

-Transitórios Hidráulicos- Proteção de instalação de recalque através de tanque hidropneumático

Engenheiro REINALDO MILLER MARTINS

1. OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar os estudos referentes aos fenômenos que ocorrem em um sistema de adução de água por recalque, durante uma falha acidental no fornecimento da energia elétrica aos motores das bombas.

Esses fenômenos transitórios ocorrem, de um modo geral, em decorrência de qualquer manobra no sistema de adução, apresentando-se mais pronunciados em manobra no sistema de adução, apresentando-se mais pronunciados em manobras rápidas e, os efeitos advem da parada acidental do bombeamento, uma vez que não há tempo para a realização da manobra lenta com o desligamento programado dos conjuntos elevatórios. É este o caso que interessa ao engenheiro como subsídio para o projeto seguro do sistema de adução.

O desenvolvimento do trabalho visará principalmente mostrar os efeitos dos fenômenos transitórios, acima mencionados, para uma instalação real e, após a análise, serão considerados instalados, no sistema de recalque, dispositivos que visam manter os valores extremos das pressões entre limites que se compatibilizam com o dimensionamento

econômico da instalação. Encerra-se o trabalho com a comparação dos efeitos dos dispositivos de proteção no sistema de recalque.

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE RECALQUE

O sistema de recalque está composto basicamente de:

2.1. Uma Estação Elevatória com:

2.1.1. Três conjuntos elevatórios, sendo um de reserva, com as seguintes características unitárias:

- bomba

tipo: Bipartida Horizontal com Dupla Sucção

velocidade: 1180 rpm
rendimento: 82,5%
potência consumida: 870 CV
altura total: 100 mca
vazão: 538 l/s

momento de inércia: 2,41 kgf.m.s²
acoplamento: luva elástica

- motor elétrico

tipo: assíncrono
potência: 1000 CV
momento de inércia: 7,06 kgf.m.s²
tensão: 4160 V
Concepção do Sistema: Ver Figura 1

2.1.2. Três válvulas de retenção de aço, tipo portinhola, com contra peso, diâmetro 500 mm, para evitar o retorno da água da adutora, sendo uma para cada bomba.

2.1.3. Três válvulas gaveta de aço, diâmetro 500 mm, para isolar a unidade de bombeamento.

2.1.4. Um barrilete (manyfold) de aço que liga as unidades de bombeamento à adutora.

2.1.5. Um tanque hidropneumático de aço localizado nas proximidades da estação elevatória, para proteger a instalação contra os efeitos dos transitórios hidráulicos.

A Figura 1 mostra um esquema da Estação Elevatória.

2.2. Uma linha adutora com:

comprimento: 2660 m
diâmetro: 900 mm
velocidade: 1,69 m/s
altura estática: 92,4 m
perda de carga: 7,6 mca

coeficiente de perda de carga

universal f: 0,018
material: ferro fundido ductil Série K 9

módulo de elasticidade do material: 17000 kgf/mm²

A Figura 2 mostra o perfil da adutora.

3. CONCEITUAÇÃO DO FENÔMENO

Interrompendo a alimentação elétrica dos motores dos conjuntos elevatórios, em consequência da falha no sistema elétrico, a energia cinética do conjunto girante tende ao valor nulo e, em consequência, ocorre a súbita diminuição da pressão na adutora junto à bomba; essa diminuição se propaga em toda a linha de recalque até o reservatório de jusante, onde se reflete e volta em direção à bomba, anulando o efeito da primeira perturbação. Tal perturbação, ao atingir a válvula de retenção fechada adjacente à bomba, aí se reflete como sobrepressão e se propaga novamente na adutora para o reservatório de jusante (Ver Fig. 3).

A velocidade de propagação da perturbação de pressão "a" — ou simplesmente **celeridade**, varia em função das propriedades físicas do meio.

4. EQUAÇÕES BÁSICAS DO ESCOAMENTO TRANSITÓRIO

O problema geral do Transitório Hidráulico pode ser formulado da seguinte forma:

Numa tubulação elástica de diâmetro D , espessura e , cujo material possui módulo de elasticidade E e módulo de Poisson μ , sujeita a vínculos de instalação c_1 , escoo um líquido de peso específico γ e módulo de elasticidade volumétrico K . O escoamento submetido à ação da gravidade e a forças de atrito poderá ser considerado unidimensional, isto é, as propriedades, pressão e velocidade, são admitidas uniformes numa dada secção transversal da tubulação de área A .

Se uma perturbação qualquer no escoamento permanente submetido a determinadas condições iniciais acarreta uma situação transitória deveremos determinar as funções $p(x, t)$ ou $H(x, t)$ e $V(x, t)$, isto é, as pressões, ou cargas e as velocidades em dada secção da tubulação definida pela abscissa x e em cada instante t . São impostas condições hidráulicas operacionais para os equipamentos (bombas, válvulas, turbinas, etc.) durante a ocorrência da situação transitória — condições de contorno.

A solução do problema transitório envolve, portanto, a determinação das variáveis dependentes $p(x, t)$ e $V(x, t)$ ou, $H(x, t)$ — carga e $Q(x, t)$ — vazão, em função das variáveis independentes x e t .

4.1. EQUAÇÃO DO MOVIMENTO

A Figura 4 mostra um elemento de fluido de área transversal A e comprimento δx . A área A é no caso geral função de x , a coordenada defi-

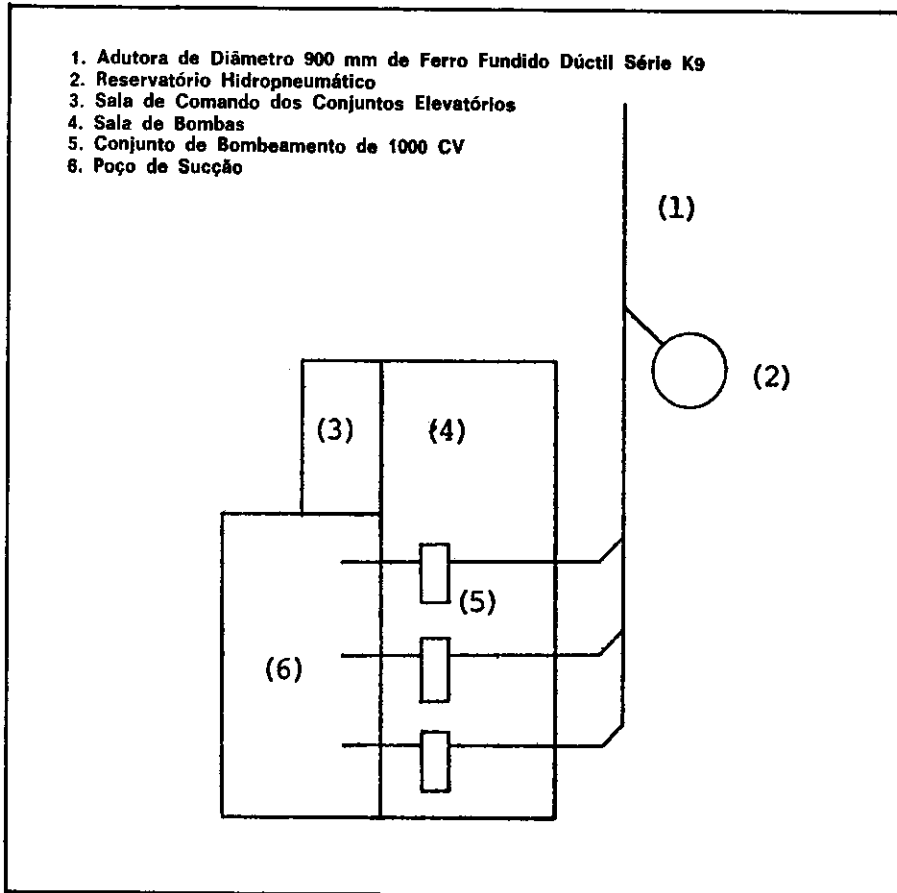


Figura 1 — Arranjo dos equipamentos na Elevatória

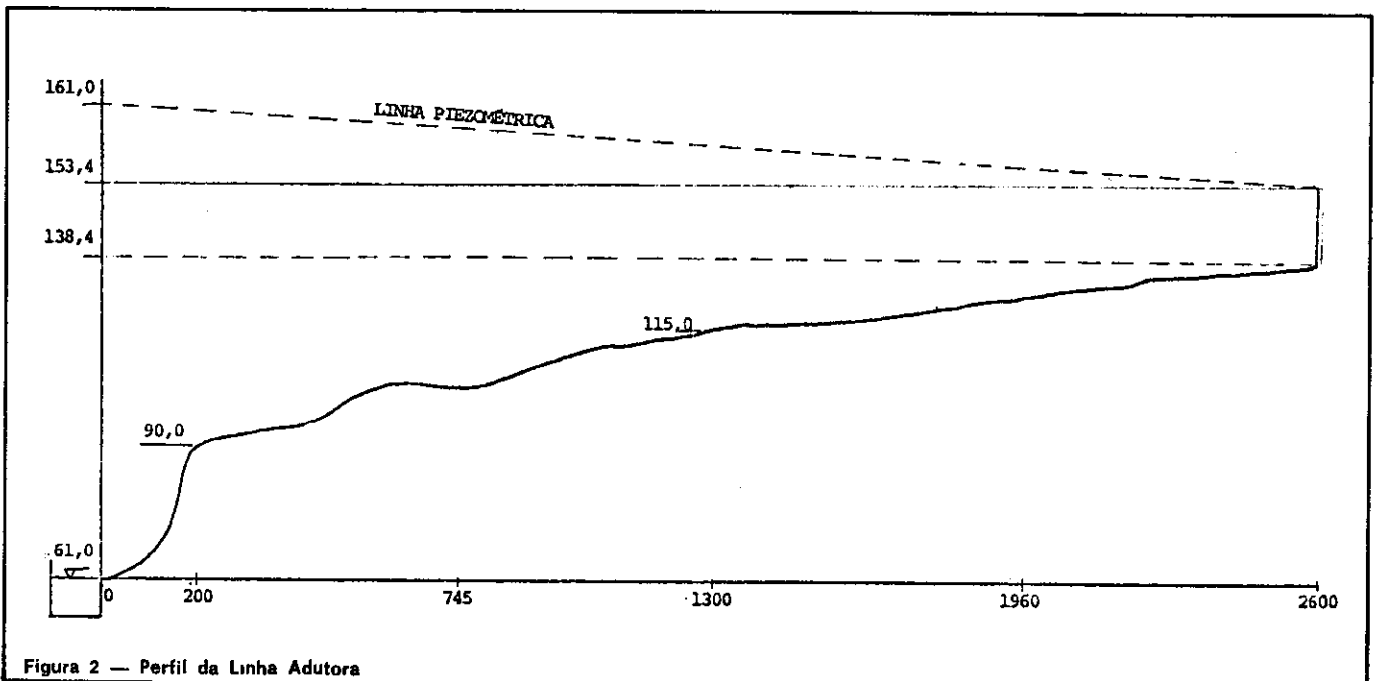


Figura 2 — Perfil da Linha Adutora

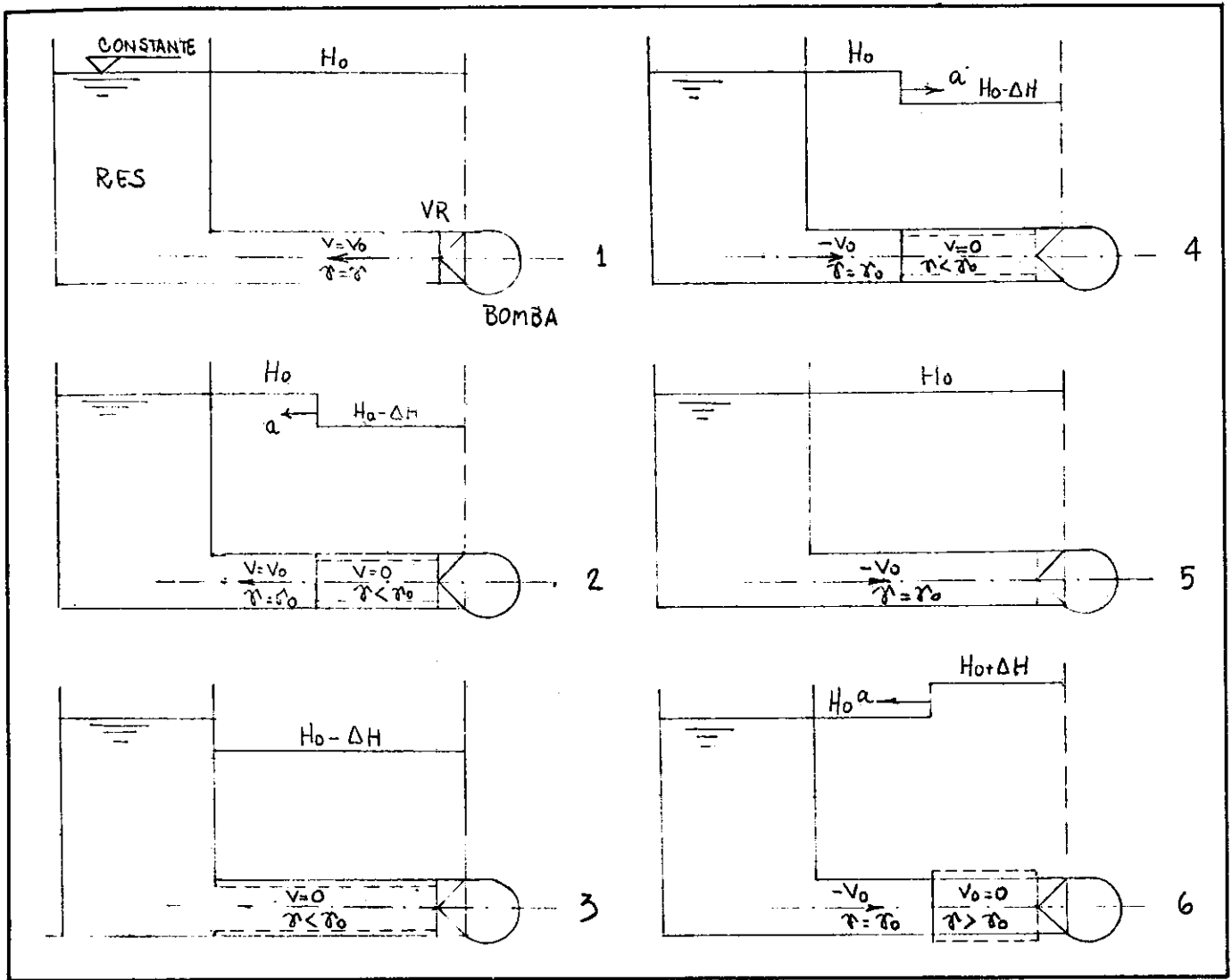


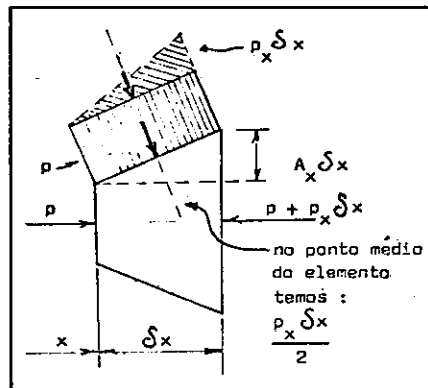
Figura 3 — Seqüência das perturbações de pressão

nida ao longo do eixo da tubulação de origem arbitrária e orientada positivamente no sentido do escoamento. A tubulação está inclinada com a horizontal, de um ângulo α , positiva quando a tubulação é ascendente com x crescente, e negativo em caso contrário.

