

C U R S O   D E

REGIMES TRANSITORIOS EM SISTEMAS HIDRAULICOS SOB PRESSÃO

PARTE   II

INSTRUTOR:    ENG.   MICHEL   DARZE

PERIODO:        05   A   13.06.95

COORDENACAO:   GRUPO DE TREINAMENTO / DIREH / GEAD

# REGIMES DE ESCOAMENTO - VARIABILIDADE NO TEMPO

## 1- REGIMES PERMANENTES ( $dv/dt = 0$ )

Depende da permanência da compatibilidade das características hidráulico-geométricas do sist. com a carga hidráulica disponível.

## 2- REGIMES VARIÁVEIS ( $dv/dt \neq 0$ ; $dH/dt \neq 0$ )

TRANSITÓRIOS : Entre dois Regimes Permanentes

### - Pseudo Permanentes :

Equilíbrio hidráulico quase sem atraso e sem variações bruscas de pressão resultantes da inércia da coluna líquida.

### - Oscilação em Massa :

Comportamento dinâmico influenciado pelas forças de inércia mas sem efeitos elásticos.

### - Golpe de Aríete :

Comportamento dinâmico com intervenção significativa da elasticidade do líquido e da tubulação.

## GOLPE DE ARIETE :

- Situação potencialmente mais perigosa;
- Pressões extremas transitórias podem se afastar muito das condições de regime permanente;
- Variações bruscas que propagam-se através de ondas elásticas interagindo, por vezes de forma violenta e destrutiva, com massas de ar eventualmente acumuladas, com acessórios e equipamentos;
- Em diversas situações ocorrem vibrações nas tubulações e equipamentos, resultando em esforços dinâmicos nas amarrações muitas vezes não previstos;

# **ENQUADRAMENTO**

## **- GOLPE DE ARÍETE : SEUS EFEITOS DESTRUTIVOS**

### **PODEM CAUSAR :**

- . Redução da vida útil das tubulações;
- . Colapso do Sistema: (Imediato ; curto ou médio prazo);
- . Danos materiais;
- . Transtornos pela paralisação dos sistemas;
- . Danos ao meio ambiente;
- . Perda de vidas; etc...

### **EVITAR OS DANOS :**

- . Atenuar efeitos do golpe de ariete
- . Diversidade de efeitos/causas dificulta soluções gerais;
- . Solução Final : Análise/Proteção. Dependerá de:
  - Características das instalações;
  - Metodologia utilizada;
  - Experiência e qualificação do projetista.

# CAVITAÇÃO E VAPORIZAÇÃO

## - PRESSÃO SUBATMOSFÉRICA NA ADUTORA :

- Liberação de Gases Dissolvidos;
- Maior Risco de se Atingir Pontualmente a Pressão de Vapor do Líquido (flutuações turbulentas).

## - PRESSÕES IGUAIS OU PRÓXIMAS DA PRESSÃO DE VAPOR :

### - MACROCAVITAÇÃO

- Escoamento Bolhoso;
- Separação da Coluna Líquida;
- Ruptura da Coluna Líquida.

Locais mais suscetíveis de ocorrer os fenômenos acima :

- . Pontos altos do perfil da adutora;
- . A jusante de válvulas; etc...

## - RISCOS POTENCIAIS RESULTANTES DA OCORRÊNCIA DE PRESSÕES SUBATMOSFÉRICAS/ MACROCAVITAÇÃO :

- Contaminação de água tratada por infiltração do exterior;
- Colapso por esmagamento da tubulação no caso de não resistir às pressões externas;
- Deterioração do revestimento interno:
  - Enfraquecimento estrutural da tubulação;
  - Aceleração de processos corrosivos;
  - Redução da vida útil da tubulação.
- Nos casos de ruptura ou separação da coluna líquida; ocorrência de sobrepressões adicionais elevadas no instante da reintegração da coluna.

# **CARACTERIZAÇÃO BÁSICA DOS SISTEMAS**

## **1- CARACTERIZAÇÃO DO FLUIDO**

- Massa Específica ( $\rho$ ) ou Peso Específico ( $\gamma$ )
- Módulo de Elasticidade Volumétrica (K)
- Viscosidade Cinemática ( $\nu$ )

## **2- CARACTERIZAÇÃO DA TUBULAÇÃO**

- Diâmetro (D)
- Comprimento (L)
- Espessura da parede (e)
- Rugosidade da parede (k)
- Características Mecânicas :
  - .Módulo de Elasticidade Volumétrica do Material (E)
  - .Coeficiente de Poisson ( $\mu$ )
  - .Pressões Máximas e Mínimas
- Características Topográficas : perfil longitudinal

## **3- CARACTERIZAÇÃO DO CONJUNTO MOTOR-BOMBA**

- Curvas Características
- Momento de Inércia das Massas Girantes
- Velocidade nominal de rotação dos grupos
- Potência nominal dos motores
- Disposição dos conjuntos na estação elevatória

## **4- CARACTERIZAÇÃO DAS VÁLVULAS (sec. e control.)**

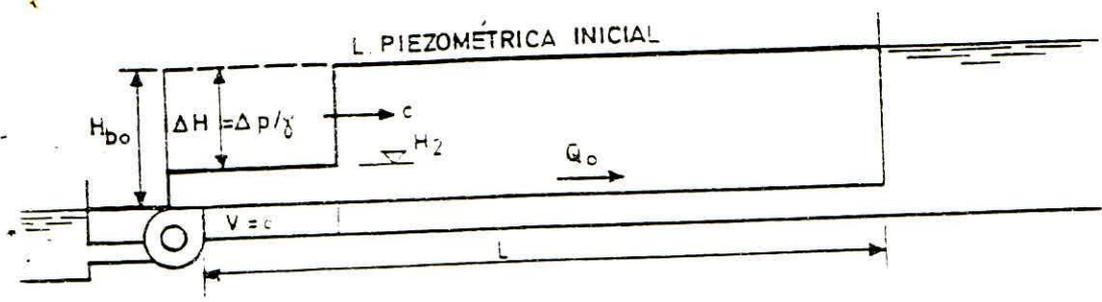
- Tipo de válvula
- Lei de variação do grau de abertura ou do coef. perda localizada
- Caracterização das válvulas de retenção

## **5- CARACTERIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS**

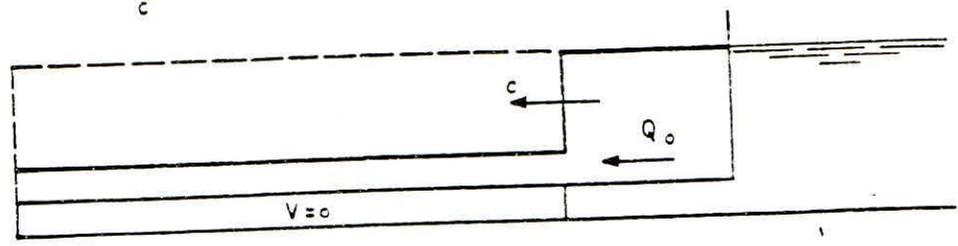
- Grandes dimensões : N.A. = cte.
- Níveis Extremos

## **6- CARACTERIZAÇÃO DE REG. PERMANENTE INICIAL**

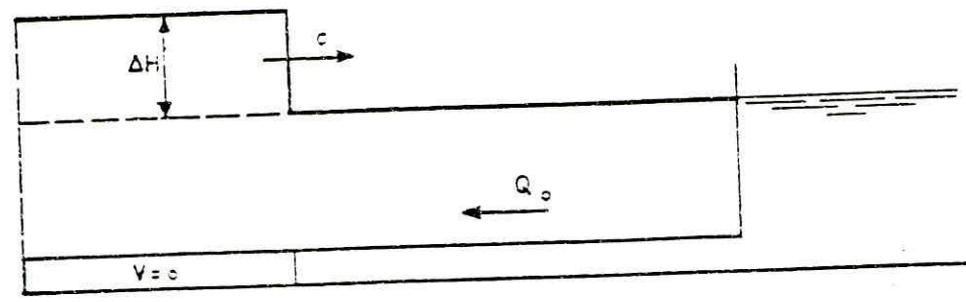
- Vazão
- Perda de Carga
- Pressões
- Cotas Piezométricas



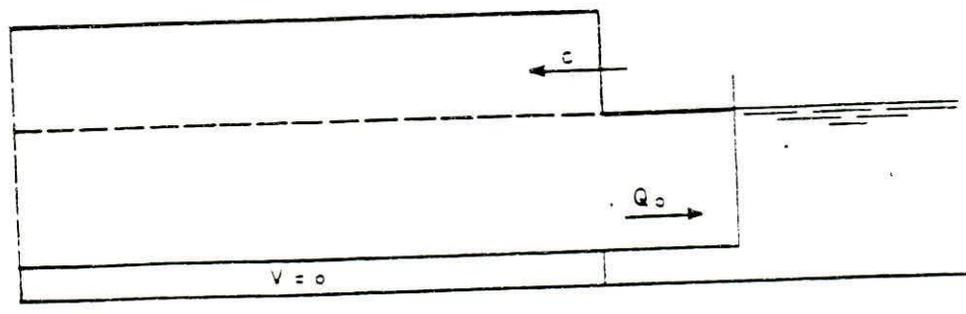
$\frac{L}{c} \geq t > 0$  - 1ª FASE



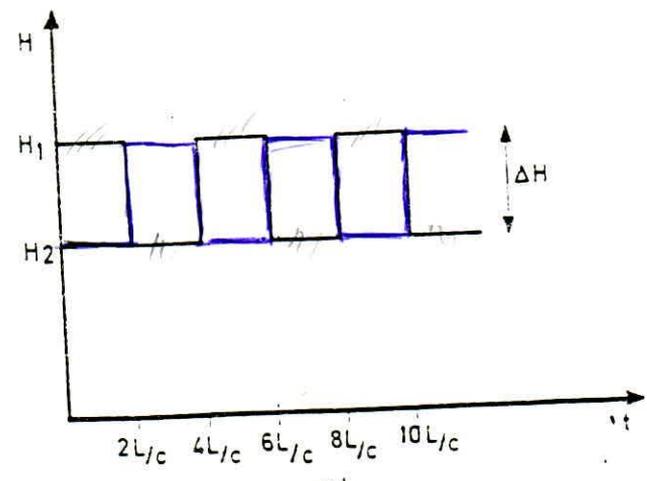
$\frac{2L}{c} \geq t > \frac{L}{c}$  - 2ª FASE



$\frac{3L}{c} \geq t > \frac{2L}{c}$  - 3ª FASE



$\frac{4L}{c} \geq t > \frac{3L}{c}$  - 4ª FASE



a)

### **3- CONSIDERAÇÕES SOBRE AS "ANÁLISES PRELIMINARES"**

- . Utilizar estas metodologias com precaução. Resultados podem apresentar grandes discrepâncias dos reais.
- . Identificar as hipóteses simplificativas utilizadas no desenvolvimento do método.
- . Avaliar conhecimentos disponíveis na época em que foi desenvolvido o método.
- . No caso de ábacos ou tabelas podem ser necessárias grandes extrapolações para atender ao sistema em questão.
- . Com os microcomputadores tipo "PC" a justificativa para utilização destes métodos se restringiu, significativamente, a estudos preliminares.

## **CONDICIONANTES DA PROTEÇÃO**

### **1- RESISTÊNCIA DAS TUBULAÇÕES**

#### **1.1 - PRESSÃO INTERNA MÁXIMA ( $P_{max}$ )**

- .  $P_{max} < P_{max}$  de serviço da tub.

Obs.: Alguns fabricantes distinguem  $P_{max}$  serv. de Sobrepressão

- .  $P_{max} < P_{max}$  serv. equipamentos e "juntas"

Obs.: Alguns materiais (PVC principalmente) sofrem fadiga pela repetição dinâmica dos esforços, diminuindo com o tempo a pressão máxima de serviço.

#### **1.2 - PRESSÃO INTERNA MÍNIMA ( $P_{min}$ )**

- . Exceto em casos justificados :  $P_{min} > P_{atm}$ .

- .  $( P_{externa} - P_{min} ) < P_{colapso}$

- .  $P_{min} > P_{vapor}$  ( ruptura da veia líquida )

Determinação da Pressão de Colapso das Tubulações de forma aproximada:

$$DP_{cr} = (P_e - P_i)_{cr} = 2 \cdot E / (1 - \mu^2) \cdot (e / D)^3$$

$P_e$  - pressão externa

$P_i$  - pressão interna

$DP_{cr}$  - diferencial de pressão crítico ao esmagamento (N/m<sup>2</sup>)

$E$  - Módulo de elasticidade volumétrica da tub. (N/m<sup>2</sup>)

$\mu$  - Coeficiente de Poisson do material 0,3 PVC ; 0,5

$e$  - espessura da parede da tub.

$D$  - diâmetro da tub.

Obs.: Recomenda-se utilizar coef. de segurança (  $C_s$  ) 1.0 a 1.5 conforme a importância da instalação.

$$DP_{crs} = DP_{cr} / C_s$$

## 2- CONTAMINAÇÃO DO LÍQUIDO EM ESCOAMENTO

.  $P_{imin} > P_{atm}$ . para sistemas de água tratada ou onde não seja admitida contaminação do líquido.

.  $( P_{imin} / w ) < -5$  m.c.a. para sist. onde seja admissível contaminação.

## 3- MACROCAVITAÇÃO E RUPTURA DA VEIA LÍQUIDA

.  $P_{imin} > P_{vapor}$

Obs. : Por segurança adota-se  $( P_{vapor} / w ) = -5$  m.c.a.  
Depende da importância do sistema , etc...

## SELEÇÃO DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO

- Características Hidráulicas do Sistema;
- Características Topográficas ( perfil da adutora );
- Princípio de Atuação do Dispositivo;
- Diferentes Classes de Pressão da Tubulação;
- Combinação de mais de um Dispositivo .

## **FILOSOFIA BÁSICA DA PROTEÇÃO**

- **CONTROLE DO TEMPO DE ANULAÇÃO DA VAZÃO NA SEÇÃO DA PERTURBAÇÃO** ( Volantes de Inércia, Válvulas com tempo de manobra controlados, etc...)
- **CONTROLE DA VARIAÇÃO DA VAZÃO E C. PIEZ. NA TUB.**  
( Chaminé de Equilíbrio, RHP ,etc..)
- **CONTROLE DAS PRESSÕES MÍNIMAS** ( TAU, RHP, Cham.)
- **CONTROLE DAS PRESSÕES MÍNIMAS E MÁXIMAS** .  
( Chaminé de Equilíbrio, RHP, Vol. de Inércia, etc...)
- **CONTROLE DAS PRESSÕES MÁXIMAS.**  
( Válvula de Alívio, etc...)

Obs.: A visão apresentada acima é bastante simplista uma vez que um dispositivo ao atuar interfere no fenômeno como um todo.

## **ATUAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO**

- Armazenamento e fornecimento de energia aos grupos para atenuar transitoriamente a falta de energia nos mesmos ( V.I.)
- Absorção e fornecimento alternados de energia ao escoamento, incluindo ou não absorção e fornecimento de líquido.
- Fornecimento de líquido ao escoamento para controle das pressões mínimas.
- Expulsão de líquido do sistema para controle das pressões máximas.
- Estabelecimento de ligação temporária com o exterior (atmosfera), com um reservatório ou com outra tubulação em função da pressão interna.

# VOLANTE DE INÉRCIA

21

- **Massa Adicional** em forma de disco acoplada ao eixo do conjunto motor-bomba. (Aumenta o GD2 das massas girantes)
- A **Energia armazenada nas Massas Girantes** aumenta o tempo de anulação da vazão na bomba.
- **Funcionamento do Dispositivo** apenas na primeira fase do fenômeno. (até o fechamento da válvula de retenção).

## - OBJETIVO PRINCIPAL :

- . Controlar Pressões Mínimas. Os efeitos sobre as pressões máximas são consequência da atuação na 1ª fase.

## - PRIMEIRA FASE : (Antes do fechamento da V.R.)

- . Aumenta o tempo de anulação da vazão na bomba.
- . Prolonga o funcionamento da bomba na zona de bomb. normal.
- . Variação de pressões e vazão a jusante da bomba mais gradual.
- . Ocorrência da Cota Piezométrica mínima.
- . Atenua as pressões mínimas a jusante da bomba e, como consequência, as pressões extremas em todo o sistema.

## - SEGUNDA FASE : (Após o fechamento da V.R.)

- . Predominância dos efeitos elásticos.
- . Atenuação por efeitos dissipativos (perdas de carga).
- . Ocorrência da Cota Piezométrica máxima.

