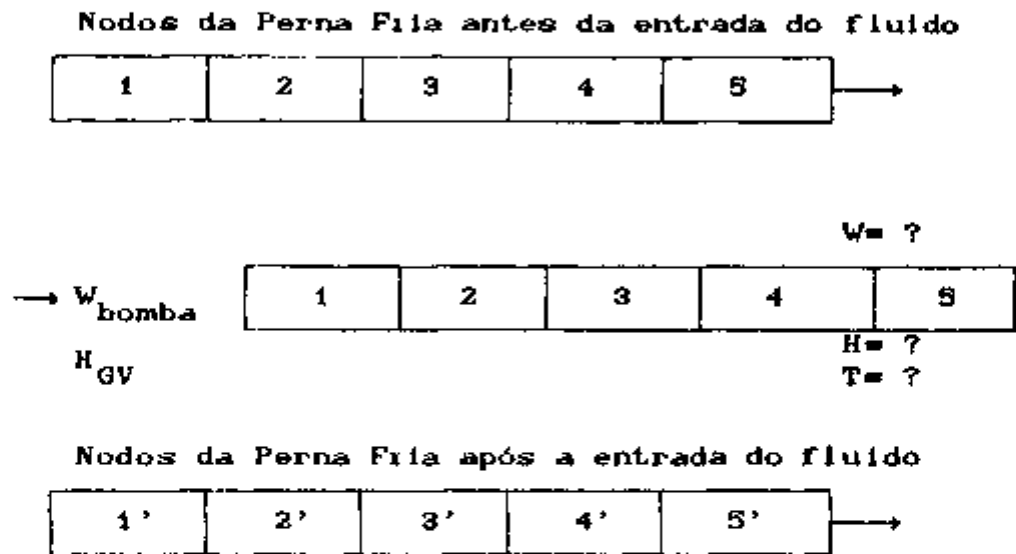


Figura 5- Modelo da perna fria

As condições do fluido na entrada da perna fria são determinadas pelo gerador de vapor, isto é, a entalpia(e/ou temperatura) e a densidade do fluido. A pressão será considerada constante em todo o circuito primário e é um dado de simulação global. A vazão é definida pela bomba do primário e ela faz parte do modelo da perna fria.

A vazão de saída da perna fria é determinada igualando o volume de saída ao volume de entrada na perna fria. O volume de entrada é distribuído nos primeiros nodos e na fração de nodo se for necessário. Todos os nodos são portanto deslocados pelo volume de entrada e a entalpia de saída é calculada ponderando as entalpias dos volumes finais que foram expulsos da perna fria. Os novos nodos que foram formados tem novas entalpias, as quais são calculadas ponderando-se as entalpias das frações que formaram os nodos finais. Observe-se que por questão de economia de tempo computacional as novas temperaturas dos nodos misturados são simplesmente ponderados em fração

volumétrica. Essa aproximação não conserva energia a menos que as variações de densidade e de calor específico sejam desprezíveis. Porém essas temperaturas são utilizadas apenas para mapeamento da temperatura ao longo da perna fria e não são utilizadas para cálculo de temperatura e entalpia de saída da perna fria. A temperatura de saída da perna fria é calculada com conservação de energia.

A Figura 6 ilustra um resultado de simulação de um transiente de aumento de 10°C durante 10 segundos na entrada da perna fria modelada com 10 nodos. Verificarse um comportamento da temperatura de saída compatível com a realidade conforme discutido na Seção anterior. Ademais nota-se um acréscimo na vazão de saída da perna fria em comparação à vazão de entrada devido à diferença de densidades nos pontos considerados. diferença essa que não é considerada se levarmos em consideração apenas um volume de controle.