As forças agindo no elemento na direção x são as de contato normais (de pressão) nas faces transversais e as componentes de atrito e pressão (note que o elemento se deforma) na superfície lateral do elemento. Adicionamos a estas forças do campo gravitacional que possui uma componente na direção x . A soma das forças sobre o elemento é igual a sua massa multiplicada pela aceleração.

$$\rho A - \left[\rho A + (\rho A) \frac{\delta x}{x} \right] + \left(p + \frac{\rho \delta x}{2} \right) A \delta x - \tau_0 \pi D \delta x - \rho A \delta x \sin \alpha = \rho A \delta x \dot{V}$$

Onde:
Comentários sobre o termo (1)



p — pressão atuante na secção x

$p_x \delta x$ — acréscimo de pressão devido ao transitório, para a secção $x + \delta x$

$\frac{p_x \delta x}{2}$ — acréscimo médio de pressão no elemento de comprimento δx .

$A_x \delta x$ — acréscimo de área da secção transversal do tubo devido ao transitório

$\left(p + \frac{p_x \delta x}{2} \right)$ — pressão média nas laterais do tubo

$A_x \delta x$ — variação de área da secção transversal segundo o eixo x .

$$\left(p + \frac{p_x \delta x}{2} \right) \cdot (A_x \delta x) -$$

— componente na direção x da força de pressão nas laterais do elemento de comprimento δx .

Eliminando os termos $(\delta x)^2$ e simplificando, a expressão resulta:

$$\rho_x A - \tau_0 \pi D - \rho g A \sin \alpha - \rho A \dot{V} = 0$$

Nos cálculos, durante a ocorrência do transitório, a tensão de cisalhamento τ_0 será considerada igual a aquela obtida na situação de escoamento permanente. Assim, em termos do coeficiente de atrito f (Darcy Weisbach) resulta:

$$\tau_0 = \frac{\rho f V^2}{8} = \rho \frac{f}{8} |V| |V|$$

Esta equação é obtida da equação de Darcy-Weisbach:

$$\frac{\Delta p}{\rho} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2}$$

TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS

A aceleração \dot{V} do elemento de fluido pode ser calculada em termos das acelerações convectiva VV_x e local V_t :

$$\dot{V} = VV_x + V_t$$

Substituindo os valores de τ_o e \dot{V} na expressão inicial vem:

$$\frac{p_x}{\rho} + VV_x + V_t + g \operatorname{sen} \alpha + f \frac{V|V|}{2D} = 0 \quad (1)$$

Utilizando a carga piezométrica H , da Figura 4 podemos escrever:

$\frac{p}{\gamma} = H - Z$, onde Z é a cota da linha de centro da tubulação, relativamente a um referencial (PHR) arbitrário. É imediato que $p_x = \rho g (H_x - Z_x) = \rho g (H_x - \operatorname{sen} \alpha)$ se imaginarmos como realmente ocorre para líquidos, que a variação de p com x é desprezível face a H_x e Z_x .

A expressão (1) fica:

$$g H_x + VV_x + V_t + \frac{fV|V|}{2D} = 0 \quad (2)$$

□ Note que, a equação (1) é válida para um fluido qualquer líquido ou gás enquanto que a equação (2) é válida para líquidos.

□ Se usarmos outra expressão para o atrito o último termo da equação deverá ser modificado visando atender à formulação proposta.

Por exemplo:

$$\frac{fV|V|}{2D} \rightarrow v \left\{ v \right\}^{n-1} / D^m$$

□ A equação (2) deverá ser verificada em qualquer situação e, especificamente, em regime permanente $V_x = 0$ e $V_t = 0$ teremos:

$$g H_x = \frac{fV|V|}{2D} \text{ ou } g \frac{\Delta H}{\Delta x} = \frac{fV|V|}{2D}$$

com o que:

$$\Delta H = f \frac{\Delta x}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \text{ que é a equação de Darcy-Weisbach.}$$

4.2. EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Na Figura 5 o volume de controle de comprimento δx é fixo na tubulação e com ela se move na direção x proveniente de sua movimentação longitudinal efetuada com velocidade u . A equação da continuidade estabelece que o saldo dos fluxos de massa que entram e saem do volume de controle é igual à variação com o tempo da massa contida no volume de controle ou:

$$- \left[\rho A (V - u) \right]_x \delta x = \frac{D}{Dt} (\rho A \delta x)$$

Notando que:

$$\frac{D}{Dt} \delta x = u_x \delta x$$

Vem:

$$(\rho AV)_x - (\rho Au)_x + \frac{D}{Dt}$$

$$(\rho A) + \rho Au_x = 0$$

A derivada total $\frac{D}{Dt}$ é calculada pela soma da derivada local $\frac{\partial}{\partial t}$ e da derivada de transporte $u \frac{\partial}{\partial x}$ - note que estamos seguindo o movimento da tubulação cuja velocidade é u .

Resulta:

$$(\rho AV)_x - (\rho A)_x u - \rho Au_x + u(\rho A)_x + (\rho A)_t + \rho Au_x = 0$$

e daí simplificando vem:

$$(\rho AV)_x + (\rho A)_t = 0$$

que pode ser expandida para:

$$\rho AV_x + V(\rho A)_x + (\rho A)_t = 0$$

Os dois últimos termos do primeiro membro representam a derivada total com relação ao movimento do elemento de fluido.

De fato:

$$\frac{D}{Dt} (\rho A) = (\rho A)_t + V(\rho A)_x$$

Portanto:

$$\rho AV_x + \frac{D}{Dt} (\rho A) = 0 \text{ e daí}$$

$$\frac{1}{\rho A} \left[\rho \dot{A} + V \dot{A} \right] + V_x = 0 \text{ ou:}$$

$$\frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{\rho}}{\rho} + V_x = 0 \quad (3)$$

Esta equação é válida para quaisquer tubos, convergente ou divergente, cilíndricos ou não. É também aplicável a tubos altamente flexíveis e para o escoamento de gases ou líquidos.

O primeiro termo A/A é indicativo da elasticidade da tubulação, precisamente relaciona a expansão transversal da tubulação por unidade de área e por unidade de tempo.

O segundo termo $\dot{\rho}/\rho$ é indicativo da compressibilidade de fluido. Claro está que em tubos flexíveis facilmente deformáveis $\frac{\dot{\rho}}{\rho} \ll \frac{\dot{A}}{A}$ e para estes casos a equação

(3) se simplifica:

$$\frac{\dot{A}}{A} + V_x = 0 \quad (4)$$

Para os fluidos em geral temos:

$$\frac{\dot{\rho}}{\rho} = \frac{\dot{p}}{K} \quad (5)$$

Para a tubulação elástica de parede fina, sabemos que:

$$\sigma_T = \frac{pD}{2e} \quad \dot{\sigma}_T = \frac{D}{3e} \dot{p} \text{ onde:}$$

σ_T é a tensão transversal na parede do tubo.

Dividindo a expressão anterior pelo módulo de elasticidade E do material da tubulação obtemos a deformação transversal relativa ϵ_T . Ou

$$\epsilon_T = \frac{D}{2Ee} \dot{p}$$

Multiplicando ϵ_T por $\frac{D}{2}$

obtemos a deformação radial e multiplicando pelo perímetro (πD) da tubulação, obteremos a variação com o tempo da área da tubulação:

$$\dot{A} = \frac{dA}{dt} = \dot{\epsilon}_T \cdot \frac{D}{2} \cdot \pi D = \frac{D \dot{p}}{2Ee} \cdot \frac{D}{2} \cdot \pi D = \frac{\dot{p} D}{Ee} A$$

Daí:

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{p} D}{eE} = 2 \dot{\epsilon}_T \quad (6)$$

Utilizando o coeficiente de poisson μ , vem:

$$\dot{\epsilon}_T = \frac{1}{E} \left[\dot{\sigma}_T - \mu \dot{\sigma}_L \right] \quad (7)$$

Substituindo (7) em (6) e daí em (3) com o valor de $\frac{\dot{\rho}}{\rho}$ dado em (5)

obtemos

$$\frac{2}{E} \left[\dot{\sigma}_T - \mu \dot{\sigma}_L \right] + \frac{\dot{p}}{K} + V_x = 0$$

Para a determinação de $\dot{\zeta}_L$ é necessária a definição dos vínculos da tubulação. Consideremos três casos:

Caso (a) — Para a tubulação ancorada num dos extremos:

$$\dot{\zeta}_L = \frac{\rho D}{4e}$$

Caso (b) — Para a tubulação ancorada nos dois extremos, i.é, impedida de se movimentar axialmente:

$$\dot{\zeta}_L = \mu \dot{\zeta}_T$$

Caso (c) — Para a tubulação com os extremos livres — juntas de expansão ou montagem

$$\dot{\zeta}_L = 0$$

A expressão (8) toma a forma:

$$\frac{\dot{p}}{\rho} + a^2 V_x = 0 \quad (9)$$

onde:

$$a^2 = \frac{K/\rho}{1 + \frac{K}{E} \frac{D}{e} c_1} \quad (10)$$

e c_1 é definido para cada caso com os valores:

$$\begin{aligned} \text{Caso (a)} & - c_1 = 1 - \mu/2 \\ \text{Caso (b)} & - c_1 = 1 - \mu^2 \\ \text{Caso (c)} & - c_1 = 1 \end{aligned} \quad (11)$$

Introduzindo a carga H , na expressão (9)

$$p = \gamma (H - Z)$$

$$\dot{p} = \gamma (\dot{H} - \dot{Z}) = \gamma [(VH_x + H_t) - (VZ_x + Z_t)]$$

Admitindo que a tubulação não tenha movimento transversal $Z_t = 0$ e $Z_x = \text{sen } \alpha$. Daí, a Equação (9) se escreve:

$$VH_x + H_t - V \text{sen } \alpha + \frac{a^2}{g} V_x = 0 \quad (12)$$

□ A equação (12) é a equação da continuidade. H e V são as variáveis dependentes a x e t as variáveis independentes.

a = dimensionalmente homogênea a uma velocidade, é a celeridade mencionada no item 3.

O sistema de equações (2) e (12) permitirão a solução dos problemas envolvendo transitórios hidráulicos.

Na expressão (12) os termos $V \text{sen } \alpha$ e VH_x são desprezíveis face aos valores de H_t e $\frac{a^2}{g} V_x$ e VV_x face

a V_t como se pode deprender das análises de exercícios numéricos.

Desta forma, os problemas de transitórios poderão ser analisados com boa precisão através das duas equações:

$$L_1 = gH_x + V_t + \frac{f}{2D} V |V| = 0 \quad (13)$$

$$L_2 = H_t + \frac{a^2}{g} V_x = 0 \quad (14)$$

que resultam respectivamente da equação do movimento — eq. (2) e da equação da continuidade — eq. (12).

Claro está, no entanto que para tubulações altamente flexíveis, onde a é da ordem de grandeza de V as simplificações acima não são possíveis. É o caso, por exemplo, dos transitórios que ocorrem no sistema

circulatório dos seres vivos. Para as veias ou artérias a flexibilidade é tão grande de forma que:

$$a \approx \sqrt{\frac{Ee}{\rho D}} \quad \text{pois} \quad \frac{1}{K} \ll \frac{D}{eE}$$

resultando celeridade da ordem de 10 cm/seg.

4.3. RETAS CARACTERISTICAS

As equações do movimento (13) e da continuidade (14) formam um par de equações de derivadas parciais em termos das duas variáveis dependentes H e V e das variáveis independentes x e t .