## - DIMENSIONAMENTO

- . Escolha do GD2 para atender às pressões requeridas .
  - Tabelas, Ábacos, etc : Dim. Preliminar
  - Simulações Numéricas : Dim. Definitivo

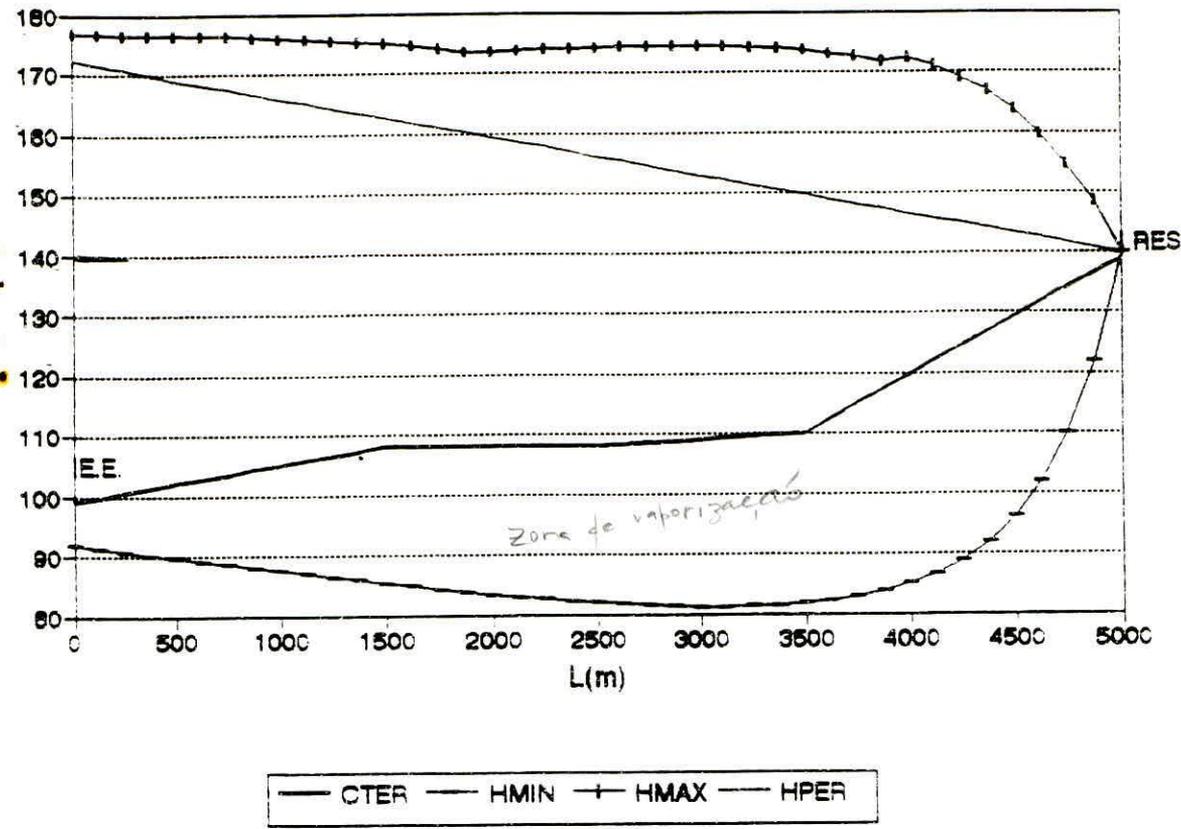
## - CONDICIONANTES DO DIMENSIONAMENTO

- . Envoltórias das Cotas Piez. Extremas;
- . Condições de Arranque dos Grupos (condicionantes elétricos, maior desvantagem);
- . Resistência mecânica e condicionantes diversos.

## - FORMATO ACONSELHÁVEL

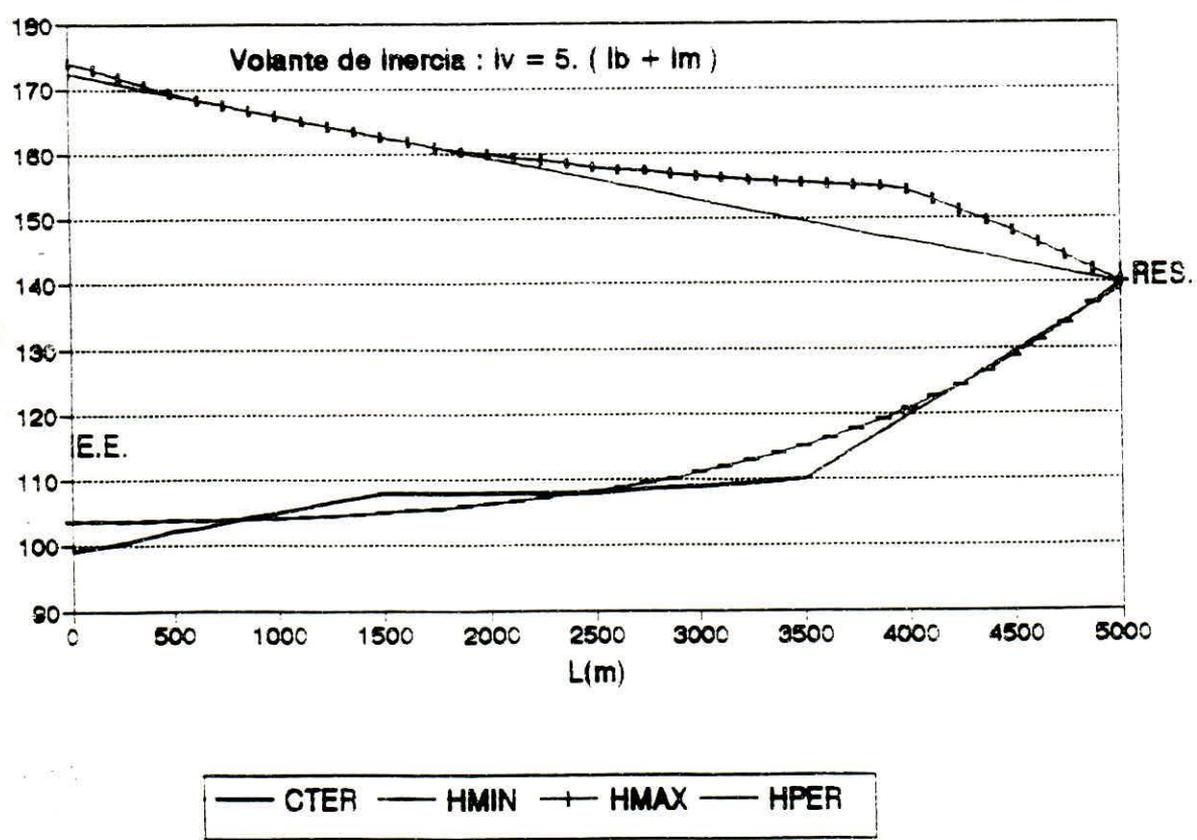
- . Posicionamento da massa o mais afastada possível do eixo. ( mesma inércia com menor massa);
- . Simétrico - Questões de resistência e equilíbrio dinâmico.

**SISTEMA DE RECALQUE : DESLIG. BOMBA ENVOLTORIA DAS C. PIEZ.**

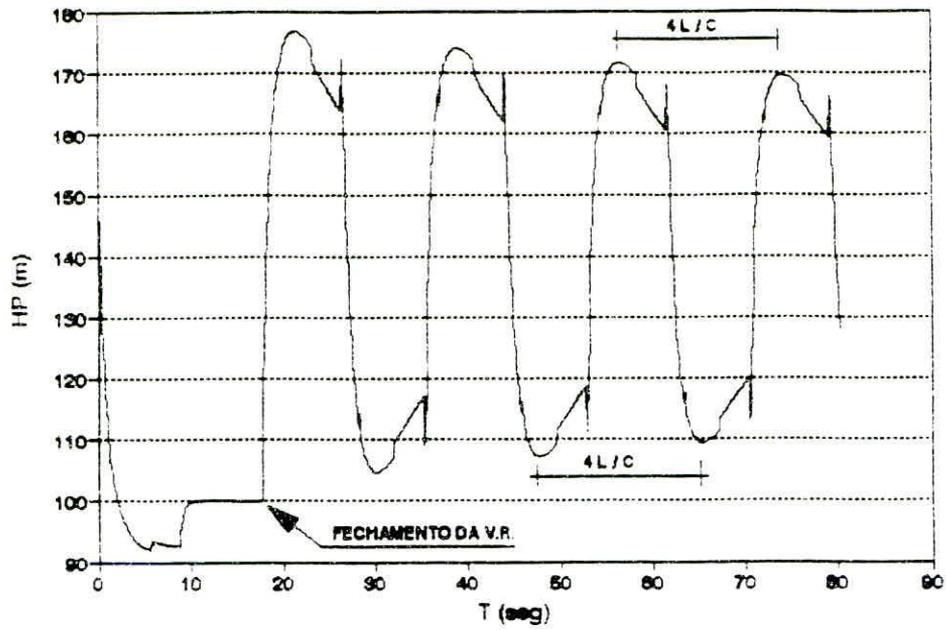


$Q = 110 \text{ l/s}$   
 Tubo K-7  
 $C.R = 100$   
 $C. Res. S. = 140$   
 $F = F = \phi 300 \text{ mm}$   
 $C = 1135 \text{ m/s}$   
 $M I_b = 0,65 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$   
 $M I_h = 2,93 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$   
 $I t = 3,58 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$   
 $\frac{L}{c} = 4,405$   
 $\frac{zL}{c} = 8,805$

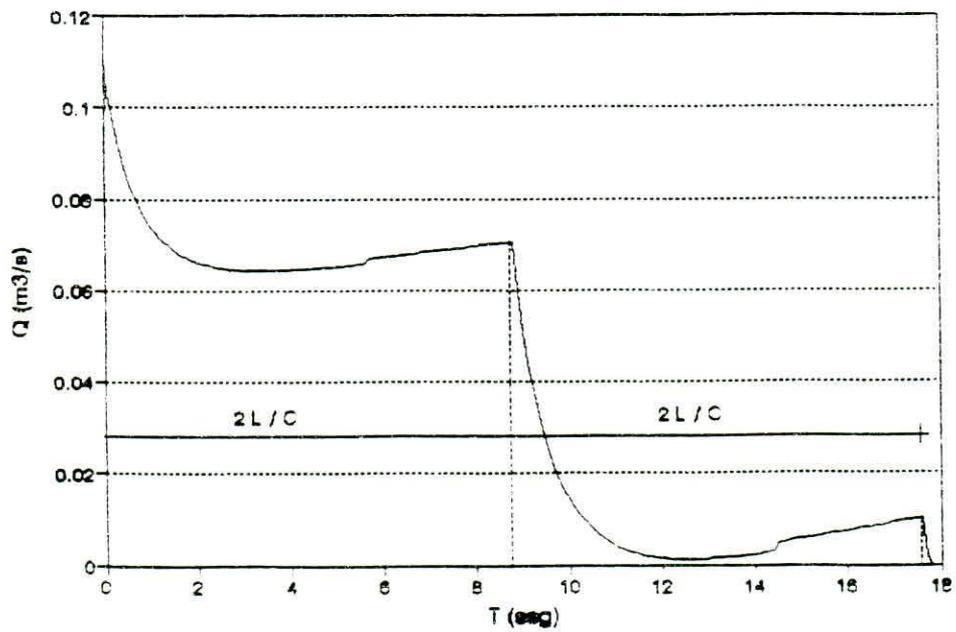
**SIST. REC.COM VOLANTE DE INERCIA ENVOLTORIA DAS C. PIEZ.**



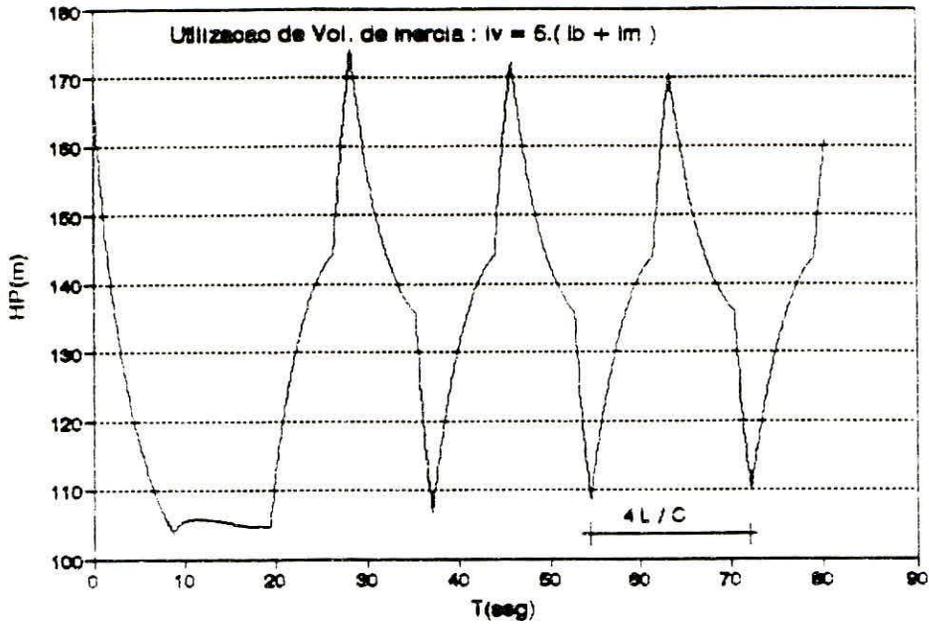
**SISTEMA DE RECALQUE : DESLIG. BOMBA  
EVOL. C. PIEZ. A JUBANTE DA V.R.**



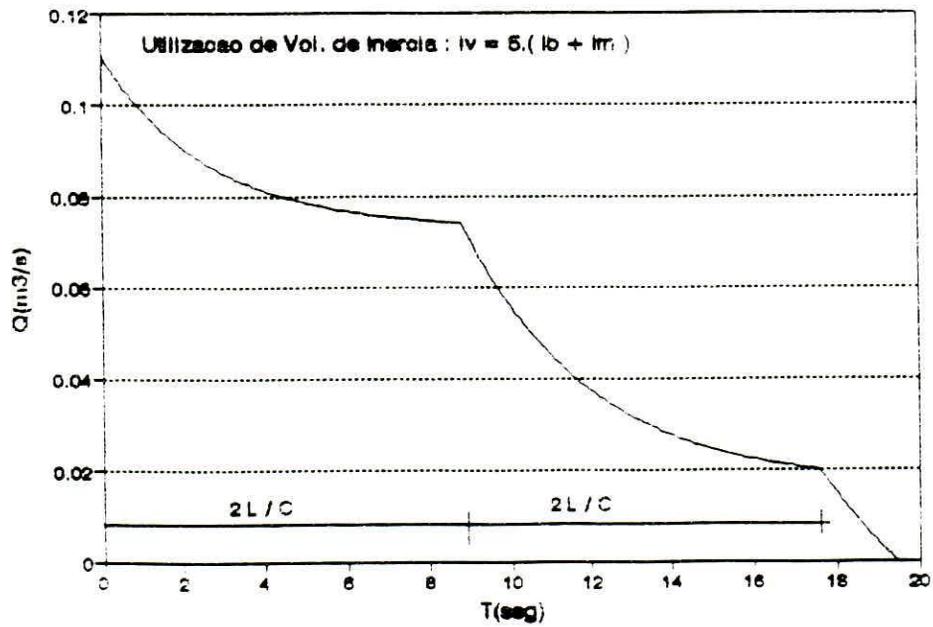
**SISTEMA DE RECALQUE : DESLIG. BOMBA  
VAZAO NA BOMBA ATÉ O FECHAMENTO DA V.R.**



### SISTEMA DE RECALQUE : DESLIG. BOMBA EVOL. C.PIEZ. A JUSANTE DA V.R.



### SISTEMA DE RECALQUE : DESLIG. BOMBA VAZAO NA BOMBA ATE O FECHAMENTO DA V.R.



## CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO

- Reservatório com ligação permanente com a Adutora a proteger e com a atmosfera.

- Em geral tem forma cilíndrica

- N.A. na Chaminé = C. Piez. na seção de ligação em Reg. Permanente

- **OBJETIVO PRINCIPAL** : Controle das Pressões Máximas e Mínimas no Sistema

- **FUNCIONAMENTO** :

. Troca contínua de Energia Potencial Gravitacional da Chaminé e Energia Cinética da Coluna Líquida;

. Fase de Depressão : Alimentação da Adutora pela Chaminé;  
Desaceleração gradual da coluna líquida;  
Redução do N.A. na Chaminé.