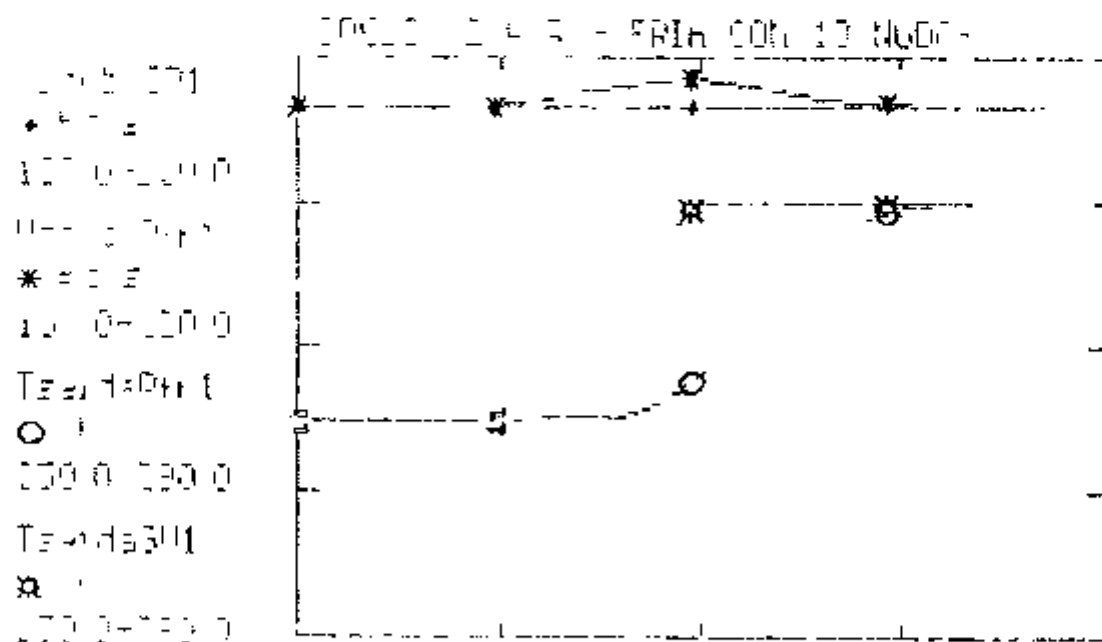


Figura 6- Transiente na perna fria modelada com 10 nodos
(TsaidaGV1 é igual à temperatura de entrada)

33- PERNA QUENTE(SEM PRESSURIZADOR)

A perna quente que não tem pressurizador acoplado é bastante semelhante à perna fria descrita acima, com a diferença das condições de contorno. Na perna quente os valores de entrada para o modelo são a vazão de saída e as condições do fluido na entrada. A vazão de saída é determinada pelo gerador de vapor uma vez que a bomba é acoplada à sua saída, e as condições do fluido na entrada da perna quente é determinada pela câmara superior do vaso de pressão.

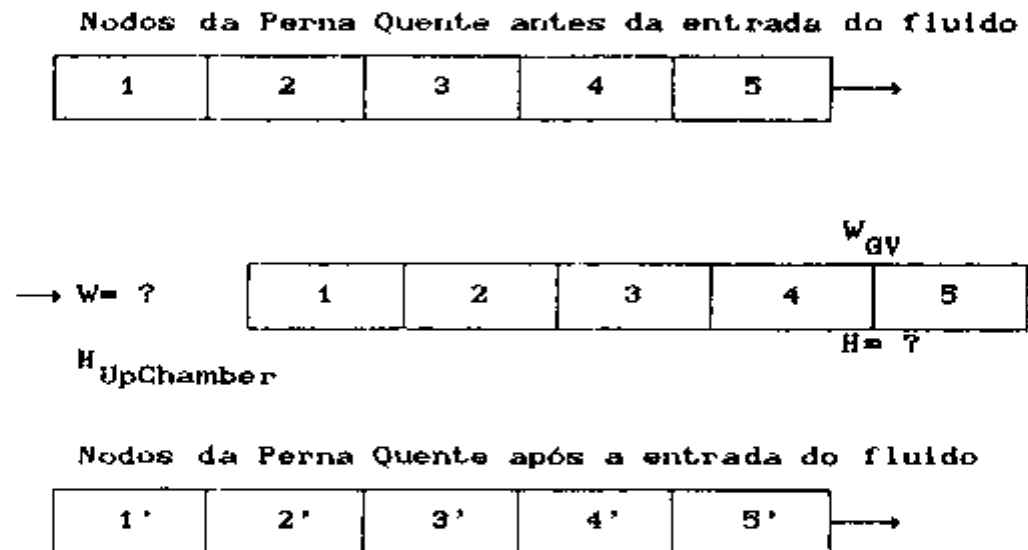


Figura 7 - Modelo da perna quente(sem pressurizador)

Portanto no modelo calcula-se primeiramente o volume de saída e a entalpia de saída utilizando o valor de vazão de saída determinada pela sucção do gerador de vapor. Com esse volume e entalpia da câmara superior do vaso de pressão calcula-se a massa de entrada, portanto a vazão de entrada na perna quente.