As duas equações serão transformadas em quatro equações diferenciais ordinárias através do método das características como a seguir se

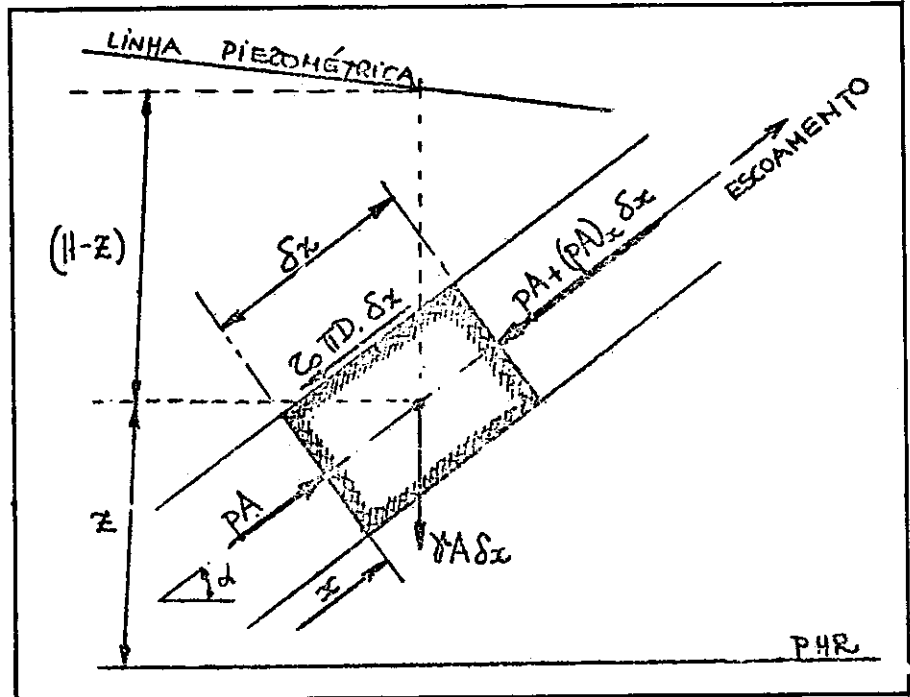


Figura 4 — Elemento de Fluido — Forças Aplicadas

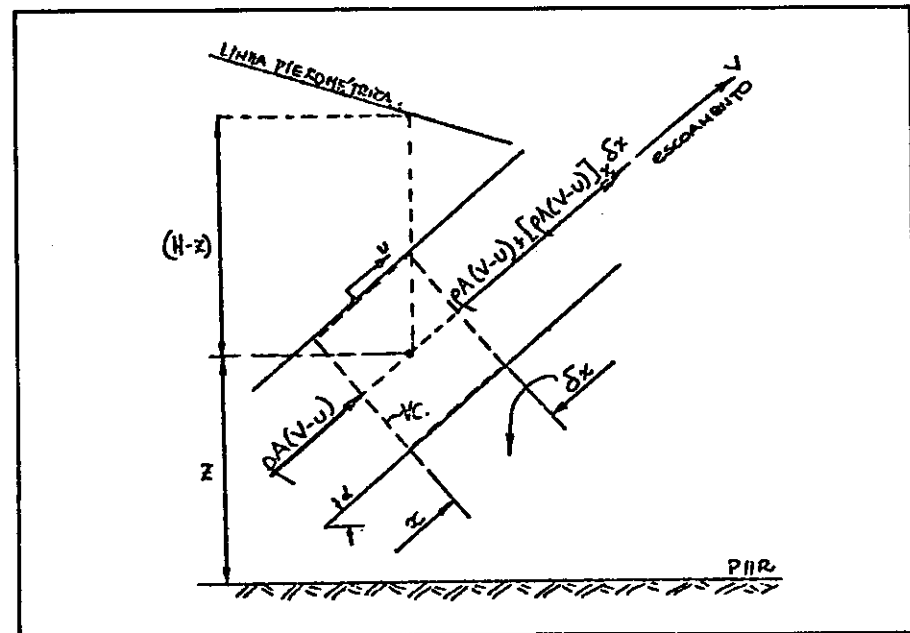


Figura 5 — Volume de Controle

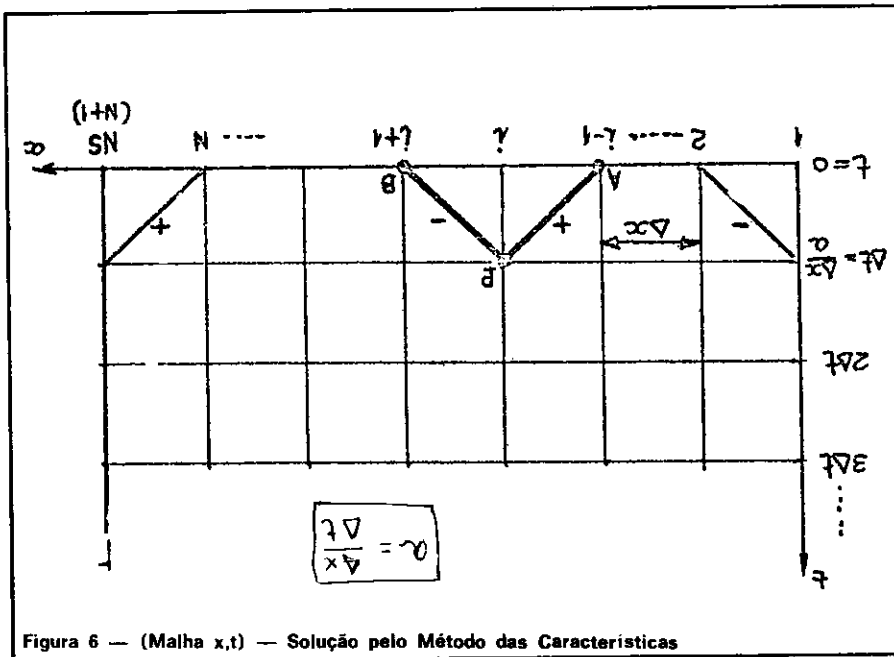


Figura 6 — (Malha x,t) — Solução pelo Método das Características

expõe. Combinemos linearmente as equações (13) e (14) utilizando um fator λ , a priori desconhecido, de forma que:

$$L = L_1 + \lambda L_2 = 0$$

Agrupando os termos obtemos:

$$L = \lambda \left[H_x \frac{g}{a} + H_t \right] + \left[V_x \lambda \frac{a^2}{g} + V_t \right] + \frac{f |V| V}{2D} = 0 \quad (15)$$

Admitamos que x seja função do tempo t . Desta forma, podemos escrever: (do cálculo)

$$\frac{dH}{dt} = H_x \frac{dx}{dt} + H_t \quad (16)$$

e:

$$\frac{dV}{dt} = V_x \frac{dx}{dt} + V_t \quad (16.a)$$

Comparando-se agora (15) com (16) notamos que, se:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{g}{\lambda} = \frac{\lambda a^2}{g} \quad (17)$$

então, a equação (15) será a equação diferencial ordinária:

$$\lambda \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{f |V| V}{2D} = 0 \quad (18)$$

A solução de (17) mostra que dois valores de λ , $\lambda = \pm \frac{g}{a}$ satisfazem a condição desejada (18) e, nestas condições:

$$\frac{dx}{dt} = \pm a \quad (19)$$

Teremos então, os seguintes pares de equações diferenciais ordinárias:

— um par para $\lambda = + \frac{g}{a}$

— um par para $\lambda = - \frac{g}{a}$

$$\frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{f |V| V}{2D} = 0 \quad (20)$$

$$\frac{dx}{dt} = + a \quad (21)$$

$$- \frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{f |V| V}{2D} = 0 \quad (22)$$

$$\frac{dx}{dt} = - a \quad (23)$$

Concluimos portanto que as duas equações originais a derivadas parciais — eq. (13) e (14) — são equivalentes às equações diferenciais ordinárias (20) e (22); cada qual submetida à restrição de ser válida somente quando forem verificadas as condições (21) e (23) respectivamente.

As retas de coeficiente angular $\frac{dx}{dt} = \pm a$ no plano (x,t) são ditas "características" e nestas retas as equações (20) e (22) são respectivamente válidas.

4.4. SOLUÇÃO PELO MÉTODO DAS CARACTERÍSTICAS

A solução de um problema transitório numa instalação baseia-se na solução do sistema de equações (20)

a (23). A tubulação é dividida em N trechos de extensão Δx como indicado na Figura 6.

Calcula-se o intervalo de tempo $t = x/a$ e a equação (21) é satisfeita sobre a diagonal da malha de inclinação caracterizada pela reta AP. Se as variáveis independentes H e V são conhecidas em A , então a equação (20) que é válida na reta característica (+) pode ser integrada entre os limites A e P e portanto escrita em termos das incógnitas V e H no ponto P .

A equação (23) é caracterizada pelas retas diagonais às malhas e de inclinação indicada pela reta BP de característica (-).

A integração da equação (22), válida ao longo das retas de característica (-) estabelece, se conhecidas H e V do ponto P .

A solução simultânea das duas equações integradas — de A a P e de B a P — permitem a determinação de H e V no ponto P — ou seja, das condições transitórias que ocorrem num dado instante e numa dada posição, portanto num ponto do plano (x,t) aqui designado por P . Multiplicando a equação (20) por $a \cdot dt/g = dx/g$, e introduzindo a área A da seção transversal da tubulação para que se obtenha a equação em termos da vazão Q ao invés da velocidade V . Resulta, integrando:

$$\int_A^P dH + \frac{a}{gA} \int_A^P dQ + \frac{f}{2gDA^2} \int_A^P Q |Q| dx = 0 \quad (24)$$

A variação de Q com x na última integral não é conhecida a priori e portanto é necessária uma aproximação para a sua solução.

Uma aproximação de primeira ordem é satisfatória para a solução da maioria dos problemas. Devemos fazer aproximação de segunda ordem quando o atrito — perda de carga — é predominante na instalação.

A integração de (24) com tal aproximação (primeira ordem) e a integração, de forma similar, na reta de característica (-) da equação (22) permite obter:

$$H_P - H_A + \frac{a}{gA} (Q_P - Q_A) + \frac{F \Delta x}{2gDA^2} Q_A |Q_A| = 0 \quad (25)$$

$$H_P - H_B - \frac{a}{gA} (Q_P - Q_B) - \frac{f \Delta x}{2gDA^2} Q_B \left| \frac{Q_B}{B} \right| = 0 \quad (26)$$

Fazendo-se:

$$B = \frac{a}{gA} \quad \text{e} \quad R = \frac{f \Delta x}{2gDA^2} \quad (27)$$

Resulta:

$$(+) : H_P = H_A - B(Q_P - Q_A) - RQ_A \left| \frac{Q_A}{A} \right| \quad (28)$$

$$(-) : H_P = H_B + B(Q_P - Q_B) + RQ_B \left| \frac{Q_B}{B} \right| \quad (29)$$

Note que, estas equações deverão valer para o regime permanente. De fato, nestas condições: $Q_A = Q_P =$

Q_B e $RQ_A \left| \frac{Q_A}{A} \right|$ é a perda de carga no trecho Δx , distância entre A e P.

A solução de um problema transitório geralmente começa com uma condição de escoamento permanente no instante $t = 0$. Assim, H e Q são valores iniciais conhecidos — na Figura 6 os valores H e Q são valores iniciais conhecidos na reta $t = 0$.

A solução consiste na determinação dos valores de H e Q em cada nó da malha na reta $t = \Delta t$ e depois, nos nós da reta $t = 2\Delta t$ etc. até que se cubra todo o intervalo de tempo em que se deseja investigar o fenômeno transitório.

Para um nó qualquer da malha, secção i, as duas equações de compatibilidade (28) e (29) são resolvidas simultaneamente nas variáveis Q_P e H_P . Estas equações podem ser escritas na forma extremamente simples:

$$(+) : H_P = C_P - BQ_P \quad (30)$$

$$(-) : H_P = C_M + BQ_P \quad (31)$$

onde C_P e C_M são sempre constantes aplicadas quando tais equações são aplicadas:

$$C_P = H_{i-1} + BQ_{i-1} - RQ_{i-1} \left| \frac{Q_{i-1}}{i-1} \right| \quad (32)$$

$$C_M = H_{i+1} - BQ_{i+1} - RQ_{i+1} \left| \frac{Q_{i+1}}{i+1} \right| \quad (33)$$

Eliminando-se, primeiramente Q_P nas equações (30) e (31) resulta:

$$H_P = (C_P + C_M) / 2 \quad (34)$$

e Q_P poderá ser determinado diretamente da equação (30) ou (31).

A notação Indexada usada nas equações acima, útil para o desenvolvimento do cálculo computacional pode ser visualizada na Figura 6.

A secção i refere-se a qualquer nó da malha. Os valores indexados de H e Q em cada secção são sempre conhecidos no instante anterior ou, por ser o instante inicial ou como resultado do cálculo no estágio anterior. As novas cargas e vazões no instante de cálculo considerado terão a letra P como índice. O índice i caracteriza a secção interna do conduto.

O exame da Figura 6 mostra claramente que os pontos extremos 1 e NS = N + 1 passam a influenciar os pontos interiores após o primeiro intervalo de tempo Δt utilizado nos cálculos. É portanto necessário, para a obtenção da solução completa num instante qualquer, considerar o comportamento dos equipamentos que ocupam os extremos do trecho da adutora.

5. CONDIÇÕES DE CONTORNO

Conforme mencionado no item 1 deste trabalho, consideraremos a instalação de recalque sem e com proteção aos Transitórios Hidráulicos. Dessa forma teremos, para cada caso acima mencionado, condições de contorno diferentes, a saber:

5.1. INSTALAÇÃO SEM PROTEÇÃO AOS TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS

Neste caso a instalação é composta de uma linha adutora com os conjuntos elevatórios em uma extremidade e um reservatório com nível fixo em outra. Durante a parada acidental do bombeamento, considera-se no equacionamento o comportamento hidráulico dos conjuntos elevatórios e admite-se o reservatório suficientemente grande para conservar um nível fixo durante todo o processo.

Observa-se que, durante a fase de subpressão, a linha de carga diminui e em certos trechos ocorre a formação de vácuo com vaporização do líquido. O vácuo provoca a separação da coluna líquida e a adutora passa a comportar-se como dois trechos, sendo um a montante e outro a jusante do vácuo formado.