. Fase de Sobrepressão : Escoamento da tub. para Chaminé;  
Transformação E. Cin. → E. Grav. ;  
Elevação do N.A. na Chaminé .

. Entre a Chaminé e o reservatório em contato com a atmosfera se estabelece um escoamento gradualmente variável ( **Oscilação em Massa** ) de baixa frequência (grande período de oscilação ) com efeitos elásticos desprezíveis.

. Entre a Chaminé e o obturador ( bomba/ v.r. . registro, turbina) verifica-se **Golpe de Aríete**.

. Reflexão total das ondas elásticas na Chaminé: função da seção.

- **DESVANTAGEM** : Topografia favorável ou altura elevada.

- **TUBO VERTICAL**

. Seção transversal muito pequena comparada com a tub. ;  
. Não promove reflexão relevante das ondas elásticas;  
. Proteção muito localizada;  
. Permite a alimentação de um pequeno volume de água, depois funciona como ventosa (localização : pontos altos )

## - SISTEMAS DE RECALQUE

- . Proteção direta do trecho entre a Chaminé e o res. de jusante.
- . Proteção indireta do trecho entre a Chaminé e os grupos (redução do comprimento de reflexão das ondas)
- . Admissão da Análise dos trechos em separado :
  - Reflexão praticamente total das ondas elásticas.
    - . Relação seção chaminé x seção tubulação;
    - . Perdas de Carga na ligação;
    - . Diferença entre os períodos de oscilação:

$$(Lz \cdot Sc / Sa) ^ 0.5 > (40 \cdot Lm / c)$$

- Lz - comp. tub. a jusante da Chaminé (m)
- Sc - área da seção da Chaminé (m<sup>2</sup>)
- Sa - área da seção da tub. adutora (m<sup>2</sup>)
- Lm - comp. tub. a montante da Chaminé (m)
- c - celeridade tub. a montante da Chaminé (m/s)

## - DIMENSIONAMENTO DA CHAMINÉ

- . Localização Adequada;
- . Determinação dos níveis extremos na Chaminé para evitar entrada de ar na tub. ou extravasamentos quando não previstos;
- . Definição da perda de carga na ligação ( redução amplitudes);
- . Verificação das envoltórias no sistema em especial no trecho onde se verifica o golpe de aríete.

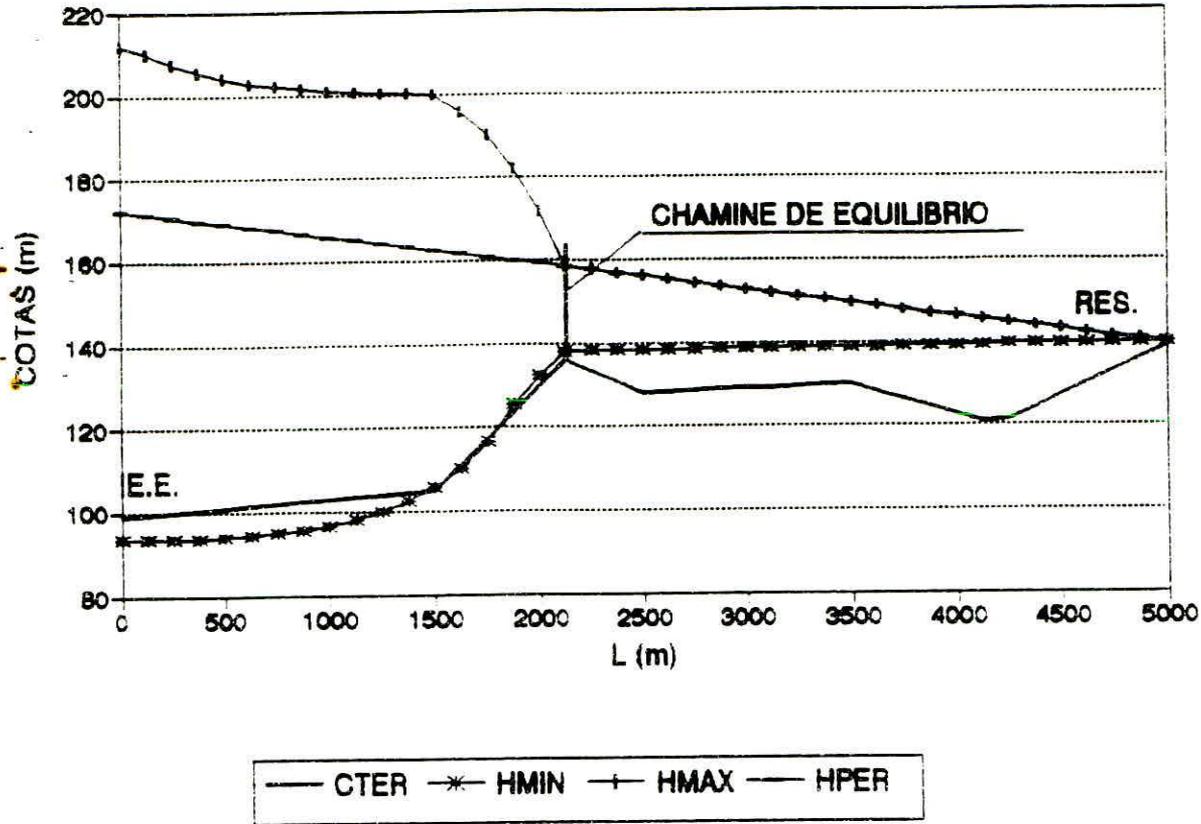
### - Avaliação Aprox. Desempenho da Chaminé (perda de carga nula)

$$Tch = 2. \pi \cdot (Lz \cdot Sc / g / Sa) ^ 0.5$$

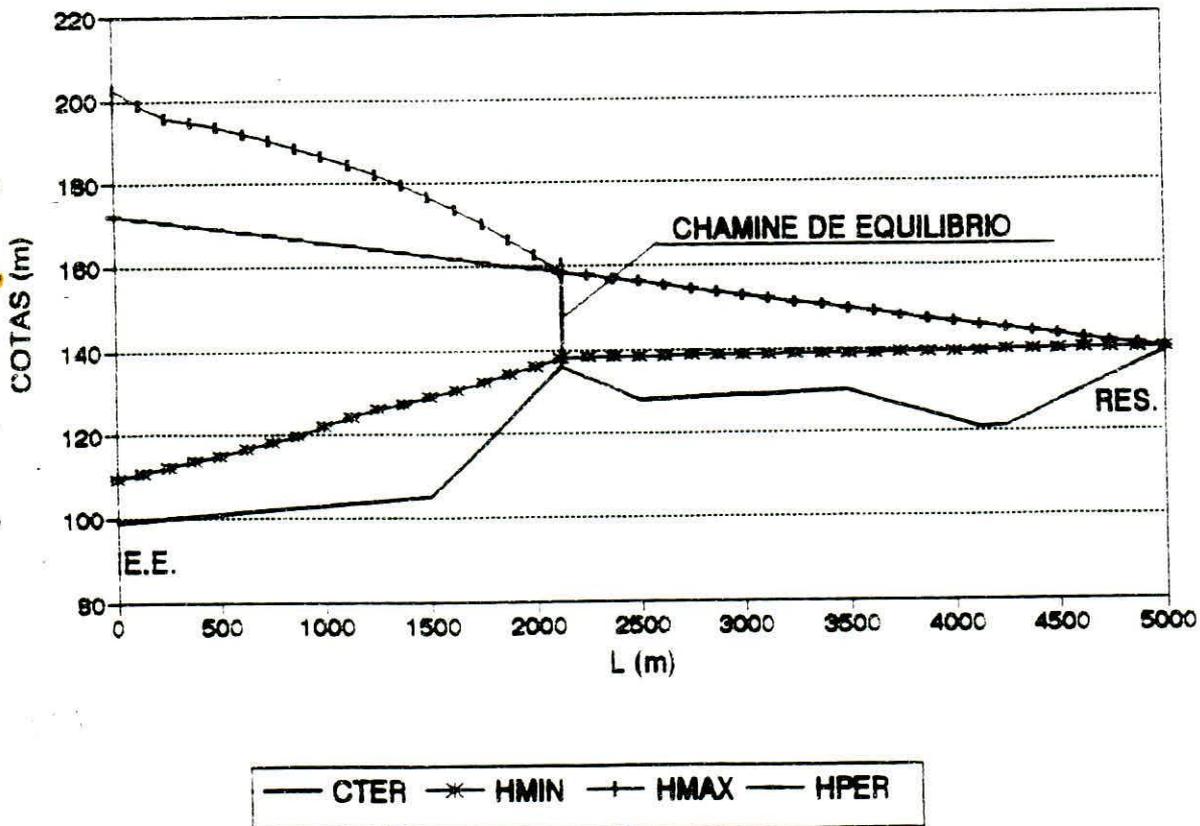
$$DZ = Vo \cdot ( Sa \cdot Lz / g / Sc) ^ 0.5$$

- Tch - período de oscilação do N.A. (seg.)
- DZ - amplitude máxima das oscilações no N.A. (m)
- Vo - velocidade em reg. per. no trecho a jus. chaminé (m/s)
- g - aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

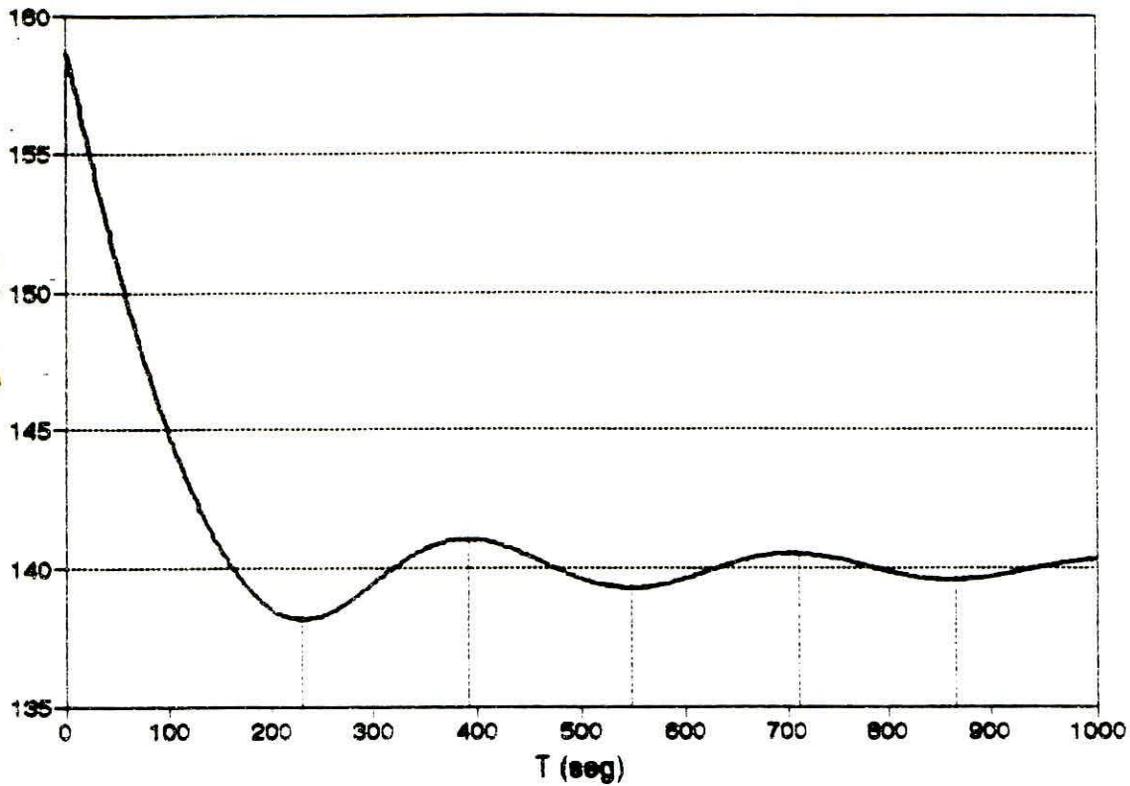
### SIST. REC. COM CHAMINE DE EQUILIBRIO ENVOLTORIA DAS COTAS PIEZ.



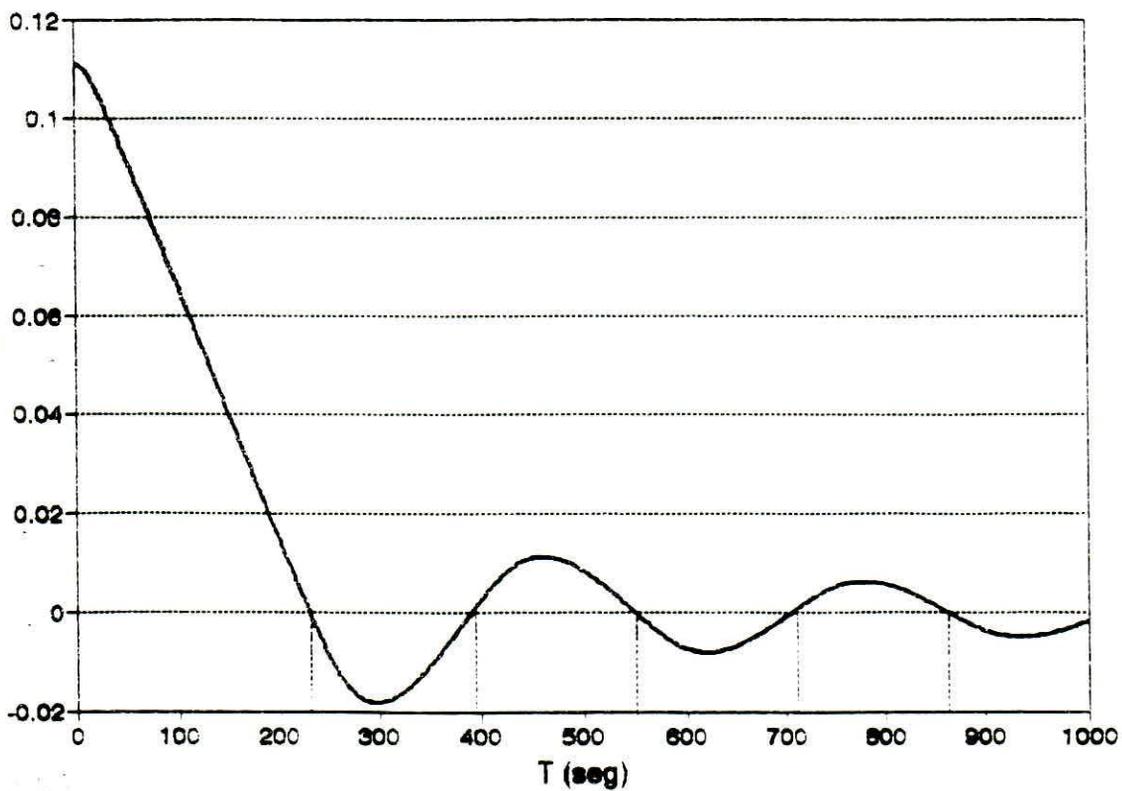
### SIST. REC.: CHAMINE + VOL. INERCIA ENVOLTORIAS DAS COTAS PIEZ.