3.4- PERNA QUENTE (COM PRESSURIZADOR)

A perna quente que tem o pressurizador acoplado é semelhante à perna quente sem pressurizador descrita acima, com a diferença das condições de contorno na entrada da perna quente. O primeiro nodo recebe o fluxo de surto do pressurizador além da vazão de entrada vinda da câmara superior do vaso de pressão. A vazão de entrada oriunda da câmara superior do vaso é determinada pela modelagem da câmara superior e é o restante da vazão de saída do núcleo do reator após a sucção na outra perna quente (sem pressurizador).

Portanto o modelo da perna quente com pressurizador calcula a entalpia de saída normalmente como o modelo da perna quente sem pressurizador, e a vazão de surto do pressurizador é calculada após considerar a vazão de fluido oriunda da câmara superior do vaso.

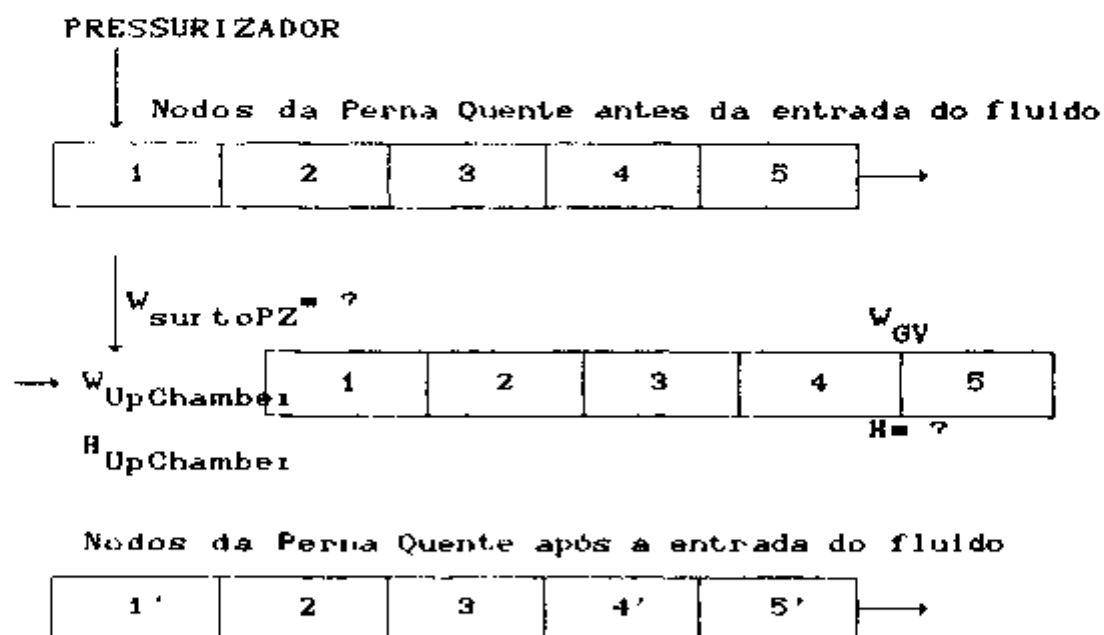


Figura 8- Modelo da perna quente (com pressurizador)

4 CONCLUSÕES

Os estudos analíticos apresentados permitiram concluir que o modelo simplificado, tal como o de volume de controle com hipótese de mistura instantânea, não é suficientemente preciso para ser utilizado para tubulações em plantas nucleares se o tempo de resposta de interesse for de algumas dezenas de segundos. Os tempos de atraso podem causar distorção de 30% no aumento de temperatura do fluido entrando no reator nuclear, o que pode representar discrepância excessiva em termos de reatividade do núcleo.

No modelo desenvolvido no presente trabalho a perna fria e a perna quente foram modeladas como nodos homogêneos dispostos em série para que representem com fidelidade o atraso de transporte de fluidos em tubos isolados termicamente assim como a expansão e contração.

Testes numéricos indicam que variações de vazão da ordem de 5% são comuns em transientes muito rápidos, sendo portanto muito importante a utilização de modelos de transporte de fluidos em tubulações isoladas.