Com a aceleração das duas colunas separadas há a formação de uma cavidade. Com a inversão das velocidades das duas colunas líquidas ocorre a diminuição da cavidade até o ponto em que as duas colunas acabam por chocar-se transformando energia cinética em energia de pressão. Esses choques de coluna desen-

volem pressões elevadas que podem danificar a instalação.

Sob o ponto de vista de equacionamento, o local de ocorrência de vácuo é considerado uma condição de contorno, pois ali deixa de propagar-se a perturbação de pressão de acordo com as equações referentes aos pontos interiores vistas no item anterior, uma vez que não há continuidade da coluna líquida.

5.2. INSTALAÇÃO COM PROTEÇÃO AOS TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS

Neste caso a instalação é composta de uma linha adutora dividida em dois trechos, a saber:

O primeiro trecho localizado entre os conjuntos elevatórios e o tanque hidropneumático.

O segundo trecho localizado entre o tanque hidropneumático e o reservatório com nível fixo.

No equacionamento considera-se também o comportamento hidráulico dos conjuntos elevatórios, o reservatório com dimensões tais que mantenha um nível fixo durante todas as propagações das perturbações de pressão, bem como as expansões e compressões do ar dentro de tanque hidropneumático.

O sistema de proteção aos Transitórios Hidráulicos é composto do tanque hidropneumático, com quantidade especificada de ar comprimido, que funcionará da seguinte forma:

Durante a fase de subpressão, o ar contido dentro do mesmo expandirá expulsando uma certa quantidade de água que escoará do tanque hidropneumático para a linha adutora. Essa quantidade de água pressurizará a adutora evitando a formação de vácuo e posterior separação de coluna. A separação de coluna é indesejável uma vez que com a reunião das colunas separadas há o choque e a transformação da energia cinética em energia de pressão. Esse fenômeno provoca o aparecimento de pressões extremamente elevadas como mostra o gráfico de linhas de pressões máximas obtidas com a parada dos conjuntos elevatórios sem proteção, mostradas no item 7.

Durante a fase de sobrepressão, o ar expandido dentro do tanque será comprimido pela água pressurizada na adutora e que escoou desta para o tanque hidropneumático. Observamos que na primeira fase de funcionamento do equipamento de proteção o ar expande-se proporcionando uma situação equivalente a uma manobra lenta, pois na fase de subpressão o líquido bombeado é substituído pelo fornecido pelo tanque hidropneumático.

Na segunda fase de funcionamento do equipamento de proteção o ar

comprime-se permitindo o fluxo de água para o tanque, tal fluxo que diminui lentamente pois é controlado pela lei de compressão do ar. Devemos considerar no equacionamento a existência junto aos conjuntos elevatórios, de válvulas de retenção, que permitem a passagem do líquido em um único sentido. Tais válvulas de retenção poderiam eventualmente serem substituídas por válvulas de controle com fechamento programado de modo a evitar a passagem do fluido no sentido contrário ao do bombeamento normal.

5.3. CONDIÇÃO DE CONTORNO PARA BOMBA DE FLUXO

Para podermos considerar o comportamento de uma bomba de fluxo temos que conhecer as curvas características completas da máquina para todas as zonas de operação.

Marchal, Flesch e Suter estudando curvas de bombas sugerem, para utilização em computador, aquelas levantadas conforme abaixo:

$$\frac{h}{\alpha^2 + v^2} \text{ vs } \left[\pi + \tan^{-1} \frac{v}{\alpha} \right]$$

$$\frac{\beta}{\alpha^2 + v^2} \text{ vs } \left[\pi + \tan^{-1} \frac{v}{\alpha} \right] \quad (35)$$

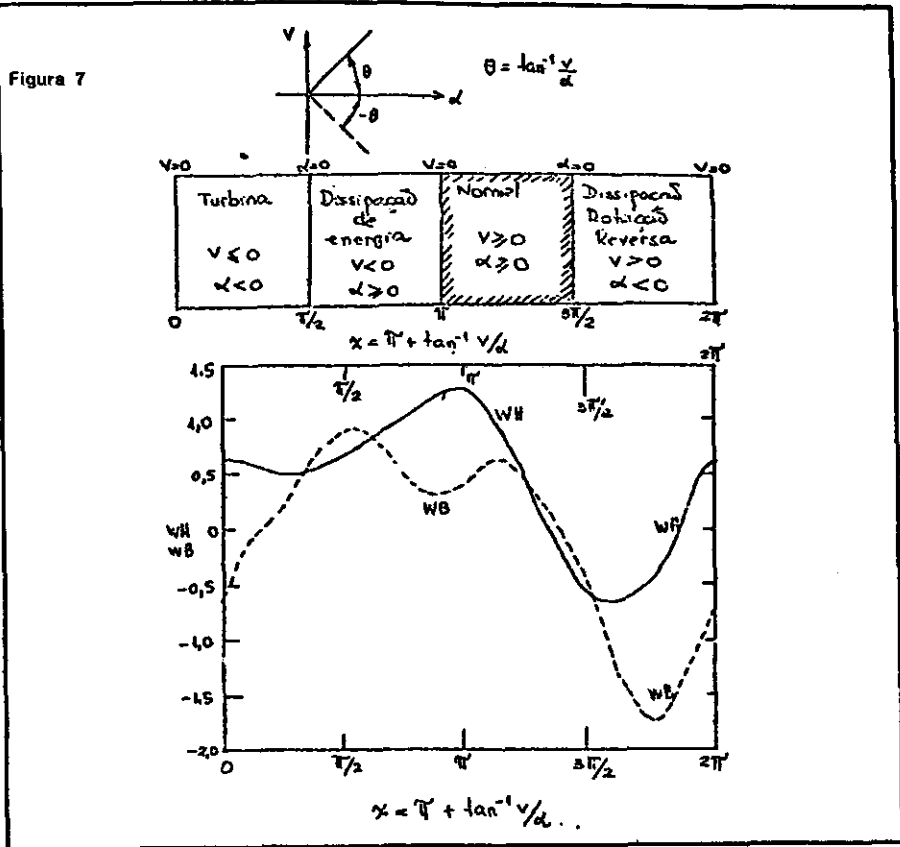
Onde:
 $\alpha = N/N_R$, $v = Q/Q_R$, $h = H/H_R$ e $\beta = T/T_R$

Sendo:

- N — Rotação da bomba em um dado instante
- N_R — Rotação nominal da bomba
- Q — Vazão da bomba em um dado instante
- Q_R — Vazão nominal da bomba
- H — Altura manométrica total da bomba em um dado instante
- H_R — Altura manométrica total nominal da bomba
- T — Torque da bomba em um dado instante
- T_R — Torque nominal da bomba

As relações mencionadas em (35) representarão mediante duas curvas todas as possibilidades operacionais de uma família de bombas Geometricamente Semelhantes.

A Figura 7 é representação gráfica da curva característica de uma família de bombas com geometria definida por C_N = 0,67 (§). No topo da figura estão indicadas as várias zonas de operação.



C_N = 0,67 (N_S = 1800)

0.634	0.643	0.648	0.640	0.629	0.613	0.595	0.575	0.552	0.523
0.516	0.505	0.504	0.510	0.512	0.522	0.539	0.559	0.580	0.601
0.630	0.642	0.697	0.722	0.753	0.782	0.808	0.832	0.837	0.827
0.954	0.930	0.959	0.996	1.027	1.060	1.090	1.124	1.165	1.204
1.230	1.258	1.271	1.202	1.285	1.281	1.260	1.325	1.172	1.107
1.031	0.942	0.842	0.733	0.617	0.500	0.380	0.249	0.125	0.011
-0.152	-0.168	-0.255	-0.342	-0.423	-0.494	-0.556	-0.620	-0.655	-0.370
-0.570	-0.640	-0.655	-0.640	-0.600	-0.570	-0.520	-0.470	-0.430	-0.350
-0.275	-0.160	-0.040	0.130	0.295	0.430	0.550	0.620	0.634	
-0.604	-0.547	-0.314	-0.292	-0.187	-0.105	-0.053	-0.012	0.042	0.097
0.156	0.227	0.300	0.371	0.444	0.522	0.595	0.672	0.738	0.783
0.797	0.837	0.865	0.883	0.896	0.877	0.859	0.832	0.804	0.750
0.703	0.645	0.593	0.520	0.454	0.408	0.370	0.343	0.331	0.329
0.339	0.354	0.372	0.405	0.450	0.486	0.520	0.552	0.579	0.603
0.616	0.617	0.606	0.532	0.546	0.500	0.432	0.360	0.288	0.214
0.123	0.057	-0.053	-0.161	-0.248	-0.314	-0.370	-0.500	-0.740	-0.840
-1.000	-1.120	-1.250	-1.370	-1.490	-1.590	-1.650	-1.650	-1.770	-1.650
-1.590	-1.530	-1.420	-1.320	-1.230	-1.100	-0.920	-0.720	-0.624	

Figura 8 — WH(x) e WB(x) para bombas com rotação específica C_N = 0,67 (N_S = 1800)

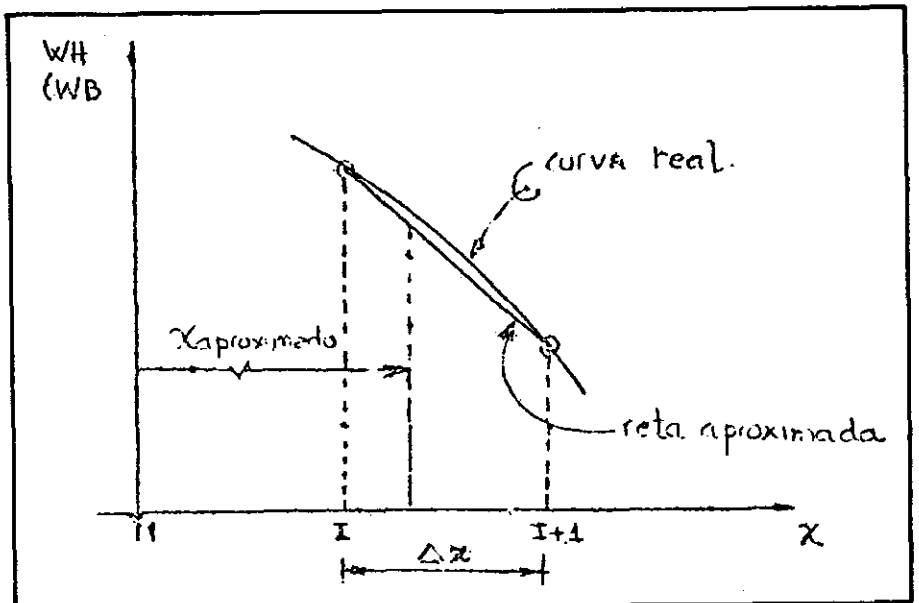


Figura 9 — Interpolação dos valores WH(x), WB(x)

Na Figura 7 temos:

$$WH = \frac{h}{\alpha^2 + v^2} \quad WB = \frac{\beta}{\alpha^2 + v^2} \quad e$$

$$x = \pi + \tan^{-1} \frac{v}{\alpha} \quad (36)$$

Na Figura 8 estão indicados os valores de WH e WB para incrementos $\Delta x = \pi/44 = 0,0714$ para a geometria caracterizada por $C_N = 0,67$, que é aquela onde enquadra-se a bomba descrita no item 2 deste trabalho.

$$C_N = \frac{N \text{ (rd/s)} \sqrt{Q \text{ (m}^3\text{/s)}}}{[g \text{ (m/s}^2\text{)} H \text{ (m)}]^{3/4}}$$

— adimensional

Para a Figura 8, os primeiros 89 números são valores de WH e os restantes de WB.

Para a determinação das condições transitórias nos vários pontos da instalação em consequência da interrupção do fornecimento de energia ao motor da bomba, três efeitos deverão ser considerados para a definição das condições de contorno:

- As curvas características da bomba
- A inércia do conjunto girante
- As características do transitório

Obs.:

- Valores de WH(x) e WB(x) espaçados de $\Delta x = \frac{\pi}{44}$
- Os primeiros 89 valores são de WH
- Os últimos 89 valores são de WB
- $0 < x < 2\pi$

5.3.1. Obtenção das Características Transitórias da Bomba

Para cada instante de ocorrência do transitório as condições de operação da bomba serão definidas pelos valores (WH, WB, x).

A altura e o torque serão então:

$$H = HR \cdot h = HR \cdot (\alpha^2 + v^2) \cdot WH \quad (36)$$

$$T = TR \cdot \beta = TR \cdot (\alpha^2 + v^2) \cdot WB$$

Onde: WH = WH(x) e WB = WB(x) com

$$x = \pi + \tan^{-1} \frac{v}{\alpha}$$

Para o cálculo através do computador deveremos determinar tais valores em cada instante, conhecidos evidentemente as características completas da bomba que estamos operando.