SIST. REC.: DISP. DE PROTECAO : CHAMINE  
N.A.NA CHAMINE x TEMPO

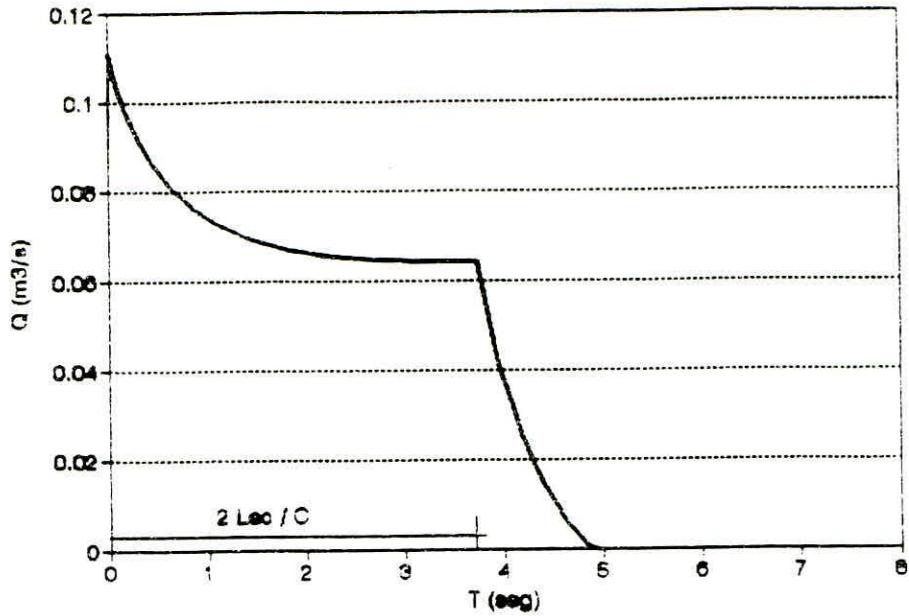


SIST. REC.: DISP. DE PROTECAO : CHAMINE  
VAZAO A JUS. DA CHAMINE x TEMPO

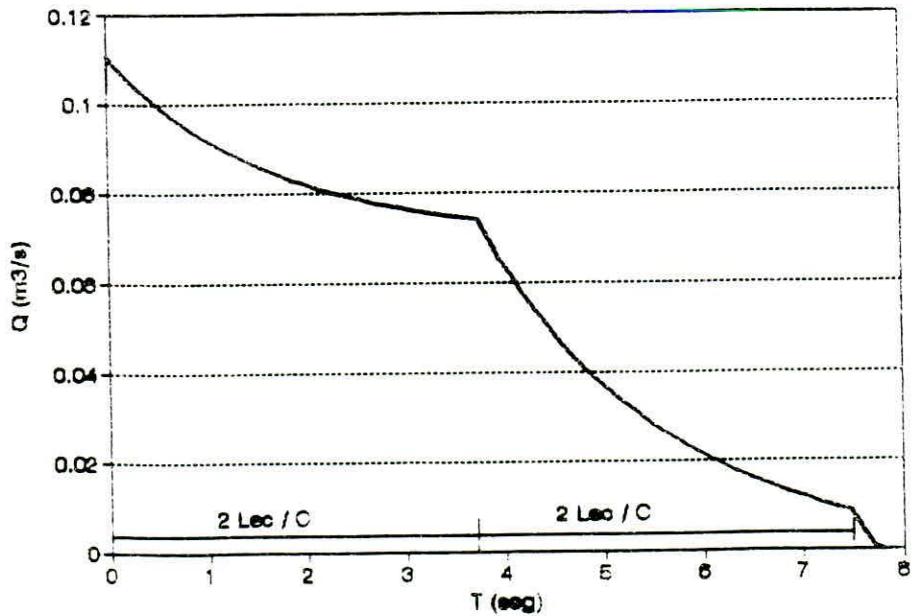


30

SIST. REC. COM CHAMINE  
EVOL. DA VAZAO A JUSANTE DA V.R.



SIST. REC. : CHAMINE + VOL. DE INERCIA  
EVOL. DA VAZAO A JUSANTE DA V.R.



## RESERVATÓRIO HIDROPNEUMÁTICO OU DE AR COMPRIMIDO

- Reservatório com permanente ligação a adutora, contendo ar (ou outro gás sob pressão)

- **OBJETIVO PRINCIPAL** : Controlo de pressões máximas e mínimas.

- **POSICIONAMENTO** : Geralmente imediatamente a jusante da v.r. (dispositivo típico de Sist. de Recalque )

- **FUNCIONAMENTO** :

. Reduz a amplitude das pressões extremas pela redução gradual da vazão ( normalmente junto aos grupos ).

. Cede energia potencial armazenada , nas fases de depressão, e absorve energia da coluna líquida nas fases de sobrepressão.

. No trecho entre o RHP e o res. de jusante ocorre um fenómeno de **oscilação em massa forçada** com preponderância das características elásticas da massa gasosa contida no RHP.

. No trecho a montante do RHP verifica-se **Golpe da Aríete**.

- **DIMENSIONAMENTO**

- Determinação do volume inicial de ar para garantir envoltórias de pressões extremas compatíveis.

- Dimensionamento da ligação RHP - Adutora (perda de carga localizada; assimetria; diâmetro da tub. ligação).

- Determinação do volume máximo de ar no RHP ( $V_{max}$ );

- Determinação do volume do RHP ( $1.2 \cdot V_{max}$ ).

- **OPERAÇÃO**

. Ar contido no RHP tende a se dissolver na água

- Sist. automático de alimentação com compressores;

- Outras soluções pouco utilizadas.

- **DESVANTAGEM**

. Efeito desfavorável no fechamento das válvulas de retenção ( impacto violento no fechamento);

. Seleção de válvulas de retenção apropriadas.

. Operação e Manutenção Atuantes.

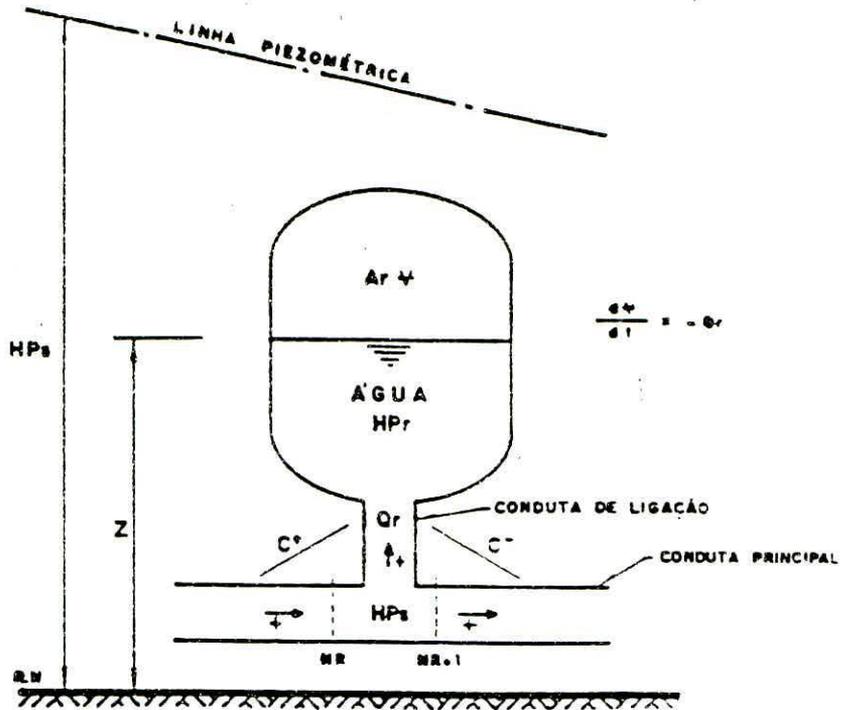


Fig. 6.1 Reservatório Hidropneumático situado em uma seção qualquer da conduta.

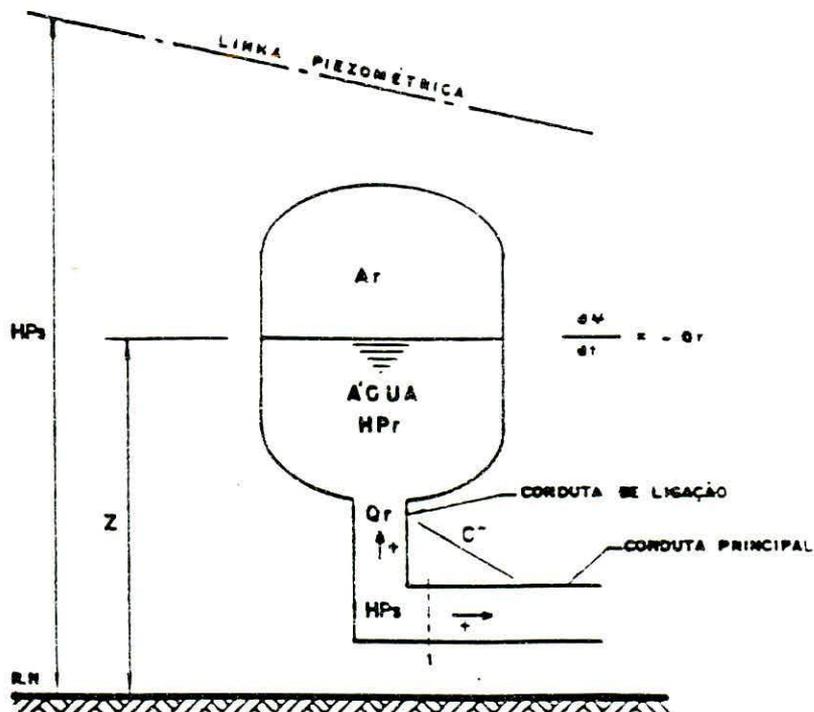


Fig. 6.2 Reservatório Hidropneumático situado na extremidade de montante da conduta principal, com válvula de retenção fechada no instante  $t = 0$ .

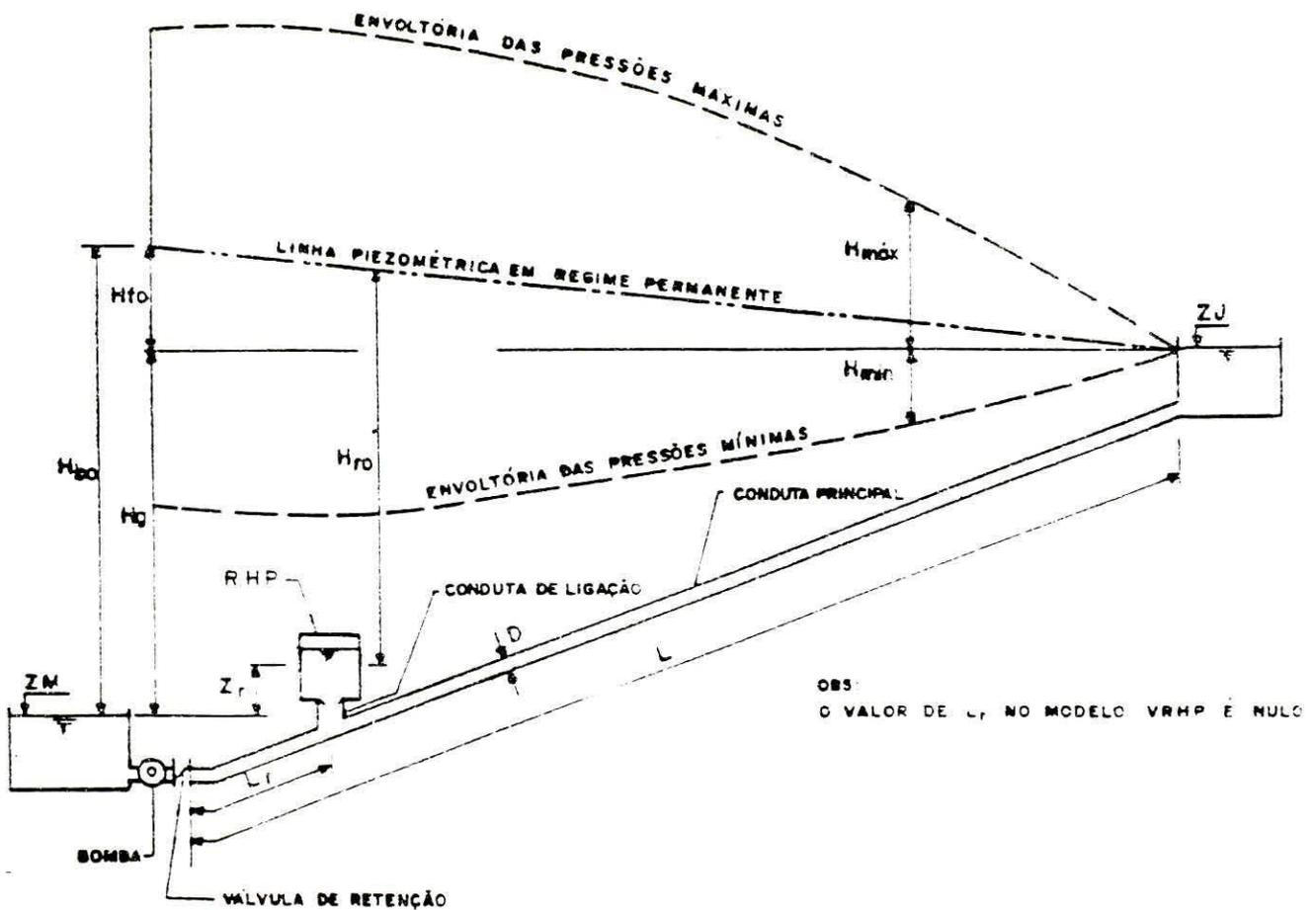


Fig. 7.1 Sistema Elevatório proposto nos modelos e simbologia adotada

- coeficiente de compensação energética com RAC,  $\lambda_R$

$$\lambda_R = \frac{2g y_{R0}^* \nabla_{R0}}{L S V_0^2}$$

- parâmetro característico da conduta com RAC,  $\overline{p}_R^*$

$$\overline{p}_R^* = \frac{c V_0}{g y_{RH}}$$

sendo, respectivamente,  $y_{R0}^*$  e  $y_{RH}$  as alturas piezométricas no regime permanente inicial e em regime hidrostático, correspondentes à pressão absoluta no interior do RAC (em m c.a.) e  $\nabla_{R0}$  o volume inicial do ar no RAC (em m<sup>3</sup>).

Quadro 10 - Variações extremas da cota piezométrica no RAC e a meio da conduta (Valores aproximados)

①	RAC (x=0)		x = L/2		②
	$\frac{\Delta N_{Rm}}{y_{R0}}$	$\frac{\Delta N_{RM}}{y_{R0}}$	$\frac{\Delta N_m}{y_{R0}}$	$\frac{\Delta N_M}{y_{R0}}$	
2	0,60	1,50	0,45	1,20	2,20
4	0,48	1,10	0,35	0,60	1,80
6	0,43	0,85	0,30	0,50	1,60
8	0,39	0,75	0,26	0,40	1,55
10	0,36	0,65	0,24	0,35	1,48
15	0,30	0,50	0,20	0,25	1,40
20	0,27	0,40	0,18	0,22	1,35

- No RAC:

$$\Delta N_{Rm} = (N_{Rm} - N_{R0})$$

$$\Delta N_{RM} = (N_{RM} - N_{R0})$$

- Na secção a meio da conduta (L/2):

$$\Delta N_m = (N_m - N_0)$$

$$\Delta N_M = (N_M - N_0)$$

sendo  $N_{Rm}$  e  $N_{RM}$  as cotas piezométricas extremas (mínima e máxima) na secção de ligação do RAC,  $N_m$  e  $N_M$  as cotas piezométricas extremas (mínima e máxima) na secção a meio da conduta e  $N_{R0}$  e  $N_0$  as cotas piezométricas iniciais respectivamente na secção de ligação do RAC e a meio da conduta.