A P Ê N D I C E

PROGRAMAS DE COMPUTAÇÃO PARA
PERNA FRIA E PERNAS
QUENTES

```

Program TestandoPERNA. ( programa principal para PERNA )

Uses Crt Printer

    VARIAFFR, VLSUB FHL F1L

Var PressaoSCP real
    dTempo VazaoEntrada TemperEntrada hntaipiaEntrada real,
    VazaoSaida TemperSaida hntaipiaSaida real

PROCEDURE EstacionarioFria
var i j integer
    Vespec Densidade real
    ArquivoParametros arquivoSaida text
begin
    Assign(ArquivoParametros PARAMFR PAR )
    Reset(ArquivoParametros)
    Readln(ArquivoParametros VazaoBombaCp ) (Vazao fluido primario (kg/s) )

    Readln(ArquivoParametros NodoFria),(NUMERO de NODOS na perna fria )
    Readln(ArquivoParametros Tpfria )
    Readln(ArquivoParametros Hpfria )
    Readln(ArquivoParametros Vpfria ),
    Readln(ArquivoParametros Mpfria ),
    Close(ArquivoParametros)

    H1ria = 0.001*HL(2/3 15*Tpfria 1 0E+5*PressaoSCP),
    Vespec = Vlab(1000*Hpfria PressaoSCP)
    Lcnsuade = 1.0/Vespec
    If H1ria = 0.0 then H1ria = V1ria/Vespec
    If V1ria = 0.0 then V1ria = M1ria*Vespec,

    for i = 1 to NodoFria do
        begin
            Massa [i] = Mpfria/NodoFria
            Ental [i] = Hpfria
            Temper[i] = Tpfria
            Dens [i] = Densidade
        end

    Assign(arquivoSaida PERNAFR SAJ )
    Rewrite(arquivoSaida)
    Write'n(arquivoSaida
        Parametros Estacionario da PERNA FRIA )
    Write'n(arquivoSaida VazaoBombaCp = VazaoBombaCp 12 ),
    WriteIn(arquivoSaida PressoSCP= PressaoSCP 12 )
    WriteIn(arquivoSaida, NodoFria= NodoFria b),
    WriteIn(arquivoSaida Tpfria = Tpfria 12 )
    WriteIn(arquivoSaida Hpfria = H1ria 12 )
    WriteIn(arquivoSaida Vpfria = V1ria 12 )
    WriteIn(arquivoSaida Mpfria = M1ria 12 ),
    Close(arquivoSaida)

end ( EstacionarioPernaFria )

```

```

=====
A vazao de entrada é fornecida pelo Gerador de Vapor
As condições do fluido na entrada é fornecida pelo Gerador de Vapor
A procedure calcula a vazao de saída e as condições do fluido na saída
versão 1b-1z-91 MN
=====
PROCEDURE DinamicoPernaFria( dTempo VazaoEntrada TemperEntrada
                               EntalpiaEntrada real
                               var VazaoSaida TemperSaida
                                   EntalpiaSaida real);

Label SAIDA
Var
  i j ii jj d# NodoDesloca                integer
  Veespec VolumeEntrada MassaEntrada      MassaEntradaNodo
  DensidEntrada Desloca FracaoDesloca
  x y, xx yy                               real,
Begin

(calcular condições de Entrada )
  If VazaoEntrada<0.0001 then VazaoEntrada =0.0001
  If (TemperEntrada=0) and (EntalpiaEntrada=0) then
    begin
      WriteLn(1st ERRO NA ENTRADA NA PERNA FRIA T=0 e H=0 )
      Halt end
  If (TemperEntrada = 0) and (EntalpiaEntrada>0) then
    TemperEntrada = 15/(1000*EntalpiaEntrada/100000+PressaoSCP) - 273.15;
  If (TemperEntrada > 0) and (EntalpiaEntrada=0) then
    EntalpiaEntrada = 0.001*HL(273.15+TemperEntrada/100000+PressaoSCP),
  Veespec = Vlsb(1000*EntalpiaEntrada/PressaoSCP)
  DensidEntrada = 1.0/Veespec
  MassaEntrada = VazaoEntrada*dTempo
  VolumeEntrada = MassaEntrada/Veespec
  Desloca = NodoPfria*VolumeEntrada/Vpfria
  MassaEntradaNodo = MassaEntrada/Desloca

  NodoDesloca = Trunc(Desloca)
  If NodoDesloca >= NodoPfria then
    begin WriteLn(1st ERRO NA VAZAO DE ENTRADA NA PERNA FRIA ),
      NodoDesloca = NodoPfria-1 #fracaoDesloca =0 end

  FracaoDesloca = Desloca - NodoDesloca
i calcula entalpia e vazao de SAIDA da perna fria )
  x = 0.0 y = 0.0
  If NodoDesloca > 0 then
    For i = NodoPfria downto (NodoPfria + 1 - NodoDesloca) do
      begin
        x = x + Ental[i]*Massa[i],
        y = y + Massa[i]
      end (for i)
  ii = NodoPfria - NodoDesloca
  x = x + FracaoDesloca*Ental[ii]*Massa[ii],
  y = y + FracaoDesloca*Massa[ii]
  EntalpiaSaida = x/y,
  VazaoSaida = y/dTempo