Admitamos um dado instante que o valor de x seja conhecido extrapolando-se por exemplo linearmente os valores de v e que ocorreram em dois

instantes anteriores.

$$\text{Se, no instante } t - 2 \Delta t \rightarrow \alpha_{00}, v = v_{00}$$

$$\text{e no instante: } t - \Delta t \rightarrow \alpha = \alpha_0, v = v_0 \quad (37)$$

teremos, no instante: $t \rightarrow \alpha = 2\alpha_0$

$$v = 2v_0 - v_{00}$$

Poderemos então fazer uma estimativa preliminar do valor de x:

$$x_{\text{aprox.}} = \pi + \tan^{-1} \frac{2\alpha_0 - \alpha_{00}}{2v_0 - v_{00}} \quad (38)$$

Os valores de WH(x) são tabelados e a variável inteira em programação (FORTRAN IV)

$I = \frac{x}{\Delta x} + 1$ permite localizar o ponto WH(I) WB(I) tabelados e situados à esquerda de $\Delta x = \frac{\pi}{44}$, conforme se indica na Figura 9. O ponto de abscissa (I + 1) estará obviamente à direita de x. Definimos então, o intervalo onde o valor de x aproximado situa-se na tabela de valores.

para o ponto I a abscissa é (I - 1) Δx e teremos WH(I) e WB(I). para o ponto de abscissa (I + 1) a abscissa é I Δx e teremos WH(I + 1) e WB(I + 1). Uma reta unindo os pontos WH(I) e WH(I + 1) aproximará o valor de WH(x) naquele intervalo e será do tipo:

$$WH = A_0 + A_1 \cdot x \quad (39)$$

com

$$A_1 = (WH(I + 1) - WH(I)) / \Delta x \quad (40)$$

$$A_0 = WH(I + 1) - I \cdot A_1 \cdot \Delta x$$

A altura total será

$$H = HR \cdot (\alpha^2 + v^2) \cdot (A_0 + A_1 \cdot x) \quad (41)$$

Analogamente WB(x) aproximado será obtido interpolando-se linearmente pela expressão:

$$WB = B_0 + B_1 \cdot x$$

com

$$B_1 = (WB(I + 1) - WB(I)) / \Delta x \quad (42)$$

$$B_0 = WB(I + 1) - I \cdot B_1 \cdot \Delta x$$

e o torque será

$$T = TR \cdot (\alpha^2 + v^2) \cdot (B_0 + B_1 \cdot x) \quad (43)$$

Então, admitindo o valor de x poderemos através de (41) e (43) calcular H e T, naquele instante. Tais valores deverão ser compatíveis com as outras condições ou sejam: a inércia do conjunto girante e as características do transitório — (retas (+) e (-)).

5.3.2. Equação da Inércia

A variação da rotação da bomba depende do torque resistente aplicado pois admitida a interrupção do fornecimento de energia o torque motor é nulo. O torque resistente é aplicado pela bomba e obtido à partir de suas curvas características. Se o torque resistente for considerado positivo, a equação do movimento das massas girantes se escreve:

$$T = - \frac{WR^2}{g} \frac{dN}{dt} \quad (44)$$

onde $I = \frac{WR^2}{g}$ é o momento de inércia do conjunto girante incluindo a massa de água virtual arrastada pelo rotor. (R é o raio de giração e W é o peso do conjunto girante). N é a rotação em rd/s. Se N_R é a rotação em rpm correspondente a situação de regime permanente, num instante qualquer a rotação N em rd/s será:

$$N = \frac{2\pi N_R}{60} \cdot x$$

O torque T será representado no intervalo de tempo Δt , pela média dos valores T_0 e T que ocorrem respectivamente no início e fim daquele intervalo. Teremos:

$$\frac{T_0 + T}{2} = - \frac{WR^2}{g} \times \frac{2\pi N}{60} \frac{\alpha - \alpha_0}{\Delta t}$$

ou, como $\beta = \frac{T}{R}$ e $\beta_0 = \frac{T_0}{R}$ vem:

$$\beta = \frac{WR^2}{g} \frac{N}{R} \cdot \frac{\pi}{15} \frac{(\alpha_0 - \alpha)}{\Delta t} - \beta_0$$

$\alpha_0 =$ rotação adimensional (N_0/N_R) no início do intervalo de tempo Δt . Definindo-se:

$$C_{31} = \frac{WR^2}{g} \frac{N}{R} \frac{\pi}{15 \times \Delta t} \quad (45)$$

resulta:

$$\beta + \beta_0 - C_{31} (\alpha_0 - \alpha) = 0$$

A equação (46) deverá ser verificada para todos os instantes do transitório.

5.4. CONDIÇÃO DE CONTORNO PARA RESERVATÓRIO COM NÍVEL ESPECIFICADO

Num reservatório de grandes dimensões o seu nível H_R — definido com relação ao referencial arbitrário nos cálculos — poderá ser considerado constante durante a ocorrência do transitório. Daí, teremos para um

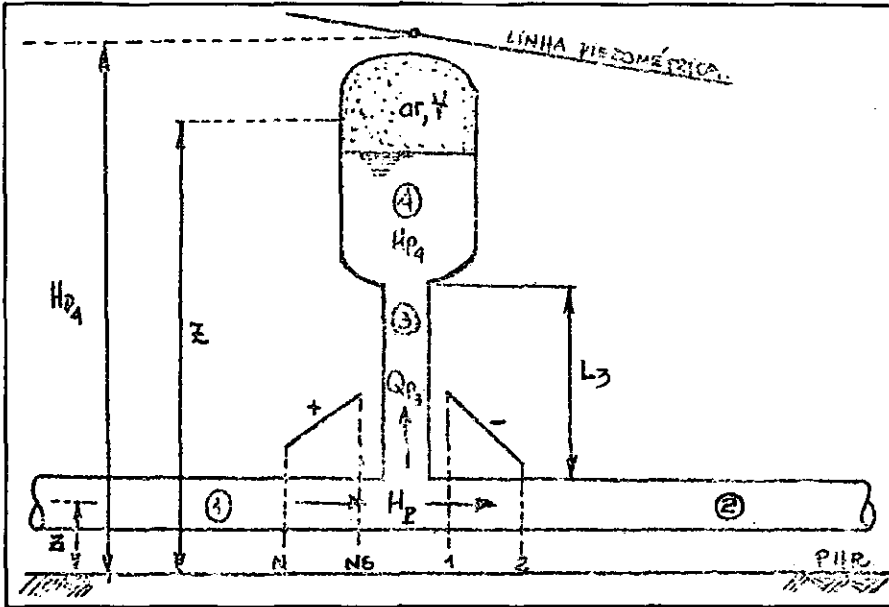


Figura 10 — Reservatório Hidropneumático com Inércia e Perda de Carga

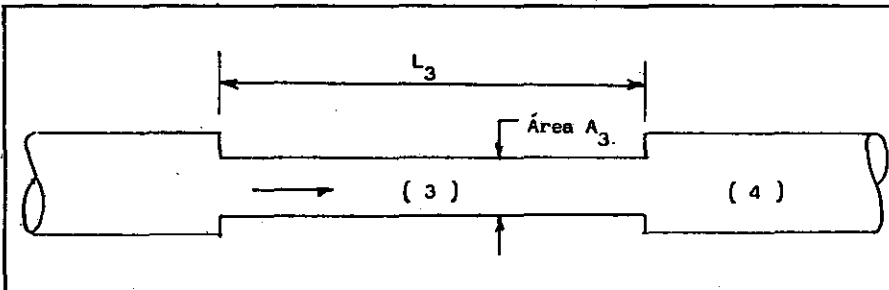


Figura 11 — Elemento Concentrado (Inércia)

reservatório situado a jusante: $H_{P_{NS}}$
 $= H_R$ e, $Q_{P_{NS}}$ é determinado através da equação:

$$H_{P_{NS}} = C - B Q_{P_{NS}} \quad (47)$$

com:

$$C = H + B Q_N - R Q_N \quad (48)$$

Neste caso de condição de contorno simples observamos claramente a compatibilização da característica hidráulica da extremidade da linha adutora com a Reta Característica (+), dada pela equação (47). Esse mesmo tipo de compatibilização é solicitado ao final do item 5.3.1.

5.5 CONDIÇÃO DE CONTORNO PARA RESERVATÓRIO HIDROPNEUMÁTICO

O reservatório hidropneumático está conectado ao sistema principal através de uma pequena tubulação como se indica na Figura 10. Vamos considerar, em nosso modelo matemático, a tubulação (3) como "Inércia Concentrada".

Dessa forma descreveremos agora o conceito de "Inércia Concentrada" que é utilizado para pequenos

trechos de tubulação unindo o sistema hidráulico a dispositivos de proteção, que em nosso problema é caracterizado por um Tanque Hidropneumático. Esses pequenos trechos de tubulação podem ser considerados como elementos concentrados.

Consideremos o elemento (2) indicado na Figura 11.

Da equação do movimento aplicada ao elemento resulta:

$$F - F_4 - F_f = \frac{\gamma A_3 L_3}{g} \frac{dV}{dt} \quad (48)$$

Aqui, F e F_4 são as forças de pressão respectivamente à esquerda e à direita do elemento e, F_f é a força de atrito.

Para a integração dessa equação diferencial a aproximação de primeira ordem é adequada embora a aproximação de segunda ordem, mais precisa, não traz complicação adicional. Da integração de (48) resulta:

$$Q | Q | = \frac{\gamma A L (Q_3 - Q_4)}{g A_3 \Delta t} \quad (49)$$

ou rearranjando os termos:

$$H_P - H_{P_4} = C_1 + C_2 Q_{P_3} \quad (50)$$

onde:

$$C_1 = H_4 - H + \frac{F_3 L_3}{g D_3 A_3^2} Q_3 | Q_3 | - C_2 Q_3$$

$$C_2 = \frac{2 L_3}{g A_3 t} \quad (51)$$

Uma vez que temos as equações matemáticas que governam a "Inércia Concentrada" podemos aplicá-las no equacionamento do Reservatório Hidropneumático.

Considerando agora a Figura 10 temos:

$$H_P - H_{P_4} = C_1 + C_2 Q_{P_3} \quad (56)$$

onde:

$$C_1 = H_4 - H + \frac{F_3 L_3}{g D_3 A_3^2} Q_3 | Q_3 | + C_2 Q_3$$

$$C_2 = \frac{2 L_3}{g A_3 \Delta t}$$

Para o Tanque Hidropneumático, poderemos admitir aproximadamente que o volume V , no instante $(t + \Delta t)$ será obtido pelo valor do volume V no instante t anterior pela expressão:

$$V(t + \Delta t) = V - \frac{Q_P + Q_3}{2} \Delta t \quad (57)$$

Considerando a equação da lei de compressão do gás:

$$H \frac{V^n}{A} = C = \text{Constante} \quad (58)$$

Temos:

$$(H_P + H_B - z) \left(V - \frac{Q_P + Q_3}{2} \Delta t \right)^n = C \quad (59)$$

A equação da continuidade permite escrever:

$$Q_{P_1, NS} = Q_{P_3} + Q_{P_2, 1} \quad (60)$$

As equações de compatibilidade nas retas (+) e (-) e as equações (56), (59) e (60) formam um sistema de cinco equações a cinco incógnitas a saber:

$$1) H_P - H_{P_4} = C_1 + C_2 Q_{P_3}$$

onde C_1 e C_2 são iguais aqueles colocados na equação (56)

$$2) (H_P + H_B - z) \left(V - \frac{Q_P + Q_3}{2} \Delta t \right)^n = C$$

$$3) Q_{P,1,NS} = Q_P + Q_{P,2,1}$$

$$4) H_{P,1,NS} = C_P - B_1 Q_{P,1,NS}$$

$$5) H_{P,2,1} = C_M + B_2 Q_{P,2,1}$$

sendo:

$$H_P = H_{P,1,NS} = H_{P,2,1}$$

Resolvendo o sistema temos:

$$4) \rightarrow H_P = C_{P1} - B_1 (Q_{P3} + Q_{P2,1})$$

$$5) \rightarrow H_P = C_{M2} + B_2 Q_{P2,1} + Q_{P2,1}$$

$$= \frac{H_P - C_{M2}}{2}$$

Substituindo (5) em (4) temos:

$$H_P = C_{P1} - B_1 \left(Q_{P3} + \frac{H_P - C_{M2}}{B_2} \right)$$

$$H_P = C_{P1} - B_1 \left(\frac{B_2 Q_{P3} + H_P - C_{M2}}{B_2} \right)$$

$$B_2 H_P = B_2 C_{P1} - B_1 B_2 Q_{P3}$$

$$- B_1 H_P + B_1 C_{M2} \quad (A)$$

$$B_2 H_P + B_1 H_P = B_2 C_{P1} -$$

$$- B_1 B_2 Q_{P3} + B_1 C_{M2}$$

$$H_P = \frac{1}{(B_1 + B_2)} \left[B_2 C_{P1} - B_1 B_2 Q_{P3} + B_1 C_{M2} \right] \quad (A)$$

Substituindo (A) em (1) temos:

$$\frac{1}{(B_1 + B_2)} \left[B_2 C_{P1} - B_1 B_2 Q_{P3} + B_1 C_{M2} \right] - H_P = C_1 + C_2 Q_{P2}$$

$$H_P = \frac{1}{P_4} \left[\frac{1}{(B_1 + B_2)} \left[B_2 C_{P1} - B_1 B_2 Q_{P3} + B_1 C_{M2} \right] - C_1 - C_2 Q_{P3} \right] \quad (B)$$

Substituindo (B) em (2) temos:

$$F_1 = \left\{ \left[\frac{1}{(B_1 + B_2)} (B_2 C_{P1} - B_1 B_2 Q_{P3} + B_1 C_{M2}) - C_1 - C_2 Q_{P3} \right] + H_B - z \right\} \times$$

$$\times \left\{ \sqrt[2]{\frac{Q_{P3} + Q_3}{2} \Delta t} \right\}^n - C = 0 \quad (C)$$

A equação (C) é não linear na variável Q_{P3} . O Método de Newton

Raphson poderá ser utilizado na solução do problema, determinando-se uma correção para um valor inicial estimado de Q_{P3} através da expres-

são:

$$F_1 + \left(\frac{dF_1}{dQ_{P3}} \right) \Delta Q = 0$$

Onde:

$$\frac{dF_1}{dQ_{P3}} = \left[- \frac{B_1 B_2}{(B_1 + B_2)} - C_2 \right] \times$$

$$\times \left[\sqrt[2]{\frac{Q_{P3} + Q_3}{2} \Delta t} \right]^n - \frac{1}{2} \times$$

$$\times \frac{n \Delta t C}{Q_{P3} + Q_3} \left(\sqrt[2]{\frac{Q_{P3} + Q_3}{2} \Delta t} \right)$$

A constante C é definida pela equação (58) usando-se os valores estáticos iniciais, H_B — é a pressão barométrica.