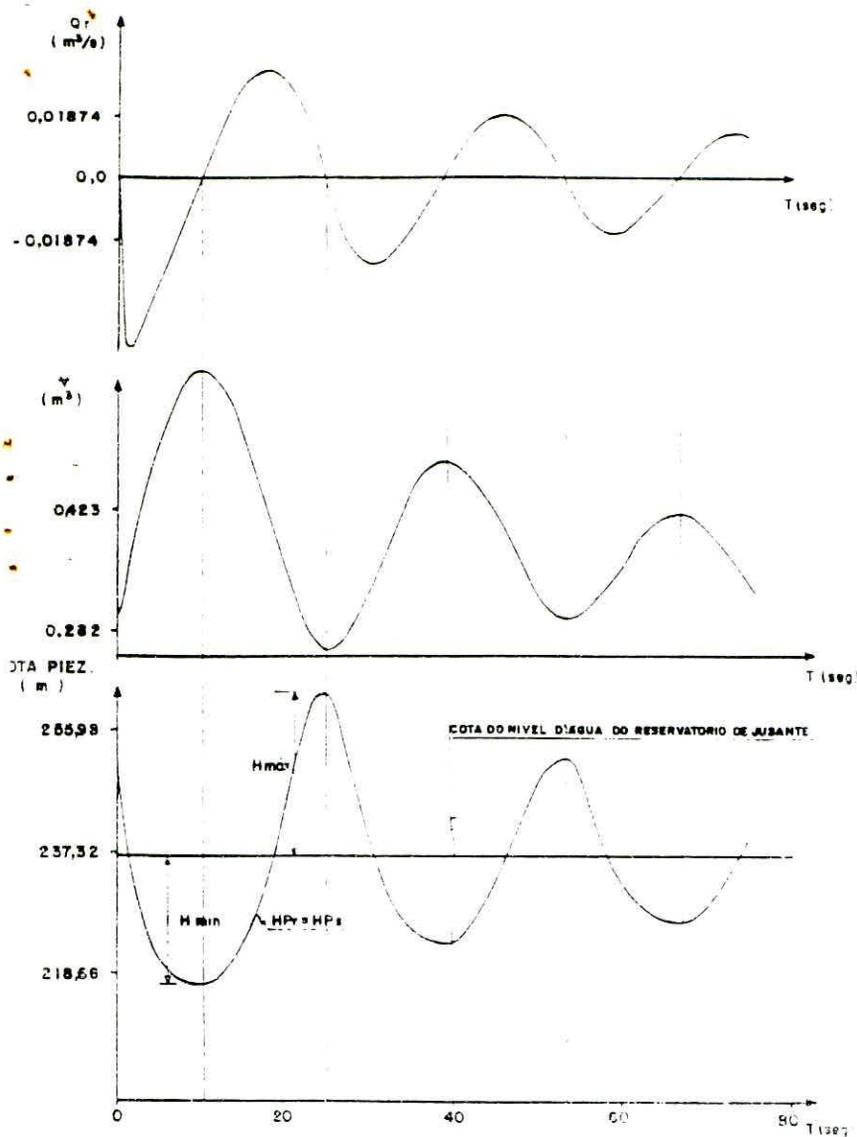


Fig. 6.3 Evolução dos parâmetros do RHP, não considerando perda de carga localizada na conduta de ligação

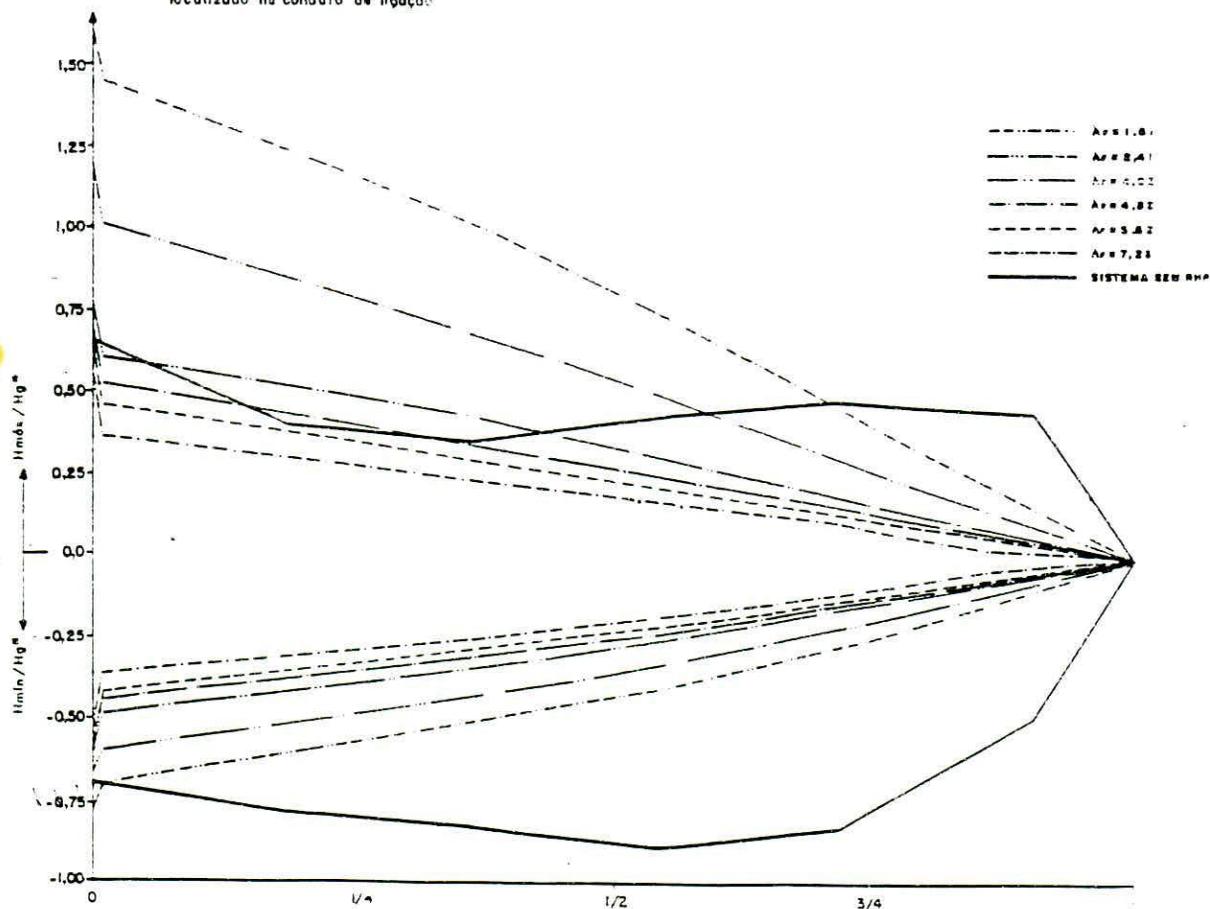
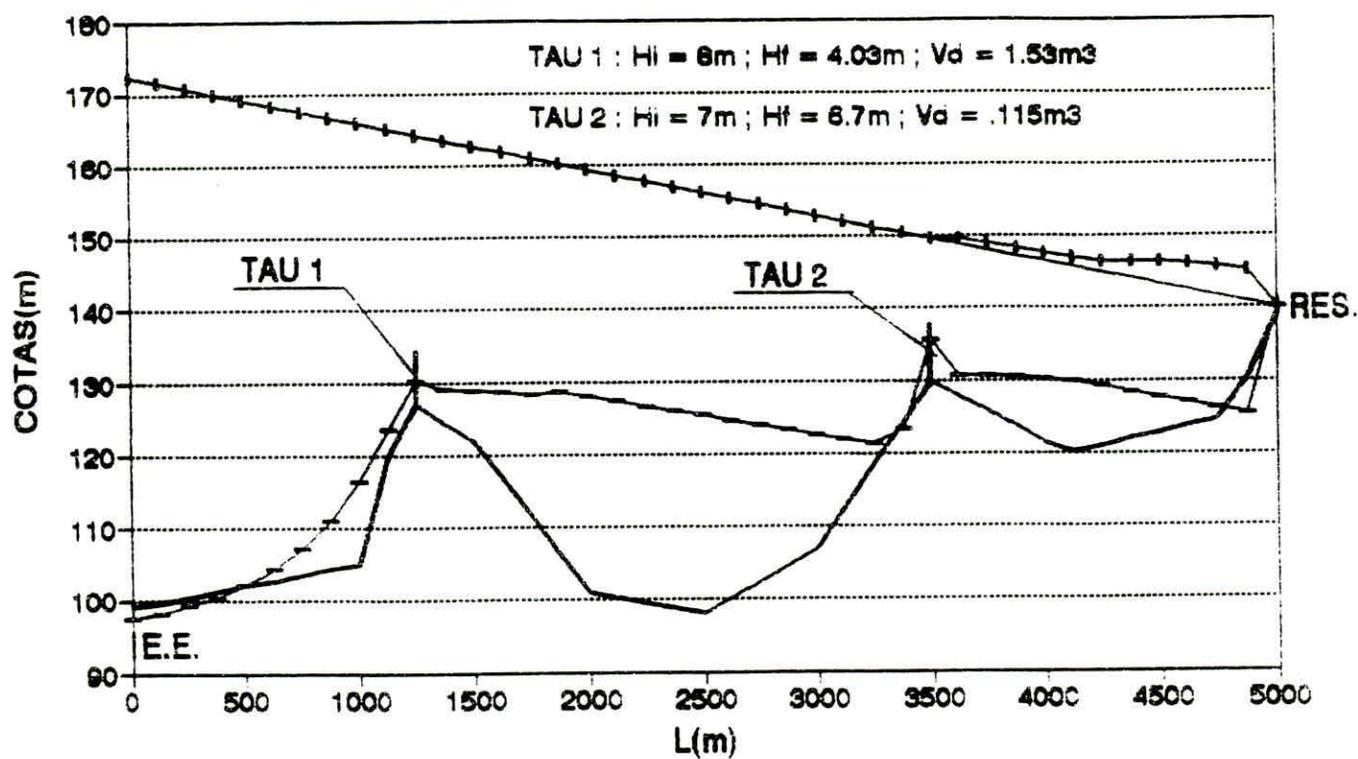


Fig. 6.7 Envoltória das pressões extremas. Estudo da variação de  $V_0$ . Sistema E. Modelo BVRHP.  $K_{or} = 0.00$ ;  $\Lambda_g = 0.243$ ;  $K_1 = 0.01$ ;  $K_2 = 0.219$

## **TANQUE DE ALIMENTAÇÃO ( AÇÃO ) UNIDIRECIONAL**

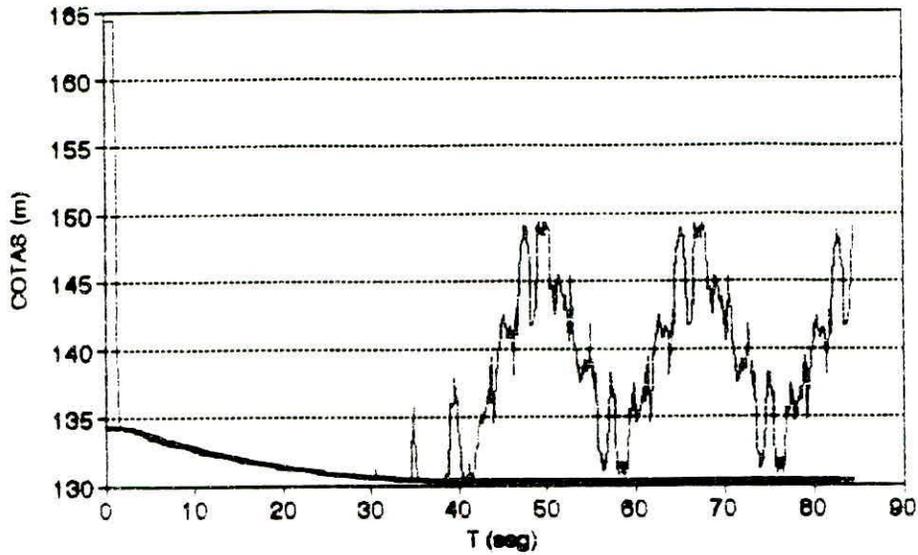
- 1- Reservatório com superfície livre do fluido em contato com a atmosfera munido de sistema de válvulas que permite a alimentação da tubulação pelo reservatório mas impede ( ou dificulta muito ) o escoamento no sentido contrário.
- 2- N.A.max no tanque controlado por válvua.
- 3- O funcionamento (alimentação) ocorre quando a cota piez. na seção de ligação for inferior ao N.A. no TAU.
- 4- Duas fases no fenômeno : antes e depois da intervenção do TAU.
- 5- Aumenta o tempo de anulação da vazão e atenua as depressões, atenuando assim também as pressões máximas.
- 6- "Segura", "Agarra" a cota piez. nas fases de depressão.
- 7- Sua proteção poderá ter efeito muito localizado (indispensável a realização de simulações numéricas).
- 8- N.A.max. sempre abaixo do plano estático (N.A.min. reservatório de jusante). Operação de enchimento.
- 9- Comportamento mais eficiente quanto mais próximo o N.A.max. estiver da linha piez. em reg. permanente( instalação em pontos altos). Pode ser instalado junto às bombas (menor eficiência).
- 10- Binômio de Dimensionamento : Volume x Altura. Atenuação das pressões mínimas.
- 11- Muito insegura a utilização de ábacos ou fórmulas aproximadas.
- 12- Verificação das sobrepressões com o fechamento das válvulas de retenção (simulações computacionais).
- 13- É usual prever duas tubulações de alimentação munidas de v.r.

SIST. DE RECALQUE : DOIS TAUS  
ENVOLTORIA DAS COTAS PIEZ.



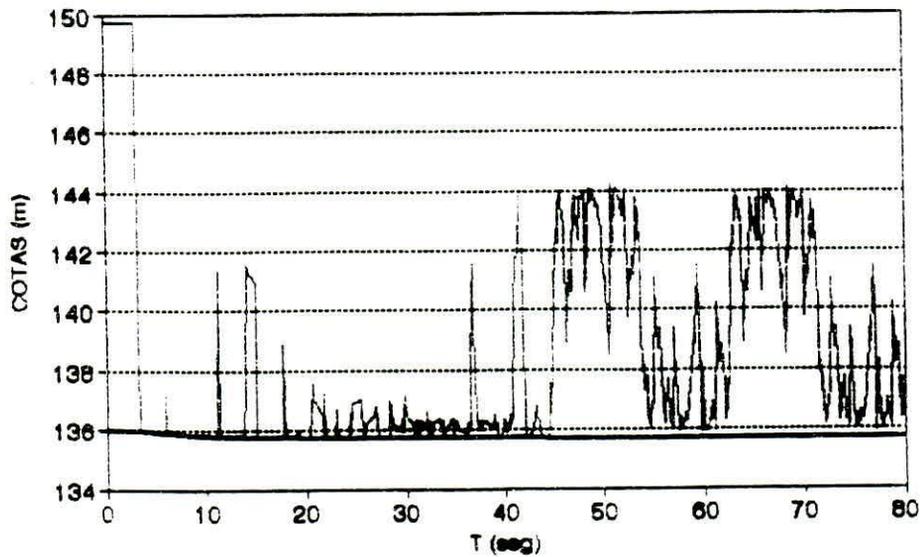
— CTER — HMIN + HMAX — HPER

SIST. DE RECALQUE : DOIS TAUS  
N.A. NO TAU 1 X C. PIEZ. NA ADUTORA



— N.A. TAU      ..... C. PIEZ. ADUT.

SIST. DE RECALQUE : DOIS TAUS  
N.A. NO TAU 2 X C. PIEZ. NA ADUTORA



— N.A. TAU      ..... C. P. ADUT.

## **FATORES A CONSIDERAR NA SELEÇÃO DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO**

- 1- RAZÃO DA NECESSIDADE DA PROTEÇÃO;
- 2- PRINCÍPIO DE ATUAÇÃO DO DISPOSITIVO;
- 3- PERFIL TOPOGRÁFICO DA TUBULAÇÃO;
- 4- CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DO SISTEMA;
- 5- CARACTERÍSTICAS DA PERTURBAÇÃO QUE ORIGINOU O REGIME VARIÁVEL;
- 6- CLASSE DE PRESSÃO DAS TUBULAÇÕES;
- 7- MATERIAL DAS TUBULAÇÕES ( fadiga );
- 8- RESISTÊNCIA DAS TUBULAÇÕES AO COLAPSO;
- 9- ASSENTAMENTO DAS TUBULAÇÕES;
- 10- CONTAMINAÇÃO DO FLUIDO TRANSPORTADO;
- 11- EFEITOS DESFAVORÁVEIS SOBRE DESEMPENHO DE ALGUMAS UNIDADES DO SIST. EM REG. TRANSITÓRIO (ex.: fechamento v.r.)
- 12- CONFIABILIDADE DO DISPOSITIVO;
- 13- OPERAÇÃO / MANUTENÇÃO DO DISPOSITIVO;
- 14- CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO / MANUTENÇÃO / OPERAÇÃO DO DISPOSITIVO.

# PRINCIPAIS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

## VANTAGENS / DESVANTAGENS

### 1- VOLANTE DE INÉRCIA :

#### VANTAGENS:

- a) Manutenção / Operação pequenas;
- b) Baixo custo ;
- c) Fechamento Suave da V. R. ;
- d) Não tem contato com o fluido;

#### DESVANTAGENS :

- a) Possíveis dificuldades no arranque dos grupos;
- b) Dificuldades de utilização em alguns tipos de bombas;
- c) Adequado para adutoras com pequena extensão (  $L < 2000m$ );
- d) Dificuldades de proteger seções afastadas da E.E. ;
- e) Operação apenas estiver aberta a v.r. .

Indicado para adutoras com perfis côncavos ou sempre ascendentes e elevadas velocidades de rotação dos grupos.

### 2- RESERVATÓRIO HIDROPNEUMÁTICO ( RHP ) :

#### VANTAGENS :

- a) Elevada eficácia na proteção;
- b) Operação continua ao longo de todo o fenômeno;

#### DESVANTAGENS :

- a) Exige manutenção / operação atuentes;
- b) Efeito desfavorável no fechamento da v.r.;
- c) Custo inicial geralmente elevado;
- d) Geralmente exige utilização de compressores;
- e) Custo operacional elevado.

Indicado para adutoras com perfis côncavos ou ascendentes.