```

```

(redistribui condicoes do fluido na perna fria )
(distribuindo a entrada nos nodos iniciais )

If NodoDesloca = (NodoPfria-1) then
begin
  ii = NodoPfria
  Massa [ii] = FracaoDesloca*MassaEntrada+(1-FracaoDesloca)*Massa[ii],
  Ental [ii] = FracaoDesloca*EntalpiaEntrada+(1-FracaoDesloca)*Ental[ii]
  Temper[ii] = FracaoDesloca*TemperEntrada+(1-FracaoDesloca)*Temper[ii]
  Dens [ii] = FracaoDesloca*DensidEntrada+(1-FracaoDesloca)*Dens [ii]
end

If NodosDesloca <= (NodoPfria-2) then
begin
  For i = NodoPfria downto (NodoDesloca+2) do
  begin
    ii = i - 1
    Massa [i] = FracaoDesloca*Massa[ii]+(1-FracaoDesloca)*Massa[i],
    Ental [i] = FracaoDesloca*Ental[ii]+(1-FracaoDesloca)*Ental[i]
    Temper[i] = FracaoDesloca*Temper[ii]+(1-FracaoDesloca)*Temper[i]
    Dens [i] = FracaoDesloca*Dens [ii]+(1-FracaoDesloca)*Dens [i]
  end ( For i)

  ii = NodoDesloca + 1
  Massa [ii] = FracaoDesloca*MassaEntradaNodo+(1-FracaoDesloca)*Massa[ii]
  Ental [ii] = FracaoDesloca*EntalpiaEntrada+(1-FracaoDesloca)*Ental[ii]
  Temper[ii] = FracaoDesloca*TemperEntrada+(1-FracaoDesloca)*Temper[ii]
  Dens [ii] = FracaoDesloca*DensidEntrada+(1-FracaoDesloca)*Dens [ii]

  If (NodoDesloca > 0) then
  begin
    For i = NodoDesloca downto 1 do
    begin
      Massa [i] = MassaEntradaNodo,
      Ental [i] = EntalpiaEntrada,
      Temper[i] = TemperEntrada,
      Dens [i] = DensidEntrada,
    end, ( For i)
  end ( If )

  end, (If NodoDesloca<= )

SAIDA
TemperSaida = TL(1000*EntalpiaSaida,1 OR+5*PressaoSCP) - 273.15,

End (dinamicoPernaFria)

Begin ( principal para teste )

pressaoSCP = 137 0 , ( bar)

EstacionarioPfria
dTempo = 1 864
VazaoEntrada = 210 0,
TemperEntrada = 276 0,
EntalpiaEntrada = 0 0,
clrscr
DinamicoPernaFria( dTempo,VazaoEntrada TemperEntrada EntalpiaEntrada,
VazaoSaida TemperSaida EntalpiaSaida)
Writeln( vazaoSaida= , VazaoSaida 14),
Writeln( TemperSaida= TemperSaida 14)
Writeln( entalpiaSaida= entalpiaSaida 14),

End