O método de Newton Raphson baseia-se no fato de que, a raiz da equação (Q_P , no caso) é conhecida de forma aproximada. Se $y = F(x)$ é a equação representada na Figura 12 e $x = x_0$ é um valor aproximado da raiz, no ponto M; isto é, para $x = M \rightarrow F(x) = 0$ poderá ser obtida por aproximações sucessivas.

Partindo do ponto $x = x_0$ e traçando a reta tangente à curva no ponto N obtemos:

$$F'(x_0) = \frac{F(x_0)}{x_0 - x_1} \text{ ou } x_1 = x_0 - \frac{F(x_0)}{F'(x_0)}$$

É evidente que x_1 é uma aproximação melhor do que x_0 para a raiz da equação desde que não haja um ponto de inflexão entre M e N e a inclinação da curva não seja nula.

Através do ponto x_1 determinamos o ponto O e o processo repete-se até a obtenção da raiz no ponto M.

Em cada nova interação, o valor de Q_P será obtido adicionando ao valor anterior a correção ΔQ ou seja, $Q_{P,i+1} = Q_{P,i} + \Delta Q$.

A grandeza da correção ΔQ torna-se cada vez menor à medida que o valor de F tende a zero.

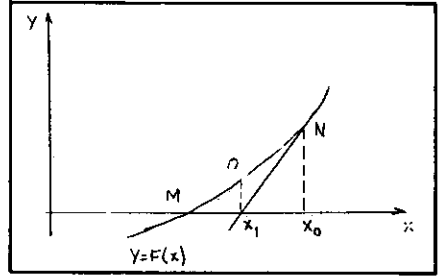


Figura 12 — Método de Newton-Raphson

O valor inicial a ser adotado para Q_P , em cada instante, poderá ser admitido pela extrapolação linear dos valores obtidos nos dois instantes anteriores.

5.6. CONDIÇÃO DE CONTORNO PARA VÁLVULA DE RETENÇÃO

Na instalação em estudo, a válvula de retenção foi considerada uma vez que necessitamos de um dispositivo que evitasse o retorno da coluna líquida da adutora.

Desse modo consideramos a válvula de retenção sem ação até o momento em que a vazão inverte o sentido. A partir desse instante, a vazão no ponto considerado ficará permanentemente nula, e a condição de contorno será idêntica a uma extremidade fechada.

Como a extremidade é de montante teremos $Q_P = 0$ e $H_P = C_M$.

O valor de C_M é calculado a partir da equação:

$$C_M = H_2 - BQ_2 + RO_2 | Q_2 |$$

6. DIAGRAMAS DE BLOCOS

Uma vez equacionados os pontos interiores da adutora e as condições de contorno, passamos à fase de estabelecer um programa de processamento de dados que considere todos os eventos descritos no item: condição de contorno. Primeiramente consideraremos um Diagrama de Blocos referente aos Transitórios Hidráulicos que ocorrem na instalação sem o controle através do Tanque Hidropneumático.

Um segundo Diagrama de Blocos representará a situação criada com a parada acidental da instalação de bombeamento e a entrada em funcionamento do Reservatório Hidropneumático.

BIBLIOGRAFIA

1. AZEVEDO NETTO, José M. / Manual de Hidráulica — Volumes 1 e 2 / Editora Edgard Blucher Ltda.
2. KOELLE, Edmundo / Transitórios Hidráulicos.
3. PACITTI, Tercio / Fortran Monitor / Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
4. PARMAKIAN, John / Waterhammer Analysis / Dover Publications, Inc.
5. STREETER, Victor L. / Fluid Mechanics / McGraw-Hill Book Company.
6. STREETER, Victor L. & WYLIE, Benjamin / Hydraulics Transients / McGraw-Hill, Inc.

H=CARGAS-(M). P=PRESSOES-(MCA). Q=VAZES-(M3/S). C=VOLUME DA CAVIDADE-(M3).

TEMP	TAU	ALPHA	X/L=	0.	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
0.000	1.000	1.000	H=	161.12	160.35	159.58	158.81	158.03	157.26	156.49	155.72	154.94	154.17	153.40
			P=	101.12	89.35	64.58	59.31	53.03	45.26	35.49	31.72	23.94	19.67	0.00
			Q=	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073
			C=	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.236	1.000	0.637	H=	100.36	115.57	140.56	158.81	158.03	157.26	156.49	155.72	154.94	154.17	153.40
			P=	40.32	24.57	45.56	59.31	53.03	45.26	35.49	31.72	23.94	19.67	0.00
			Q=	0.712	0.807	0.960	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073
			C=	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.273	1.000	0.472	H=	79.40	85.53	93.54	105.64	124.85	157.26	156.49	155.72	154.94	154.17	153.40
			P=	19.84	-5.47	-1.46	6.14	19.85	45.26	35.49	31.72	23.94	19.67	0.00
			Q=	0.594	0.630	0.681	0.757	0.875	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073	1.073
			C=	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.909	1.000	0.381	H=	72.27	81.50	85.50	90.00	95.50	102.50	112.50	137.08	154.94	154.17	153.40
			P=	12.27	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-6.46	13.58	23.94	19.67	0.00
			Q=	0.404	0.589	0.616	0.634	0.695	0.748	0.812	0.952	1.073	1.073	1.073
			C=	0.000	0.025	0.012	0.009	0.007	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.545	1.000	0.316	H=	70.85	81.50	85.50	90.00	95.50	102.50	111.50	114.50	121.50	125.00	153.40
			P=	10.85	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	0.00
			Q=	0.344	0.531	0.524	0.572	0.589	0.551	0.777	0.754	0.875	0.899	1.073
			C=	0.000	0.101	0.031	0.029	0.028	0.002	0.008	0.003	0.003	0.003	0.000
3.182	1.000	0.288	H=	69.60	81.50	85.50	90.00	95.50	102.50	116.83	114.50	121.50	145.68	153.40
			P=	9.60	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-2.17	-9.50	-9.50	11.18	0.00
			Q=	0.174	0.453	0.486	0.478	0.422	0.383	0.690	0.650	0.827	0.679	0.510
			C=	0.000	0.240	0.044	0.043	0.001	0.000	0.000	0.002	0.007	0.000	0.000
3.818	1.000	0.231	H=	71.25	81.50	85.50	90.00	99.99	110.71	115.83	114.50	124.39	131.26	153.40
			P=	11.25	-9.50	-9.50	-9.50	-5.01	-1.29	-5.17	-9.50	-6.61	-3.24	0.00
			Q=	0.000	0.305	0.409	0.274	0.281	0.354	0.593	0.614	0.454	0.499	0.621
			C=	0.000	0.452	0.052	0.019	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000
4.455	1.000	0.000	H=	90.00	81.50	85.50	104.01	104.23	102.50	111.50	140.22	121.50	146.86	153.40
			P=	36.03	-9.50	-9.50	4.51	-0.77	-9.50	-9.50	16.22	-9.50	12.36	0.00
			Q=	0.000	0.318	0.155	0.247	0.280	0.177	0.475	0.404	0.395	0.288	0.265
			C=	0.000	0.701	0.024	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.010	0.000	0.000
5.091	1.000	0.000	H=	80.43	81.50	99.73	108.26	102.78	106.77	111.50	148.77	155.34	157.08	153.40
			P=	20.43	-9.50	4.73	8.76	-2.22	-5.23	-9.50	24.77	24.84	22.58	0.00
			Q=	0.000	0.134	0.198	0.149	0.079	0.200	0.114	0.251	0.252	0.259	0.357
			C=	0.000	0.848	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000
5.727	1.000	0.000	H=	70.26	81.50	92.10	90.00	109.19	117.20	111.86	131.74	121.50	145.02	153.40
			P=	18.26	-9.50	-2.90	-9.50	4.19	5.29	-9.14	7.74	-9.50	13.52	0.00
			Q=	0.000	0.029	0.001	0.057	0.104	0.091	0.000	0.074	0.148	0.219	0.271
			C=	0.000	0.898	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000
6.364	1.000	0.000	H=	90.33	81.50	85.50	90.00	95.50	102.50	111.50	118.15	124.14	161.55	153.40
			P=	30.33	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-5.85	-6.86	27.05	0.00
			Q=	0.000	-0.072	-0.001	-0.091	-0.079	0.016	-0.077	-0.066	0.037	0.024	-0.101
			C=	0.000	0.878	0.010	0.010	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
7.000	1.000	0.000	H=	66.94	81.50	85.50	95.02	95.50	102.50	111.50	116.59	126.66	141.75	153.40
			P=	6.94	-9.50	-9.50	-4.48	-9.50	-9.50	-9.50	-7.41	-4.34	7.25	0.00
			Q=	0.000	-0.110	-0.164	-0.124	-0.107	-0.190	-0.133	-0.147	-0.275	-0.137	-0.136
			C=	0.000	0.601	0.043	0.000	0.010	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
7.636	1.000	0.000	H=	82.50	81.50	85.50	90.00	108.33	117.26	112.84	119.40	121.50	145.75	153.40
			P=	22.50	-9.50	9.50	-9.50	3.33	5.26	-8.16	-4.60	-9.50	11.25	0.00
			Q=	0.000	-0.231	-0.201	-0.215	-0.235	-0.256	-0.216	-0.205	-0.355	-0.359	0.499
			C=	0.000	0.696	0.022	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000
8.273	1.000	0.000	H=	84.71	81.50	86.40	104.15	95.50	105.66	111.50	149.12	151.37	160.99	153.40
			P=	24.71	-9.50	-8.60	4.65	-9.50	-6.34	-9.50	25.12	20.37	26.49	0.00
			Q=	0.000	-0.209	-0.282	-0.382	-0.339	-0.304	-0.331	-0.476	-0.438	-0.468	-0.584
			C=	0.000	0.556	0.000	0.000	0.016	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
8.909	1.000	0.000	H=	72.68	81.50	85.50	94.03	105.08	103.30	111.50	129.84	133.34	148.69	153.40
			P=	12.68	-9.50	-9.50	-5.47	0.64	-8.70	-9.50	5.84	2.34	14.19	0.00
			Q=	0.000	-0.479	-0.361	-0.380	-0.418	-0.471	-0.651	-0.681	-0.525	-0.483	-0.483
			C=	0.000	0.311	0.006	0.000	0.000	0.000	0.011	0.040	0.000	0.000	0.000
9.545	1.000	0.000	H=	95.94	132.51	85.50	96.44	104.58	115.57	119.68	117.19	124.78	133.71	153.40
			P=	35.94	41.51	-9.50	-3.06	-0.42	-3.67	-1.32	-6.31	-6.22	-0.79	0.00
			Q=	0.000	-0.285	-0.564	-0.584	-0.488	-0.422	-0.768	-0.813	-0.657	-0.693	-0.656
			C=	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.182	1.000	0.000	H=	177.01	183.76	136.52	142.08	95.50	112.27	111.50	117.93	133.25	148.58	153.40
			P=	117.01	92.76	41.52	42.58	-9.50	0.27	-9.50	-6.07	2.25	14.08	0.00
			Q=	0.000	-0.072	-0.322	-0.308	-0.559	-0.602	-0.835	-0.829	-0.908	-0.867	-0.867
			C=	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000
10.818	1.000	0.000	H=	194.34	142.81	141.97	192.23	195.45	163.66	122.14	114.50	124.82	133.83	153.40
			P=	134.34	101.81	46.97	92.73	90.45	51.66	1.14	-9.50	-6.18	-0.67	0.00
			Q=	0.000	-0.016	-0.332	-0.078	-0.091	-0.403	-0.446	-0.912	-1.045	-1.071	-1.034
			C=	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000
11.455	1.000	0.000	H=	194.85	200.41	209.29	160.38	228.91	220.84	236.10	202.45	158.50	153.27	153.40
			P=	134.85	117.41	114.29	60.88	123.91	108.84	115.10	78.65	27.50	18.77	0.00
			Q=	0.000	-0.072	-0.093	0.179	-0.198	-0.261	-0.384	-0.713	-1.126	-1.209	-1.238
			C=	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12.091	1.000	0.000	H=	230.95	245.97	232.88	237.78	253.38	259.29	269.66	220.51	270.69	265.07	153.40
			P=	170.95	154.27	137.88	138.28	148.38	147.29	148.66	96.51	139.69	130.57	0.00