### **3- CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO :**

#### **VANTAGENS :**

- a) Elevada eficácia na proteção do trecho chaminé - reservatório;
- b) Manutenção / Operação praticamente inexistentes;
- c) Operação contínua ao longo de todo o fenômeno;
- d) Praticamente nenhuma possibilidade de falha operacional;

#### **DESVANTAGENS :**

- a) Exige condição topográfica favorável ou terá grandes alturas;
- b) Eventual elevado custo;
- c) Desvantagens estéticas;
- d) Pode ocasionar efeito desfavorável no fechamento da v.r..

Indicado para adutoras com perfis convexos.

### **4- TANQUE DE AÇÃO UNIDIRECIONAL ( TAU ):**

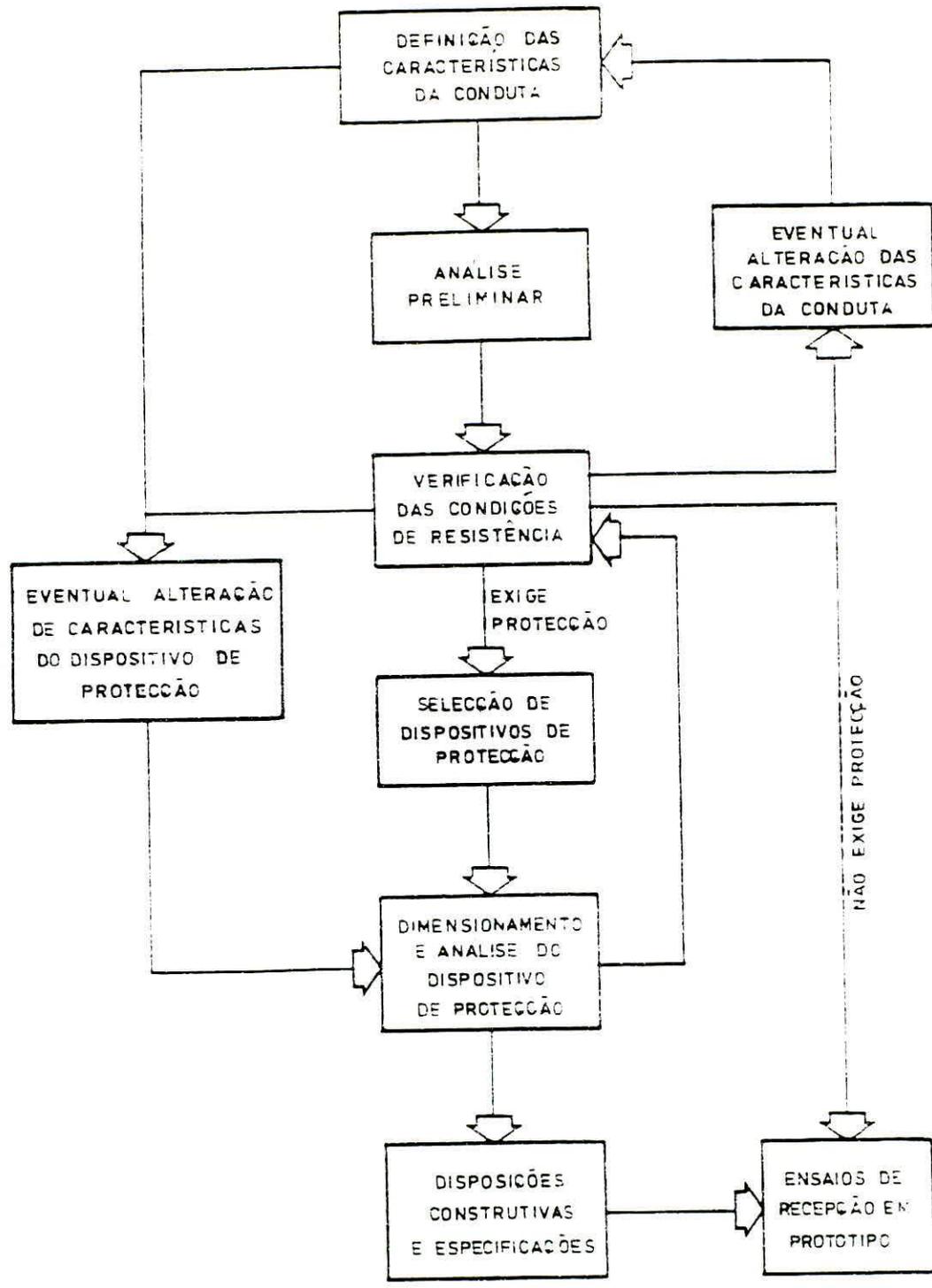
#### **VANTAGENS :**

- a) Eficaz em perfis favoráveis;
- b) Possibilita menores alturas que a chaminé ;

#### **DESVANTAGENS :**

- a) Só passa a funcionar quando C.P. menor que N.A.;
- b) Atraso no início da atuação;
- c) Válvulas de controle de operação ( exige manutenção);

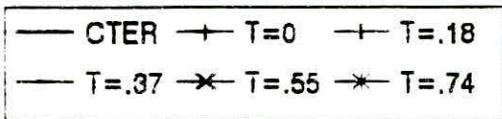
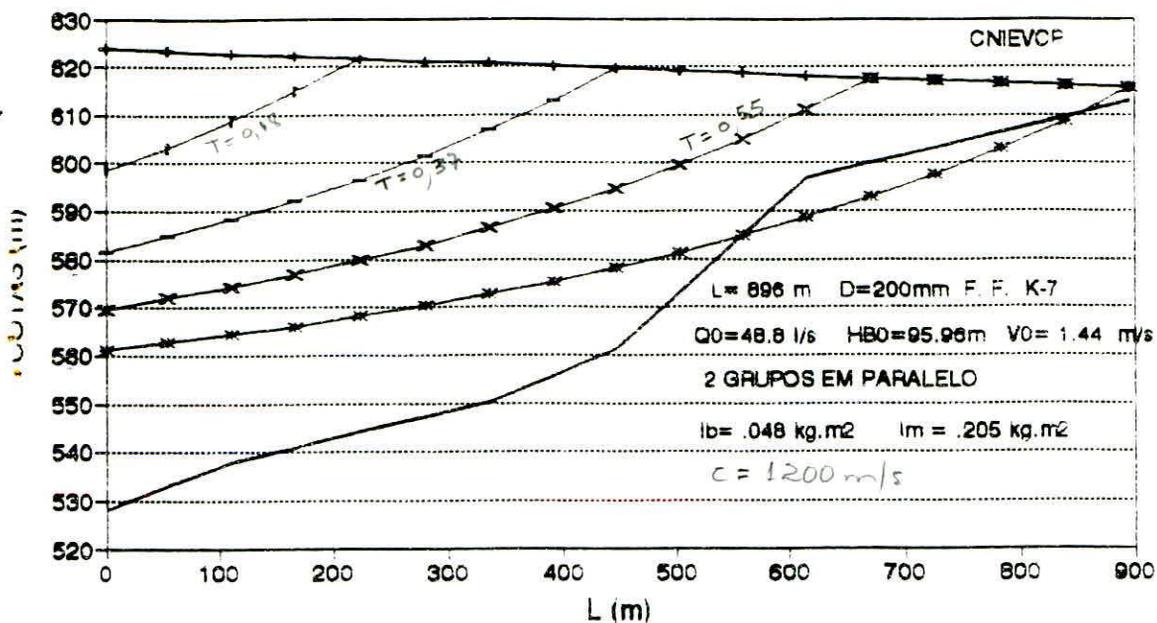
Indicado para adutoras com perfis convexos ou com pontos altos.



METODOLOGIA DE ANÁLISE DO GOLPE DE ARIETE | FIG. 24

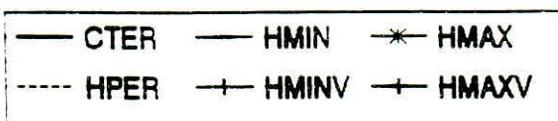
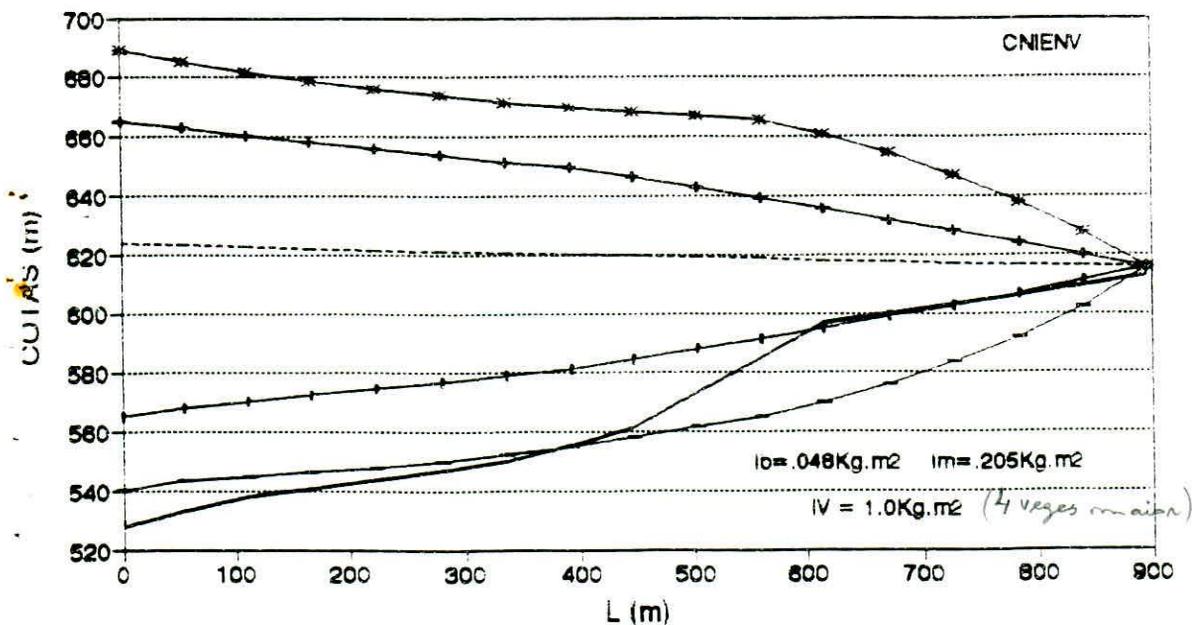
EXEMPLO PRÁTICO # 1  
EVOLUÇÃO DA C.P. APOS DESLIG. BOMBA

SIST. NOVA  
ITABANA



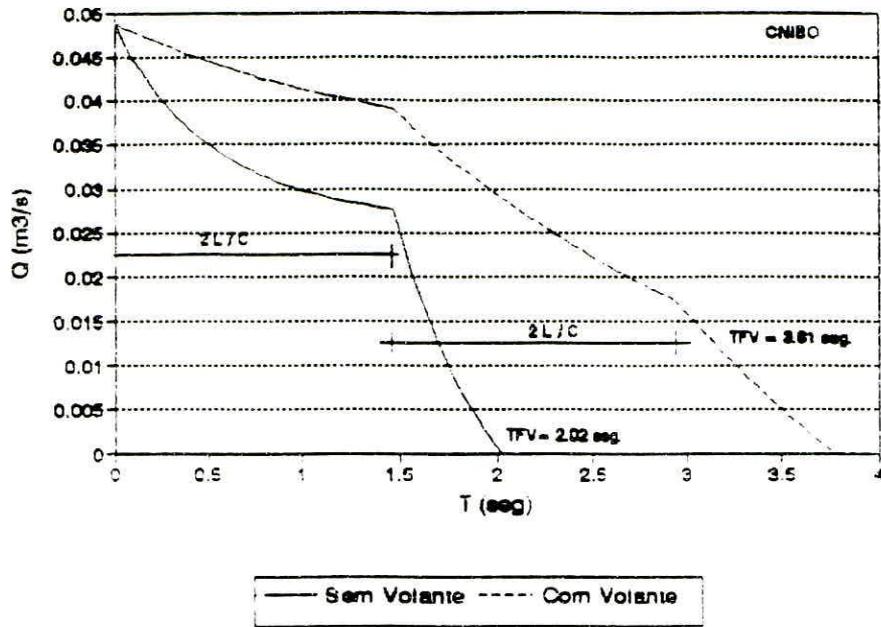
EXEMPLO PRÁTICO # 1  
ENVOLTORIA DAS COTAS PIEZOMETRICAS

S/ NENHUM DISPOSITIVO

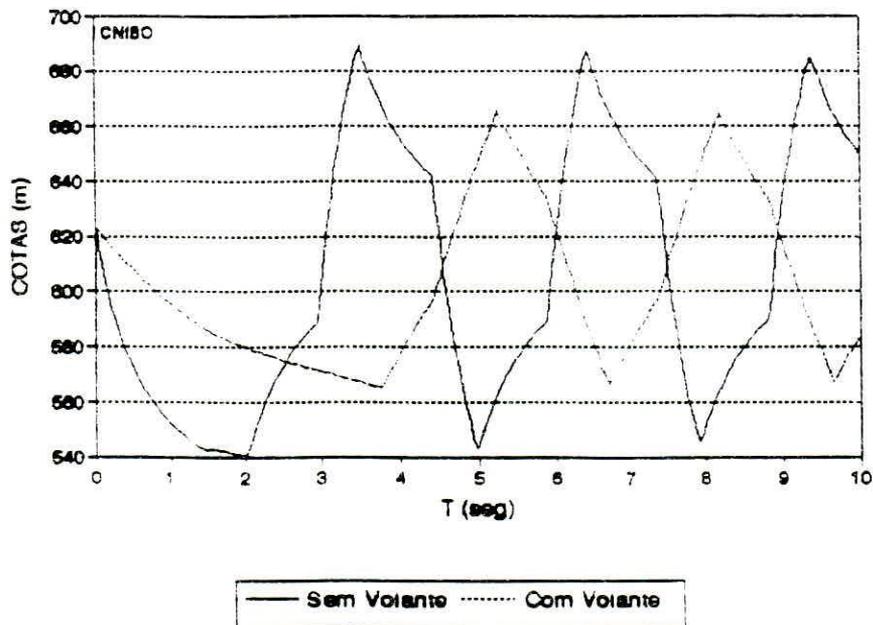


Para componentes paralelos  
utilizar a inércia total  
acrescido 4x o cálculo de  $\lambda$ .