```

```

(=====)
Perna Quente sem Pressurizador
A vazao de saida e fornecida pelo Gerador de Vapor
As condicoes do fluido na entrada e fornecida pelo Upchamber
A procedure calcula a vazao de entrada e as condicoes do fluido na saida
versao 1b-12-91 HN
(=====)
PROCEDURE DinamicoPernaQte2( dtempo VazaoSaida TemperEntrada
                               EntalpiaEntrada real
                               var VazaoEntrada TemperSaida
                               EntalpiaSaida real)

Label saida1 SAIDA
Var
  i : ii jj dN NodosDesloca          Integer
  VazaoQ VolumeEntrada MassaEntrada MassaSaida VolumeSaida
  DensidEntrada FracaoDesloca Massa0 MassaEntradaNodo
  x y xx yy                          real
Begin
{calcular condicoes de Entrada }
  If VazaoSaida<0.0001 then VazaoSaida =0.0001
  If (TemperEntrada=0) and (EntalpiaEntrada=0) then
    begin
      WriteLn(1st ERRO NA ENTRADA DA PERNA FRIA T=0 e H=0 ),
      Halt end
  If (TemperEntrada = 0) and (EntalpiaEntrada>0) then
    TemperEntrada = TL(1000*EntalpiaEntrada 1.0e+5*PressaoSCP) - 273.15
  If (TemperEntrada > 0) and (EntalpiaEntrada=0) then
    EntalpiaEntrada = 0.001*HL(273.15+TemperEntrada 1.0e+5*PressaoSCP)
  VazaoQ = Vlab(1000*EntalpiaEntrada PressaoSCP)
  DensidEntrada = 1.0/VazaoQ

{calcular Volume e Massa de saida da perna quente a partir da vazao saida}
  MassaSaida = VazaoSaida*dtempo Massa0 = MassaSaida
  EntalpiaSaida = 0.0 NodosDesloca = 0
  For i = NodosQte downto 2 do
    If MassaSaida>Massa[i] then
      begin
        NodosDesloca = NodosDesloca + 1
        MassaSaida = MassaSaida-Massa[i]
        EntalpiaSaida = EntalpiaSaida + Massa[i]*Ental[i]
      end else goto Saidal

Saidal
  FracaoDesloca = MassaSaida/Massa[i-1]
  EntalpiaSaida = (EntalpiaSaida +
    FracaoDesloca*Massa[i-1]*Ental[i-1])/Massa0,
  TemperSaida = TL(1000*EntalpiaSaida 1.0e+5*PressaoSCP) - 273.15,
  If FracaoDesloca >= 1.0 then
    begin WriteLn(1st ERRO NA VAZAO DA SAIDA DA PERNA QUENTE )
      NodosDesloca = NodosQte-1 FracaoDesloca =0 end

{ calcular Vazao de entrada a partir de volume de saida ie NodosDesloca }
  MassaEntradaNodo = DensidEntrada*VpQte/NodosQte
  MassaEntrada = (NodosDesloca+FracaoDesloca)*MassaEntradaNodo,
  VazaoEntrada = MassaEntrada/dtempo

WriteLn( NodosDesloca = nododesloca 14)
WriteLn( FracaoDesloca = fracodesloca 11)
WriteLn( VazaoEntrada= Vazaoentrada 14)
WriteLn( VazaoSaida = VazaoSaida 14)
WriteLn( TemperEntrada= TemperEntrada 14)
WriteLn( EntalpiaEntrada= EntalpiaEntrada 14)

{redistribui condicoes do fluido na perna quente }
{distribuindo a entrada nos nodos iniciais }