			Q= 0.000	-0.207	-0.165	-0.240	-0.345	-0.387	-0.474	-0.795	-0.544	-0.504	-0.333
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12:727	1.000	0.000	H= 268.47	280.97	226.06	285.45	287.32	276.80	275.03	264.22	206.54	165.35	153.40
			P= 204.47	159.97	131.06	185.95	182.37	164.80	154.03	140.22	75.54	30.85	0.00
			Q= 0.000	-0.114	-0.569	-0.361	-0.398	-0.488	-0.468	-0.419	-0.094	0.185	0.145
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13:364	1.000	0.000	H= 323.87	329.77	315.43	310.75	314.29	220.13	186.43	168.84	167.90	156.13	153.40
			P= 263.87	238.77	220.43	211.25	209.29	106.13	65.43	44.54	56.90	21.63	0.00
			Q= 0.000	-0.112	-0.224	-0.300	-0.205	0.066	0.146	0.220	0.050	0.238	0.247
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14:000	1.000	0.000	H= 358.10	353.35	339.86	271.78	217.35	196.94	186.33	123.83	166.93	165.43	153.40
			P= 298.10	267.35	244.86	172.28	112.35	84.94	65.33	-0.17	37.93	30.93	0.00
			Q= 0.000	0.002	0.035	0.296	0.494	0.403	0.451	0.046	0.335	0.330	0.250
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14:416	1.000	0.000	H= 200.43	255.51	246.75	245.14	237.57	218.01	210.88	183.43	180.54	167.76	153.40
			P= 23.25	-9.50	-2.56	5.11	9.81	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	15.72	0.00
			Q= 0.000	0.041	0.001	-0.038	0.174	0.459	0.277	0.029	0.011	0.233	-0.022
			C= 0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.055	0.027	0.051	0.068	0.000	0.000
45:818	1.000	0.000	H= 111.80	81.50	85.50	99.44	95.50	102.50	111.50	115.04	161.11	148.06	153.40
			P= 51.80	-9.50	-9.50	-0.06	-9.50	-9.50	-9.50	-8.36	30.11	13.56	0.00
			Q= 0.000	-0.256	-0.245	-0.048	0.138	0.050	-0.400	0.159	-0.035	-0.144	-0.229
			C= 0.000	0.010	0.000	0.000	0.162	0.020	0.021	0.030	0.000	0.000	0.000
46:455	1.000	0.000	H= 88.30	113.59	98.19	90.00	95.50	115.69	105.83	114.50	180.43	137.39	153.40
			P= 28.30	22.59	3.19	-9.50	-9.50	3.69	-15.17	-9.50	49.43	2.89	0.00
			Q= 0.000	0.020	0.015	-0.118	0.057	-0.059	0.103	-0.058	-0.231	-0.153	-0.215
			C= 0.000	0.000	0.000	0.037	0.780	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000
47:091	1.000	0.000	H= 82.24	114.27	126.00	120.95	95.50	129.31	125.25	143.29	188.06	125.00	153.40
			P= 2.24	23.27	31.00	21.45	-9.50	17.31	4.25	24.29	57.36	-9.50	0.00
			Q= 0.000	-0.066	0.021	0.032	-0.987	-0.219	-0.460	-0.219	-0.085	-0.307	-0.127
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.195	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
47:727	1.000	0.000	H= 119.71	103.64	85.50	119.82	98.23	102.50	146.00	131.94	138.93	134.24	153.40
			P= 59.71	12.64	-9.50	20.12	-6.77	-9.50	25.00	7.94	7.93	-0.26	0.00
			Q= 0.000	-0.125	-0.047	-0.143	0.072	-0.362	-0.559	-0.303	-0.375	-0.294	-0.124
			C= 0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
48:364	1.000	0.000	H= 50.50	158.97	169.10	90.00	169.38	160.98	161.35	133.74	121.93	145.92	153.40
			P= -9.50	65.97	74.10	-9.50	64.38	48.98	40.35	4.74	-9.37	11.42	0.00
			Q= 0.010	-0.288	-0.290	-0.023	-0.262	-0.326	-0.326	-0.615	-0.448	-0.329	-0.520
			C= 0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
49:000	1.000	0.000	H= 227.70	140.63	192.12	102.28	155.50	163.46	154.83	160.67	193.12	147.05	153.40
			P= 167.70	49.63	97.12	-2.78	50.50	51.46	33.83	36.67	62.12	12.55	0.00
			Q= 0.000	-0.228	-0.290	-0.118	-0.184	-0.261	-0.294	-0.416	-0.525	-0.537	-0.547
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
49:636	1.000	0.000	H= 215.29	205.55	173.91	213.71	170.80	154.27	162.20	189.97	182.28	194.75	153.40
			P= 155.29	114.55	78.91	114.21	65.80	42.27	41.20	65.87	51.28	60.25	0.00
			Q= 0.000	0.045	-0.373	0.023	-0.205	-0.510	-0.312	-0.413	-0.487	-0.412	-0.249
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50:273	1.000	0.000	H= 206.95	193.05	176.98	258.80	207.72	236.06	175.93	170.78	149.18	162.68	153.40
			P= 146.95	194.05	81.08	159.30	102.72	124.06	54.93	46.78	18.18	26.38	0.00
			Q= 0.000	-0.053	-0.322	-0.109	-0.172	-0.050	-0.436	-0.162	-0.394	-0.226	-0.198
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50:909	1.000	0.000	H= 239.51	175.97	234.26	249.82	230.66	204.53	197.03	158.81	201.55	201.26	153.40
			P= 179.51	84.97	139.26	150.32	125.66	92.53	76.03	34.81	79.55	66.76	0.00
			Q= 0.000	-0.235	-0.146	-0.081	-0.195	0.064	0.096	-0.280	0.095	0.023	-0.500
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
51:545	1.000	0.000	H= 244.30	242.69	237.33	222.54	202.28	196.76	184.00	172.94	201.81	191.31	153.40
			P= 184.30	151.69	142.33	123.04	97.28	84.76	63.00	48.94	70.81	56.81	0.00
			Q= 0.000	-0.037	0.236	0.044	0.010	0.061	0.014	-0.301	0.231	-0.074	0.443
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
52:182	1.000	0.000	H= 193.81	222.11	234.50	227.17	206.31	239.27	137.50	158.84	188.19	145.90	153.40
			P= 133.81	131.11	139.50	122.67	101.33	126.27	16.50	34.84	57.19	11.40	0.00
			Q= 0.000	-0.245	0.172	0.053	0.053	0.007	-0.004	0.304	0.286	0.311	0.369
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
52:818	1.000	0.000	H= 186.62	191.23	219.25	180.51	226.26	182.00	183.33	183.97	173.59	162.20	153.40
			P= 53.27	23.36	23.42	21.95	15.32	7.74	0.78	3.39	6.59	18.98	0.00
			Q= 0.000	-0.031	-0.091	-0.108	-0.156	-0.170	-0.160	-0.234	-0.178	-0.240	-0.217
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
99:273	1.000	0.000	H= 137.89	129.92	133.13	134.99	138.45	126.83	143.56	134.96	141.90	148.31	153.40
			P= 77.89	38.92	38.13	35.49	33.45	14.83	22.56	10.96	10.90	13.81	0.00
			Q= 0.000	-0.038	-0.016	-0.037	-0.049	-0.183	-0.200	-0.249	-0.304	-0.297	-0.350
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
99:909	1.000	0.000	H= 148.17	147.44	151.50	152.16	156.43	151.39	151.25	152.69	157.31	152.93	153.40
			P= 88.17	56.44	56.50	52.66	51.43	39.39	30.25	23.69	24.31	18.43	0.00
			Q= 0.000	-0.006	-0.071	-0.111	-0.220	-0.227	-0.250	-0.294	-0.322	-0.349	-0.369
			C= 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

VALORES EXTREMOS OCORRIDOS NO TRANSITORIO.

	X/L=	0.	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1.0
MAX=		300.84	354.73	339.86	323.92	327.44	324.95	278.58	282.99	270.59	255.07	153.40
MIN=		50.50	79.94	85.50	90.00	95.50	101.80	105.83	114.50	120.37	125.00	153.40
MAX=		300.84	283.73	244.86	224.42	222.44	212.95	157.58	153.99	139.69	130.57	0.00
MIN=		-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	-9.50	0.00
CAYN=		0.000	0.000	0.004	0.007	0.102	0.081	0.292	0.121	0.167	0.211	0.600

SDEN XL1 = 60.00000000, XL2 = 2600.000000, D = 0.9000000000, ELS = 61.00000000, ELR = 153.40000000, F = 0.1800000000E-01, A = 1045.000000, G = 9.8060000000, PI = 3.1416000000, HR = 100.00000000, NR = 1190.000000, TR = 2109.200000, WRR = 185.64000000, TM = 100.00000000, KIT = 8, TOLB = 0.2000000000E-03, JPR = 130, N1 = 3, N2 = 130, KDY = 0, L3 = 0.0000000000, Z = 67.50000000, Z1 = 60.00000000, HB = 9.5000000000, D3 = 0.6000000000, VPEQ = 0.2500000000E-02, EN = 1.2000000000, C = 4005.500000, F3 = 0.1800000000E-01, VVO = 20.00000000,

60.00000000, 60.50000000, 61.00000000, 61.00000000,

EL2 =

61.00000000, 65.50000000, 72.50000000, 79.00000000, 84.50000000, 86.00000000, 88.50000000, 90.00000000,
 90.50000000, 90.50000000, 91.00000000, 91.00000000, 91.50000000, 91.50000000, 92.00000000, 92.00000000,
 92.00000000, 92.50000000, 92.50000000, 93.00000000, 94.00000000, 95.00000000, 95.00000000, 95.00000000,
 95.00000000, 94.50000000, 95.00000000, 95.50000000, 96.00000000, 96.50000000, 97.00000000, 97.50000000,
 98.00000000, 98.50000000, 99.00000000, 99.50000000, 100.00000000, 100.50000000, 101.00000000, 101.50000000,
 102.00000000, 102.50000000, 103.00000000, 103.00000000, 103.50000000, 104.00000000, 104.50000000, 105.00000000,
 105.00000000, 105.50000000, 106.00000000, 106.50000000, 107.00000000, 107.00000000, 108.00000000, 108.00000000,
 108.50000000, 109.00000000, 109.00000000, 110.00000000, 110.00000000, 112.00000000, 112.50000000, 115.00000000,
 116.00000000, 117.00000000, 118.00000000, 118.00000000, 118.00000000, 118.00000000, 118.50000000, 118.50000000,
 118.50000000, 118.50000000, 119.00000000, 119.00000000, 120.00000000, 120.00000000, 120.00000000, 120.00000000,
 120.50000000, 120.50000000, 121.00000000, 121.00000000, 121.00000000, 121.50000000, 121.50000000, 121.50000000,
 122.00000000, 122.00000000, 122.00000000, 122.50000000, 122.50000000, 123.00000000, 124.00000000, 125.00000000,
 126.00000000, 127.00000000, 128.00000000, 129.00000000, 130.00000000, 130.00000000, 130.00000000, 130.00000000,
 130.50000000, 130.50000000, 131.00000000, 131.00000000, 131.50000000, 132.00000000, 133.00000000, 134.00000000,
 134.50000000, 135.00000000, 136.00000000, 136.50000000, 136.00000000, 136.00000000, 136.00000000, 136.00000000,
 136.00000000, 136.00000000, 137.00000000, 137.00000000, 137.00000000, 137.00000000, 138.00000000, 138.00000000,
 138.00000000, 139.00000000, 153.40000000, XEND

TEMP.	ALPHA	VOLUME AD(M3)	DCHSA (M)	TANQUE (M)	H=CARGAS(M), P=PRESSOES(MCA), G=VAZIOS(M3/S)										
					XZL= .0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.000	1.000	20.000	H= 161.00 P= 101.00 G= 1.077	160.82 99.82 0.000	160.82 99.82 1.077	160.06 64.56 1.077	159.30 64.30 1.077	158.54 57.04 1.077	157.78 50.78 1.077	157.02 40.02 1.077	156.26 36.26 1.077	155.50 33.80 1.077	154.74 24.24 1.077	153.98 17.98 1.077	153.22 -0.18 1.077
2.488	0.000	22.344	H= 154.88 P= 94.68 G= 0.000	154.31 94.31 -1.035	154.49 93.49 1.039	155.15 63.65 1.046	155.35 60.35 1.051	155.50 54.00 1.057	156.26 49.26 1.066	158.31 41.31 1.082	161.32 41.32 1.105	163.84 41.34 1.125	165.47 25.47 1.085	165.15 19.15 1.082	163.40 15.15 1.076
4.976	0.000	24.831	H= 142.76 P= 82.76 G= 0.000	142.85 82.85 -0.069	142.77 81.77 0.970	142.13 50.63 0.982	141.93 46.93 0.991	135.95 34.45 1.036	139.48 32.48 1.023	143.47 26.47 1.008	146.55 26.55 0.998	148.88 25.94 0.997	149.83 19.33 0.999	151.36 15.36 1.001	153.40 0.00 1.004
7.464	0.000	27.165	H= 129.92 P= 69.92 G= 0.000	134.18 74.18 -0.050	132.80 71.80 0.046	135.88 44.38 0.850	140.03 45.03 0.863	144.28 42.78 0.878	146.90 39.90 0.884	147.91 30.91 0.881	150.47 30.47 0.888	156.90 34.40 0.918	151.60 21.10 0.878	154.18 18.18 0.885	153.40 0.00 0.873
9.952	0.000	29.079	H= 128.44 P= 68.44 G= 0.000	128.20 68.20 -0.047	128.33 67.33 0.698	128.16 36.66 0.713	131.18 36.18 0.709	126.55 25.05 0.750	133.37 26.37 0.725	136.68 19.68 0.723	138.68 18.67 0.731	138.67 16.67 0.730	142.12 19.62 0.718	146.63 16.13 0.703	150.42 14.42 0.699
12.440	0.000	30.054	H= 132.24 P= 72.24 G= 0.000	123.88 63.88 -0.536	126.75 65.75 0.525	129.63 38.13 0.529	131.26 36.26 0.530	134.42 32.92 0.554	139.52 32.52 0.545	143.81 26.81 0.559	145.31 26.31 0.541	153.05 30.55 0.573	147.77 18.27 0.527	154.36 15.36 0.553	153.40 0.00 0.533
14.928	0.000	31.707	H= 120.42 P= 60.42 G= 0.000	121.28 61.28 -0.032	121.12 60.12 0.333	120.39 28.89 0.353	127.51 32.51 0.331	123.24 21.74 0.361	131.46 24.46 0.354	132.70 15.70 0.361	135.93 15.93 0.349	140.29 17.79 0.335	144.34 13.84 0.336	148.41 12.41 0.349	153.40 0.00 0.358
17.416	0.000	32.349	H= 117.11 P= 57.11 G= 0.000	119.78 59.78 -0.136	118.77 57.77 0.149	124.94 33.44 0.147	130.13 31.13 0.140	133.33 31.83 0.134	136.34 24.34 0.141	140.14 23.14 0.156	143.12 23.12 0.159	150.15 27.65 0.179	147.13 16.63 0.137	153.62 17.62 0.155	153.40 0.00 0.138
19.904	0.000	32.442	H= 122.80 P= 62.80 G= 0.000	119.59 59.59 -0.048	120.70 59.70 -0.058	120.86 29.34 -0.038	126.55 31.55 -0.061	121.90 20.40 -0.029	127.88 20.88 -0.055	131.65 14.65 -0.053	137.67 17.67 -0.055	142.28 19.78 -0.052	148.86 14.36 -0.050	148.12 12.12 -0.055	153.40 0.00 -0.058
22.392	0.000	32.042	H= 118.73 P= 58.73 G= 0.000	120.37 60.37 0.278	120.18 59.18 -0.256	124.33 32.83 -0.259	128.49 33.49 -0.248	131.76 30.26 -0.247	135.56 28.56 -0.254	142.11 25.11 -0.249	146.57 25.57 -0.247	149.97 27.47 -0.236	146.30 15.80 -0.262	151.20 15.20 -0.244	153.40 0.00 -0.252
24.880	0.000	31.209	H= 118.82 P= 59.82 G= 0.000	122.49 62.49 0.465	121.49 60.49 -0.438	122.45 30.95 -0.438	127.99 32.99 -0.452	126.20 24.70 -0.415	130.50 23.50 -0.420	133.95 16.95 -0.428	138.81 18.81 -0.443	142.17 15.67 -0.438	146.32 15.82 -0.435	150.74 14.74 -0.443	153.40 0.00 -0.449
27.368	0.000	29.969	H= 126.68 P= 66.68 G= 0.000	125.71 65.71 0.594	126.71 65.71 -0.598	128.33 36.83 -0.598	131.38 36.38 -0.598	136.22 34.72 -0.597	139.24 32.24 -0.604	142.94 25.94 -0.596	147.52 27.52 -0.581	150.07 27.07 -0.586	150.94 20.44 -0.607	153.79 17.79 -0.609	153.40 0.00 -0.617
29.856	0.000	28.296	H= 132.01 P= 72.01 G= 0.000	130.54 70.54 0.704	131.33 70.33 -0.741	131.10 39.60 -0.722	132.62 37.62 -0.722	134.61 30.67 -0.716	139.62 27.61 -0.712	142.63 22.62 -0.735	143.79 22.63 -0.739	147.41 21.29 -0.747	151.13 16.91 -0.747	153.40 15.13 -0.744	153.40 0.00 -0.739
32.344	0.000	26.413	H= 130.86 P= 74.86 G= 0.000	130.74 70.74 0.819	130.55 75.55 -0.816	137.81 46.31 -0.826	140.64 45.64 -0.834	144.12 42.62 -0.827	146.75 39.75 -0.814	147.58 30.58 -0.816	153.20 33.20 -0.800	150.53 28.03 -0.835	151.81 21.31 -0.837	152.32 16.32 -0.838	153.40 0.00 -0.839
34.833	0.000	24.302	H= 145.60 P= 145.60 G= 0.000	145.07 144.80 0.000	144.80 144.80 0.000	145.80 145.80 0.000	146.22 146.22 0.000	146.06 146.06 0.000	141.27 141.27 0.000	145.44 145.44 0.000	146.57 146.57 0.000	149.27 149.27 0.000	151.45 151.45 0.000	152.87 152.87 0.000	153.40 153.40 0.000