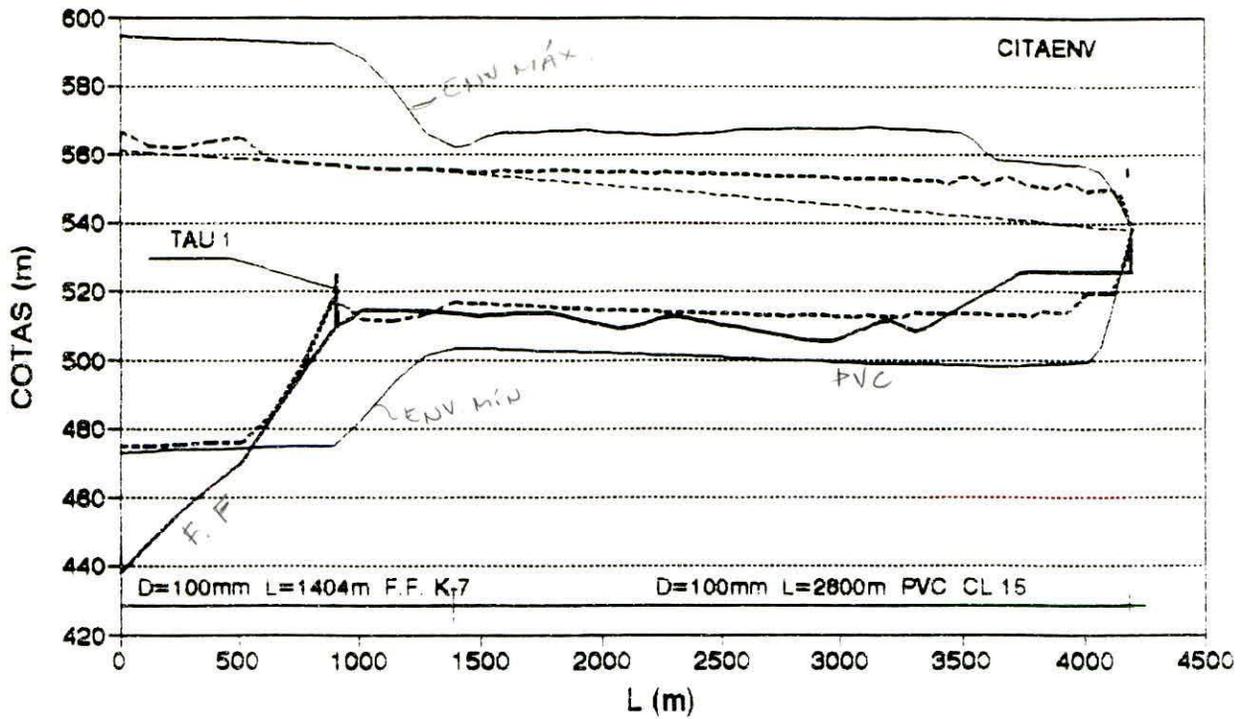
EXEMPLO PRÁTICO # 1  
EVOL. VAZÃO A JUS. VALVULA RETENÇÃO



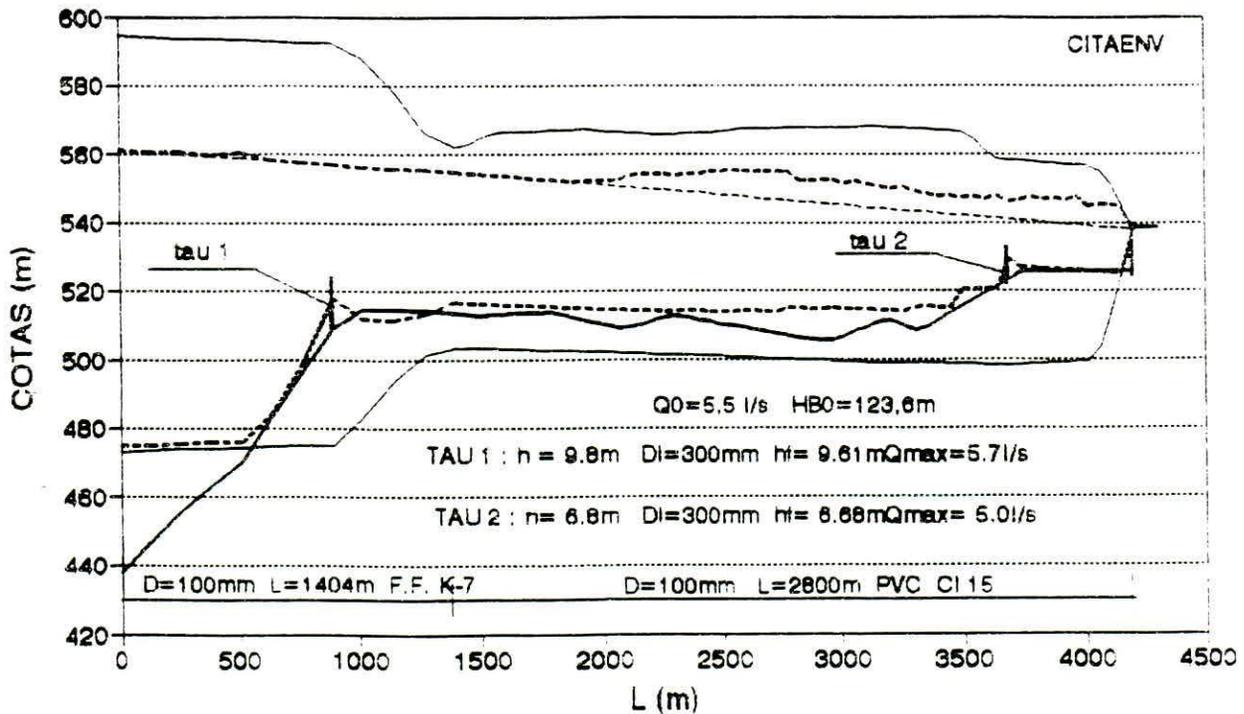
EXEMPLO PRÁTICO # 1  
EVOL. C.P. A JUS. VALVULA RETENÇÃO



### EXEMPLO PRATICO # 2 ENVOLTORIAS DAS COTAS PIEZOMETRICAS

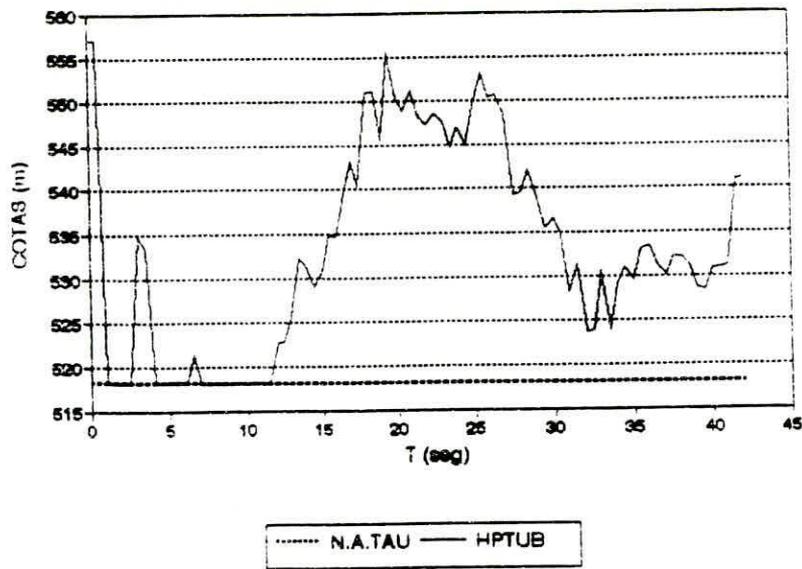


### EXEMPLO PRATICO # 2 ENVOLTORIAS DAS COTAS PIEZOMETRICAS

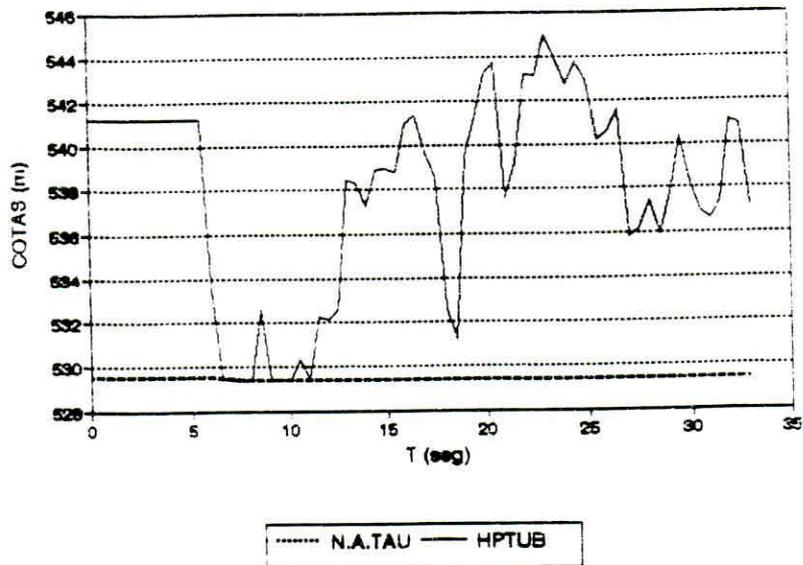


- CTER    — HMIN    — HMAX
- - - HPER    - - - HMINP    - - - HMAXP

EXEMPLO PRATICO # 2  
EVOLUCAO N.A. NO TAU 1

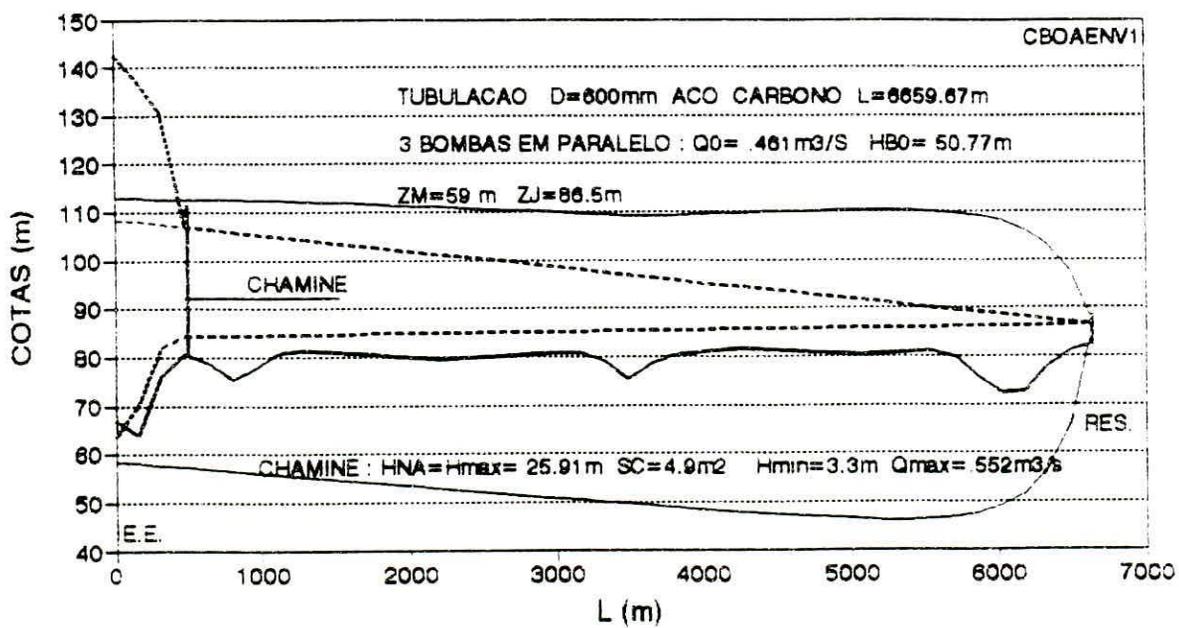


EXEMPLO PRATICO # 2  
EVOLUCAO DO N.A. NO TAU 2



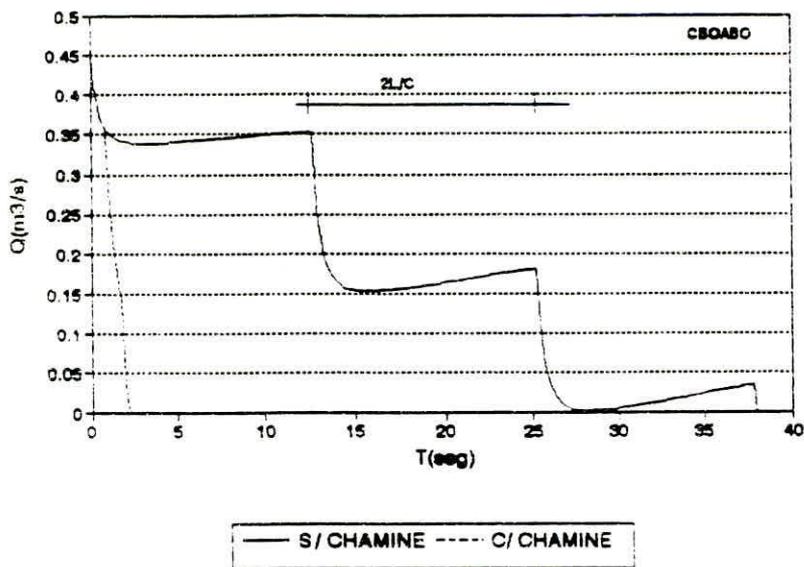
ESGOTAMENTO SANITÁRIO

EXEMPLO PRÁTICO # 3  
ENVOLTÓRIAS DAS COTAS PIEZOMÉTRICAS

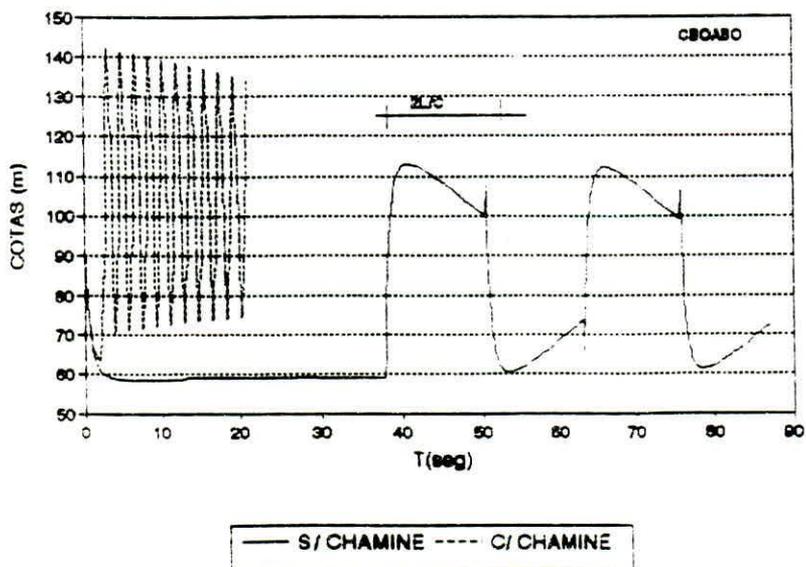


— CTER	— HMIN	— HMAX
- - - HPER	- - - HMINC	- - - HMAXC

EXEMPLO PRÁTICO # 3  
EVOL. VAZÃO A JUS. VALVULA DE RETENÇÃO

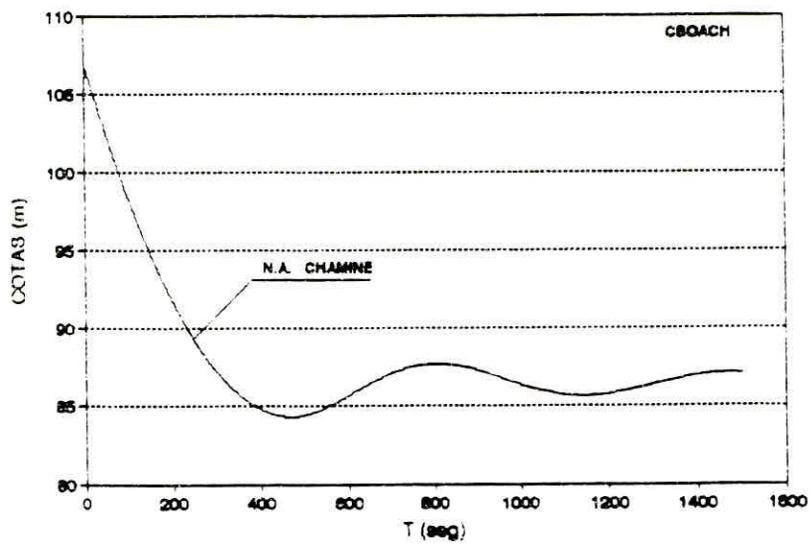


EXEMPLO PRÁTICO # 3  
EVOL. C.P. A JUS. VALVULA DE RETENÇÃO

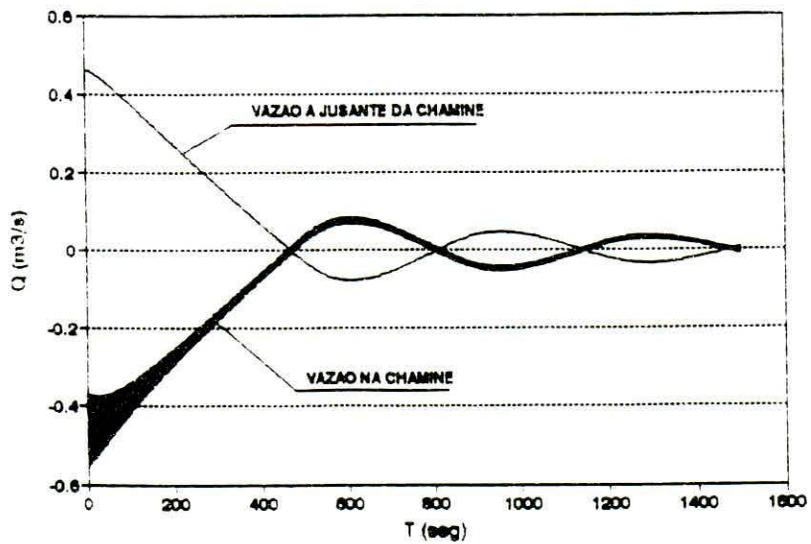


$\frac{2L}{C}$  comparado com  $T$  memórias

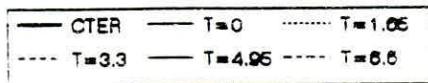
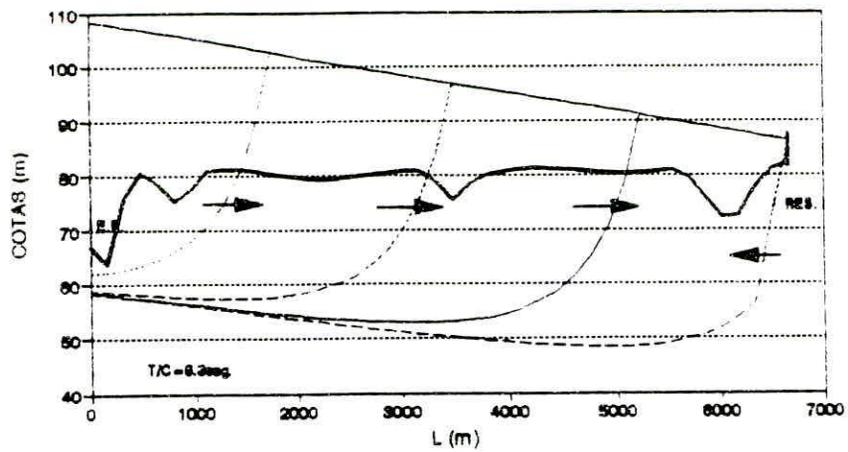
EXEMPLO PRÁTICO # 3  
EVOLUÇÃO DO N.A. CHAMINE