```



```

If NodoDesloca = (NodoPqte-1) then
begin
  ii = NodoPqte
  Massa [ii] = FracaoDesloca*MassaEntrada+(1-FracaoDesloca)*Massa[ii]
  Ental [ii] = FracaoDesloca*EntalpiaEntrada+(1-FracaoDesloca)*Ental[ii],
  Temper[ii] = FracaoDesloca*TemperEntrada+(1-FracaoDesloca)*Temper[ii]
  Dens [ii] = FracaoDesloca*DensidEntrada+(1-FracaoDesloca)*Dens [ii]
end

If NodoDesloca <= (NodoPqte-2) then
begin
  For i = NodoPqte downto (NodoDesloca+2) do
  begin
    ii = i - 1
    Massa [i] = FracaoDesloca*Massa[ii]+(1-FracaoDesloca)*Massa[i]
    Ental [i] = FracaoDesloca*Ental[ii]+(1-FracaoDesloca)*Ental[i]
    Temper[i] = FracaoDesloca*Temper[ii]+(1-FracaoDesloca)*Temper[i];
    Dens [i] = FracaoDesloca*Dens [ii]+(1-FracaoDesloca)*Dens [i]
  end { for i}

  ii = NodoDesloca + 1
  Massa [ii] = FracaoDesloca*MassaEntradaNodo+(1-FracaoDesloca)*Massa[ii],
  Ental [ii] = FracaoDesloca*EntalpiaEntrada+(1-FracaoDesloca)*Ental[ii],
  Temper[ii] = FracaoDesloca*TemperEntrada+(1-FracaoDesloca)*Temper[ii],
  Dens [ii] = FracaoDesloca*DensidEntrada+(1-FracaoDesloca)*Dens [ii],

  If (NodoDesloca > 0) then
  begin
    For i = NodoDesloca downto 1 do
    begin
      Massa [i] = MassaEntradaNodo,
      Ental [i] = EntalpiaEntrada
      Temper[i] = TemperEntrada
      Dens [i] = DensidEntrada
    end { For i}
  end { if }

end {if NodoDesloca<= }

writeln( saida do dinamico Perna Quente )
writeln( NodoPqte = , nodoPqte 3)
for i = 1 to (nodoPqte +1) do writeln( massa i 4 Massa[i] 18 /), readln,
for i = 1 to (nodoPqte +1) do writeln( ental i 4,ental[i] 18 /), readln,
for i = 1 to (nodoPqte +1) do writeln( tempe i 4 temper[i] 18 /), readln,
for i = 1 to (nodoPqte +1) do writeln( dens i 4 dens [i] 18 /), readln,

SAIDA
Temperbaida = TL(1000*Entalpiabaida 1 0)+5*PressaoSCP) - 273 15.

End (dinamicoPernaQte )

```

```

(-----)
Perna Quente com Pressurizador
A vazao de saida e fornecida pelo Gerador de Vapor
As condicoes do fluido na entrada e fornecida pelo Upchamber e Pressuriz
A vazao pelo Upchamber e fixa
A procedura calcula a vazao de surtoFz e as condicoes do fluido na saida
  (surto positivo= antes p/ pqte surto negativo= said da pqte)
  versao 1b-12-91 HN
(-----)
PROCEDURE DinamicoPernaQte( dTempo VazaoSaida VazaoEntrada
  TemperEntradaPz EntalpiaEntradaPz
  TemperEntrada EntalpiaEntrada real
  var Surto TemperSaida EntalpiaSaida real)
Label Saijal SAIIJA
Var
  j j 11 i j dN NodosLoca integer
  Vespec VolumeEntrada VolumeEntradaPz
  MassaEntrada MassaEntradaPz DensidEntradaPz
  MassaSaida VolumeSaida FracaoDesloca
  Massa0 MassaEntradaNodo
  x y xx yy real
Begin
  (calcular Volume e Massa de saida da perna quente a partir da vazao saida)
  If VazaoSaida<0 0001 then VazaoSaida =0 0001
  MassaSaida = VazaoSaida*dTempo Massa0 = MassaSaida,
  EntalpiaSaida = 0 0  NodoDesloca = 0
  For i = NodoPqte downto 2 do
    If MassaSaida>Massa[i] then
      begin
        NodoDesloca = NodoDesloca + 1
        MassaSaida = MassaSaida-Massa[i]
        EntalpiaSaida = EntalpiaSaida + Massa[i]*Ental[i]
      end else goto saida1
  Saijal
  FracaoDesloca = MassaSaida/Massa[1-1]
  EntalpiaSaida = (EntalpiaSaida +
    FracaoDesloca*Massa[1-1]*Ental[1-1])/Massa0
  TempSaida = TL(1000*EntalpiaSaida 1 0k+5*PressaoSCP) - 273 15
  If NodoDesloca >= NodoPqte then
    begin WriteLn( ERRO NA VAZAO DE SAIDA NA PERNA QUENTE )
    NodoDesloca = NodoPqte-1 FracaoDesloca =0 end
  (calcular condicoes de entrada da canera )
  If (TemperEntrada=0) and (EntalpiaEntrada=0) then
    begin
      WriteLn(1st ERRO NA ENTRADA DA PERNA QUENTE 1=0 e H=0 )
      Halt end
  If (TemperEntrada = 0) and (EntalpiaEntrada>0) then
    TemperEntrada = TL(1000*EntalpiaEntrada 1 0k+5*PressaoSCP) - 273 15
  If (TemperEntrada > 0) and (EntalpiaEntrada=0) then
    EntalpiaEntrada = 0 001*HL(273 15+TemperEntrada 1 0k+5*PressaoSCP)
  Vespec = Vlsb(1000*EntalpiaEntrada PressaoSCP)
  DensidEntrada = 1 0/Vespec
  ( do pressurizador )
  If (TemperEntradaPz > 0) and (EntalpiaEntradaPz 0) then
    EntalpiaEntradaPz = 0 001*HL(273 15+TemperEntradaPz 1 0k+5*PressaoSCP),
    Vespec = Vlsb(1000*EntalpiaEntradaPz PressaoSCP)
    DensidEntradaPz = 1 0/Vespec
  ( calcular Vazao de surtoFz a partir de volume de saida, ie NodoDesloca )
  MassaEntrada = vazaoEntrada*dTempo
  VolumeEntrada = MassaEntrada/DensidEntrada
  VolumeSaida = Vpqte*(NodoDesloca+FracaoDesloca)/NodoPqte
  VolumeEntradaPz = VolumeSaida - VolumeEntrada
  MassaEntradaPz = VolumeEntradaPz*DensidEntradaPz,
  surto = MassaEntradaPz/dTempo (pos = entri p/pqte)