			P=	85,00	85,07	83,80	54,30	51,22	44,56	34,27	28,49	26,57	26,77	20,95	16,87	0,00
			O=	0,000	0,853	-0,861	-0,861	-0,861	-0,864	-0,847	-0,870	-0,867	-0,874	-0,893	-0,893	-0,888
37,321	0,000	22,215	H=	153,00	154,98	154,57	156,50	156,26	155,92	155,55	156,21	160,61	154,70	155,28	153,50	153,40
			P=	93,00	94,98	93,57	65,00	61,26	54,42	48,55	39,21	40,61	32,20	24,78	17,50	0,00
			O=	0,000	0,813	-0,851	-0,848	-0,857	-0,858	-0,864	-0,870	-0,846	-0,873	-0,863	-0,876	-0,883
39,809	0,000	20,177	H=	168,36	166,85	167,26	164,63	161,49	161,81	155,55	158,24	157,18	155,52	153,58	151,52	153,40
			P=	108,36	106,85	106,26	73,13	66,49	60,31	48,55	41,24	37,18	33,02	23,08	15,52	0,00
			O=	0,000	0,791	-0,772	-0,781	-0,776	-0,788	-0,764	-0,797	-0,801	-0,803	-0,812	-0,813	-0,816
42,297	0,000	18,459	H=	179,52	179,12	179,22	178,07	175,60	171,98	171,65	168,17	169,05	161,09	161,52	157,95	153,40
			P=	119,52	119,12	118,22	86,57	80,60	70,48	64,65	51,17	49,05	38,55	31,02	21,95	0,00
			O=	0,000	0,659	-0,641	-0,652	-0,656	-0,658	-0,648	-0,665	-0,636	-0,670	-0,658	-0,665	-0,669
44,785	0,000	17,103	H=	190,84	190,73	190,65	185,64	180,72	174,56	170,27	169,25	164,01	163,38	160,57	157,46	153,40
			P=	130,84	130,73	129,65	94,14	85,72	78,06	63,27	52,25	44,01	40,88	30,07	21,46	0,00
			O=	0,000	0,423	-0,434	-0,433	-0,434	-0,455	-0,431	-0,462	-0,464	-0,474	-0,468	-0,471	-0,474
47,273	0,000	16,346	H=	198,73	198,14	197,56	193,25	189,14	186,33	184,57	180,33	177,75	167,10	163,71	158,33	153,40
			P=	138,73	138,14	137,56	101,75	94,14	84,83	77,57	63,33	57,75	44,40	33,21	22,33	0,00
			O=	0,000	0,199	-0,206	-0,204	-0,207	-0,213	-0,209	-0,202	-0,180	-0,212	-0,205	-0,207	-0,207
49,761	0,000	16,164	H=	200,20	200,04	199,95	194,66	188,48	184,57	174,89	173,86	169,61	164,20	162,53	158,72	153,40
			P=	140,20	140,04	139,95	103,16	93,48	83,07	67,89	56,86	49,61	43,70	32,03	22,22	0,00
			O=	0,000	-0,055	0,071	0,069	0,066	0,056	0,094	0,081	0,074	0,060	0,061	0,063	0,058
52,289	0,000	16,074	H=	192,20	194,84	194,06	190,30	188,46	184,64	180,37	177,26	175,04	168,83	164,62	158,68	153,40
			P=	132,20	134,84	133,06	98,80	93,46	83,14	73,37	60,26	55,04	45,93	34,12	22,68	0,00
			O=	0,000	-0,317	0,294	0,310	0,323	0,321	0,330	0,344	0,350	0,330	0,341	0,345	0,347
54,737	0,000	17,703	H=	180,15	185,35	183,53	180,43	177,04	174,27	167,52	166,02	164,86	161,61	157,29	155,93	153,40
			P=	120,15	125,35	122,53	88,93	82,84	72,77	60,52	49,02	44,86	39,11	26,79	19,93	0,00
			O=	0,000	-0,526	0,519	0,530	0,541	0,536	0,554	0,553	0,551	0,549	0,547	0,538	0,534
57,225	0,000	19,212	H=	176,72	173,44	174,65	171,69	170,34	167,94	166,77	168,17	165,95	161,99	159,07	155,70	153,40
			P=	116,72	113,44	113,65	80,19	75,34	66,44	59,77	51,17	45,95	34,49	28,57	19,70	0,00
			O=	0,000	-0,645	0,647	0,647	0,657	0,669	-0,684	0,702	0,698	0,697	0,700	0,690	0,684
59,713	0,000	20,925	H=	162,91	162,20	162,45	160,41	158,44	157,72	154,99	152,68	154,21	154,33	154,40	154,96	153,40
			P=	102,91	102,20	101,45	68,91	63,44	56,22	47,99	35,68	34,21	31,83	23,90	18,96	0,00
			O=	0,000	-0,718	0,718	0,725	0,743	0,753	0,761	0,763	0,788	0,741	0,743	0,746	0,753
62,201	0,000	22,768	H=	151,42	152,16	151,41	151,87	153,34	155,76	155,61	158,53	154,38	153,63	154,61	154,53	153,40
			P=	91,42	92,16	90,41	60,37	58,34	54,26	48,61	41,53	34,38	31,13	24,11	18,53	0,00
			O=	0,000	-0,733	0,719	0,724	0,727	0,739	0,744	0,768	0,754	0,757	0,758	0,752	0,750
64,689	0,000	24,508	H=	147,49	144,20	145,34	144,77	144,02	145,07	145,72	143,12	147,35	148,62	150,54	152,12	153,40
			P=	87,49	84,20	84,34	53,27	49,02	43,57	38,72	26,12	27,35	26,12	20,09	16,12	0,00
			O=	0,000	-0,688	0,681	0,686	0,688	0,688	0,693	0,714	0,700	0,703	0,689	0,687	0,687
67,177	0,000	26,118	H=	141,17	137,86	139,14	140,59	142,34	143,77	145,41	151,25	148,63	150,18	151,56	152,12	153,40
			P=	81,17	77,86	78,14	49,09	47,34	42,27	38,41	34,25	28,63	27,68	21,00	16,12	0,00
			O=	0,000	-0,591	0,586	0,586	0,590	0,600	0,599	0,624	0,602	0,602	0,605	0,610	0,616
69,665	0,000	27,430	H=	130,34	133,30	132,20	134,68	136,54	138,55	140,29	137,94	143,67	145,54	148,54	150,39	153,40
			P=	70,34	73,30	71,20	43,18	41,50	37,03	33,29	20,94	23,67	23,04	18,04	14,39	0,00
			O=	0,000	-0,479	0,478	0,479	0,481	0,482	0,483	0,506	0,481	0,484	0,483	0,480	0,489
72,153	0,000	28,475	H=	129,80	129,99	129,36	133,18	134,86	138,62	140,58	146,00	144,95	148,27	150,27	151,13	153,40
			P=	69,80	69,99	68,36	41,68	39,86	37,12	33,58	29,00	24,95	25,77	19,77	15,13	0,00
			O=	0,000	-0,326	0,339	0,335	0,337	0,342	0,340	0,362	0,348	0,356	0,355	0,347	0,345
74,641	0,000	29,124	H=	130,41	128,06	128,84	131,05	131,59	133,22	137,10	136,83	142,35	144,92	148,75	151,10	153,40
			P=	70,41	68,06	67,84	39,55	36,59	31,72	30,10	19,83	22,35	22,42	18,25	15,10	0,00
			O=	0,000	-0,197	0,195	0,197	0,203	0,202	0,197	0,216	0,195	0,200	0,196	0,197	0,192
77,129	0,000	29,452	H=	126,15	127,14	127,16	128,52	131,18	136,24	140,39	140,48	143,57	146,95	149,38	150,95	153,40
			P=	66,15	67,14	66,16	37,02	36,18	34,74	33,39	27,48	23,57	24,45	18,88	14,95	0,00
			O=	0,000	-0,026	0,035	0,034	0,034	0,046	0,050	0,063	0,040	0,042	0,048	0,048	0,048
79,617	0,000	29,354	H=	126,55	127,42	127,11	129,32	131,53	134,56	137,53	136,66	140,79	144,02	149,76	152,01	153,40
			P=	66,55	67,42	66,11	37,82	36,53	33,06	30,53	19,66	20,79	21,52	19,26	16,01	0,00
			O=	0,000	0,114	-0,109	-0,110	-0,106	-0,109	-0,113	-0,090	-0,103	-0,112	-0,120	-0,122	-0,122
82,105	0,000	28,422	H=	130,36	128,66	129,53	131,95	133,31	136,84	140,71	144,12	144,72	147,43	149,80	151,80	153,40
			P=	70,36	68,66	68,53	40,15	38,31	35,34	33,71	27,12	24,72	24,93	19,30	15,80	0,00
			O=	0,000	-0,282	-0,263	-0,259	-0,260	-0,265	-0,252	-0,244	-0,258	-0,256	-0,257	-0,262	-0,265
84,593	0,000	28,094	H=	132,41	131,15	131,60	133,12	134,84	136,58	138,95	139,34	142,71	145,85	147,49	150,11	153,40
			P=	72,41	71,15	70,60	41,62	39,84	35,08	31,95	22,34	22,71	23,35	16,99	14,11	0,00
			O=	0,000	0,382	-0,391	-0,389	-0,385	-0,387	-0,392	-0,380	-0,388	-0,405	-0,411	-0,404	-0,401
87,081	0,000	27,009	H=	134,05	134,71	134,08	136,97	140,32	141,70	145,28	146,44	147,21	148,98	149,81	151,67	153,40
			P=	74,05	74,71	73,08	45,87	45,32	40,20	38,28	29,44	27,21	26,48	19,31	15,67	0,00
			O=	0,000	0,519	-0,508	-0,514	-0,516	-0,512	-0,492	-0,497	-0,507	-0,506	-0,509	-0,512	-0,513
89,569	0,000	25,040	H=	141,47	139,65	140,32	141,36	142,82	143,05	143,40	142,85	144,02	148,47	150,09	152,22	153,40
			P=	81,47	79,65	79,32	49,86	47,42	41,55	36,80	25,85	24,02	25,97	19,59	16,22	0,00
			O=	0,000	0,578	-0,579	-0,582	-0,584	-0,582							

VALORES EXTREMOS OCORRIDOS NO TRANSITORIO

VOLUME AR(M ³)	BOMBA (M)	TANQUE (M)	K/L =										
			0,0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
MAX= 32,459	HMAX= 205,51	200,24	201,64	198,01	194,30	190,57	185,85	183,66	178,33	173,14	167,96	162,51	153,40
MIN= 16,145	HMIN= 112,90	119,52	117,37	116,91	119,32	121,92	124,71	127,96	132,57	136,61	140,51	145,42	153,40
	PMAX= 145,50	140,20	140,64	106,51	90,30	89,07	78,85	66,66	58,33	50,60	37,46	26,51	0,00