```

```

( atualiza as propr fisicas da entrada juntado surto e surto 0 )
If surto > 0 then
begin
  EntalpiaEntrada = EntalpiaEntrada*MassaEntrada +
                    kntalpiaEntrada*Z*MassaEntrada*Z
  MassaEntrada = MassaEntrada + MassaEntrada*Z
  EntalpiaEntrada = EntalpiaEntrada/MassaEntrada
  TemperEntrada = TL(1000*entalpiaEntrada / (k+b*PressaoSCP) - 2/3 16
  Vespcc = Vlab(1000*EntalpiaEntrada PressaoSCP)
  DensidEntrada = 1 0/Vespcc
end { If surto }

MassaEntradaNode = DensidEntrada*Vqte/Noouqte,

(redistribui condicoes do fluido na perna quente )
(distribuido a entrada nos nodos iniciais )

If NodeDesloca = (NodePqte-1) then
begin
  ii = NodePqte
  Massa [ii] = FracaoDesloca*MassaEntrada+(1-FracaoDesloca)*Massa[ii]
  Ental [ii] = FracaoDesloca*EntalpiaEntrada+(1-FracaoDesloca)*ental[ii],
  Temper[ii] = FracaoDesloca*TemperEntrada+(1-FracaoDesloca)*Temper[ii]
  Dens [ii] = FracaoDesloca*DensidEntrada+(1-FracaoDesloca)*Dens [ii]
end

If NodeDesloca <= (NodePqte-2) then
begin
  For i = NodePqte downto (NodeDesloca+2) do
  begin
    ii = i - 1
    Massa [i] = FracaoDesloca*Massa[ii]+(1-FracaoDesloca)*Massa[i],
    Ental [i] = FracaoDesloca*Ental[ii]+(1-FracaoDesloca)*ental[i],
    Temper[i] = FracaoDesloca*Temper[ii]+(1-FracaoDesloca)*Temper[i],
    Dens [i] = FracaoDesloca*Dens [ii]+(1-FracaoDesloca)*Dens [i]
  end { For i }

  ii = NodeDesloca + 1
  Massa [ii] = FracaoDesloca*MassaEntradaNode+(1-FracaoDesloca)*Massa[ii],
  Ental [ii] = FracaoDesloca*EntalpiaEntrada+(1-FracaoDesloca)*ental[ii],
  Temper[ii] = FracaoDesloca*TemperEntrada+(1-FracaoDesloca)*Temper[ii],
  Dens [ii] = FracaoDesloca*DensidEntrada+(1-FracaoDesloca)*Dens [ii]

  If (NodeDesloca > 0) then
  begin
    For i = NodeDesloca downto 1 do
    begin
      Massa [i] = MassaEntradaNode
      Ental [i] = EntalpiaEntrada
      Temper[i] = TemperEntrada
      Dens [i] = DensidEntrada,
    end { For i }
  end { If }

end, { If NodeDesloca <= }

SAIDA
TemperSaída = TL(1000*EntalpiaSaída / (k+b*PressaoSCP) - 2/3 16,

End {dinamicoPernaQte }

```