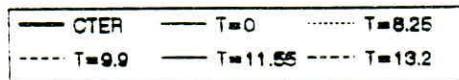
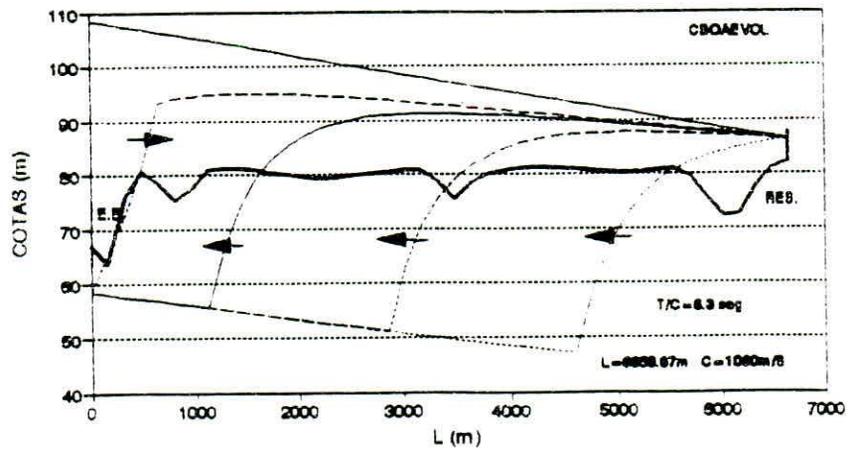
EXEMPLO PRÁTICO # 3  
EVOL. VAZÕES NA CHAMINE



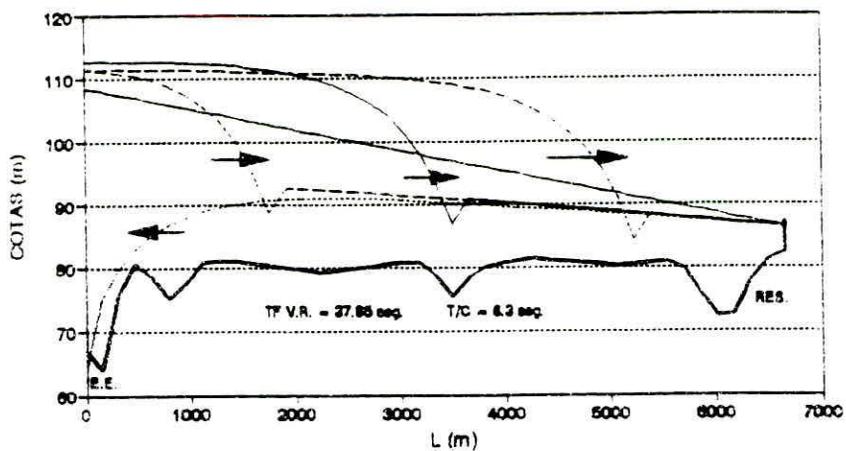
**EXEMPLO PRÁTICO # 3**  
**EVOLUÇÃO DA C.P. NA ADUTORA**



**EXEMPLO PRÁTICO # 3**  
**EVOLUÇÃO DA C.P. NA ADUTORA**



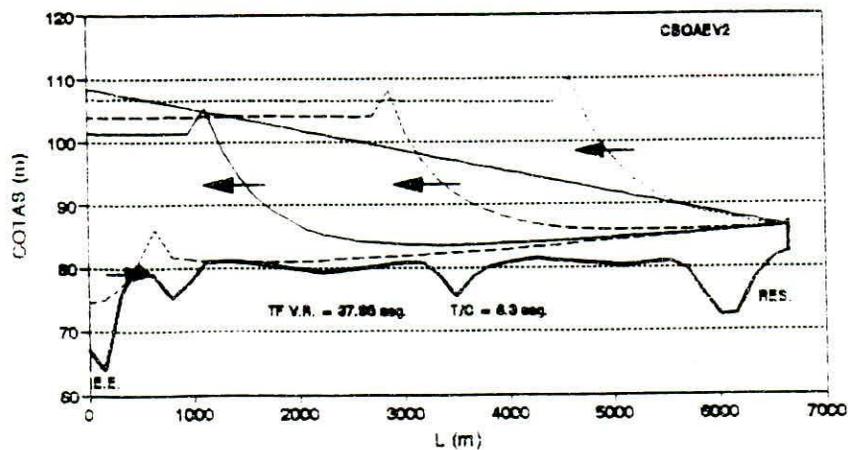
**EXEMPLO PRATICO # 3**  
**EVOLUCAO C.P. AO LONGO DA ADUTORA**



FECHAMENTO V.R.

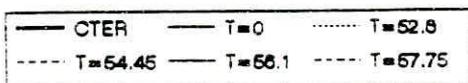
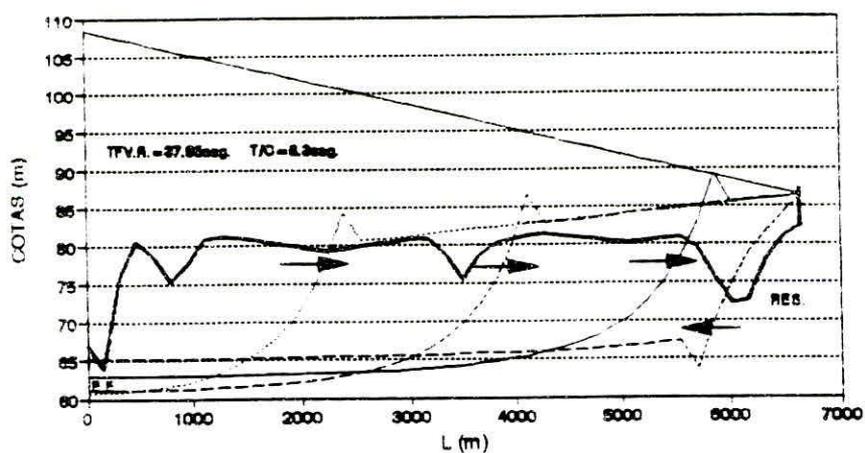
— CTER	— T=C	..... T=37.95
- - - T=39.6	— T=41.25	- - - T=42.9

**EXEMPLO PRATICO # 3**  
**EVOLUCAO C.P. AO LONGO DA ADUTORA**

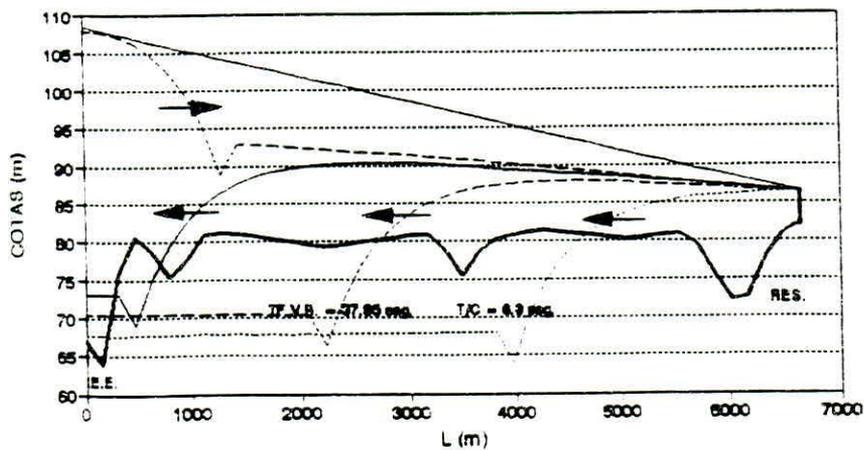


— CTER	— T=C	..... T=45.2
- - - T=47.65	— T=49.5	- - - T=51.15

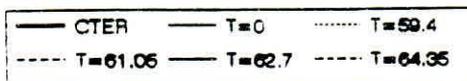
EXEMPLO PRÁTICO # 3  
EVOLUÇÃO C.P. AO LONGO DA ADUTORA



EXEMPLO PRÁTICO # 3  
EVOLUÇÃO C.P. AO LONGO DA ADUTORA

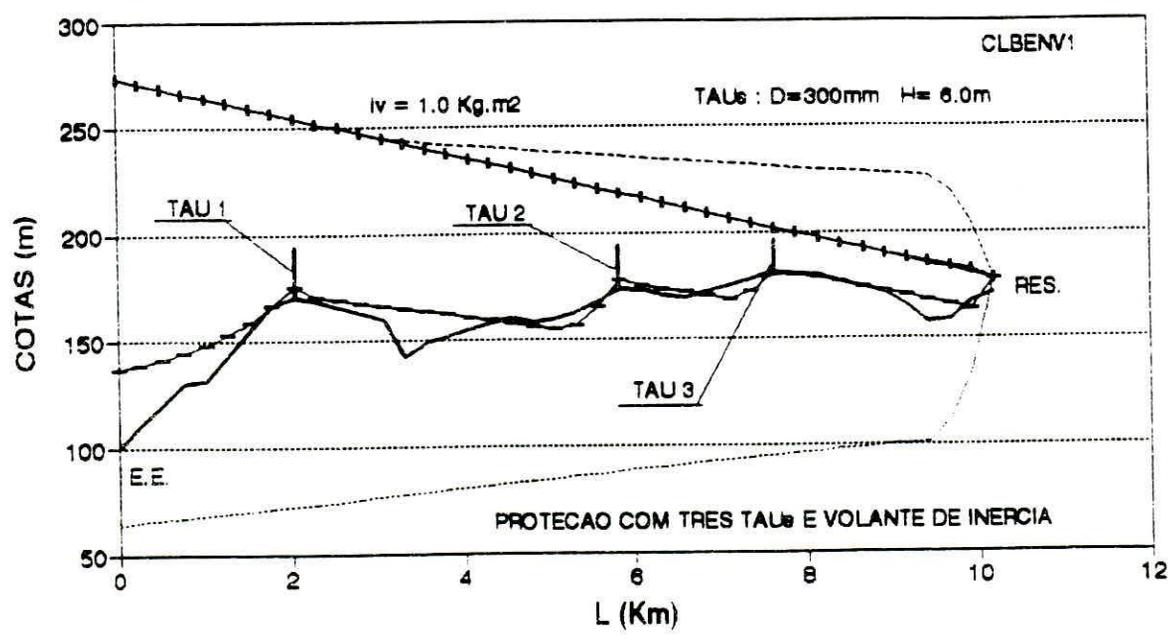


FECHAMENTO V.R.



LAGOA BONITA / UTINGA

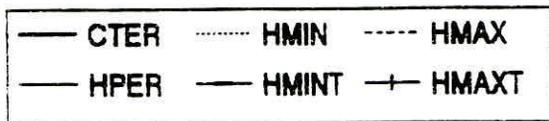
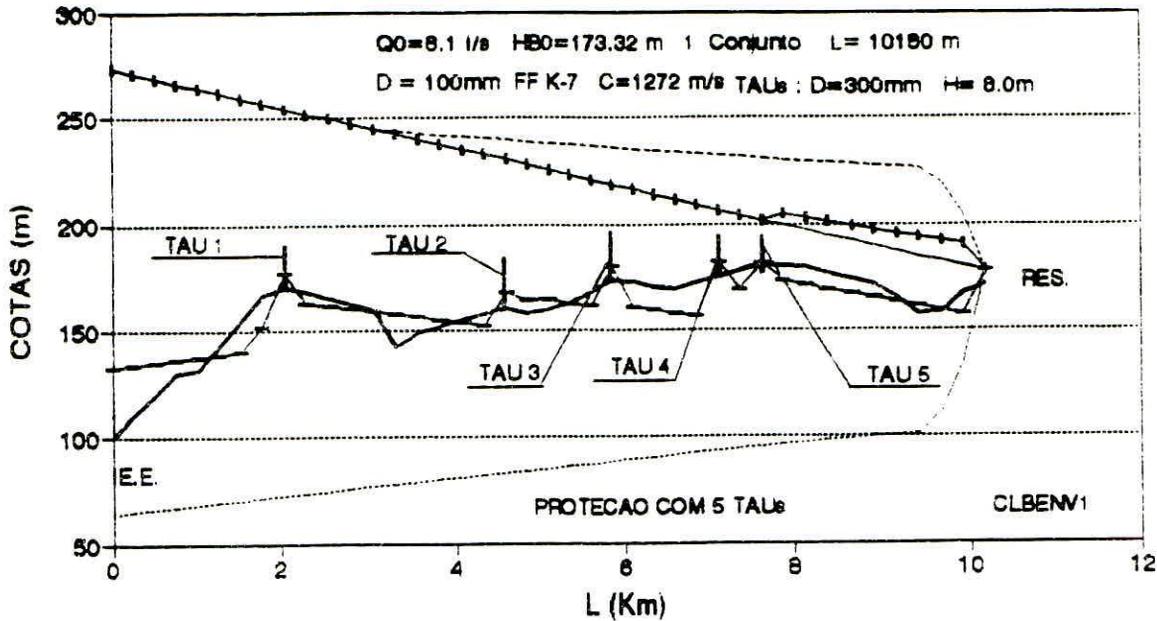
EXEMPLO PRATICO # 4  
ENVOLTORIAS DAS COTAS PIEZOMETRICAS



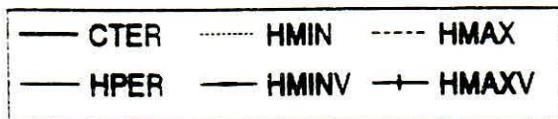
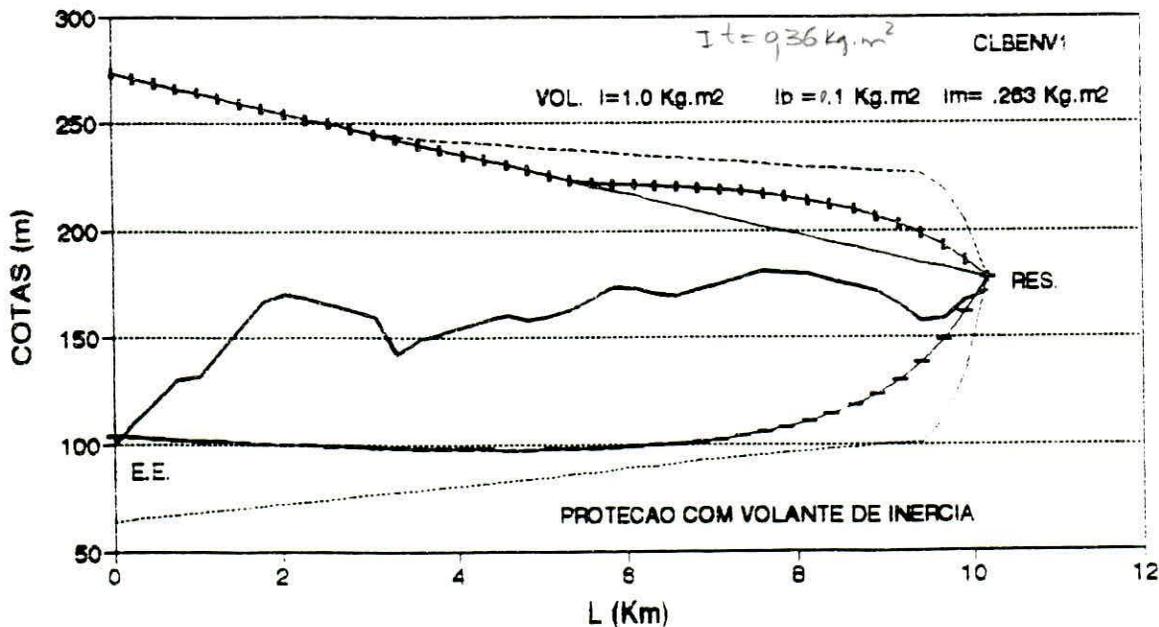
— CTER	..... HMIN	----- HMAX
— HPER	— HMINVT	+ HMAXVT

SITUAÇÃO FINAL

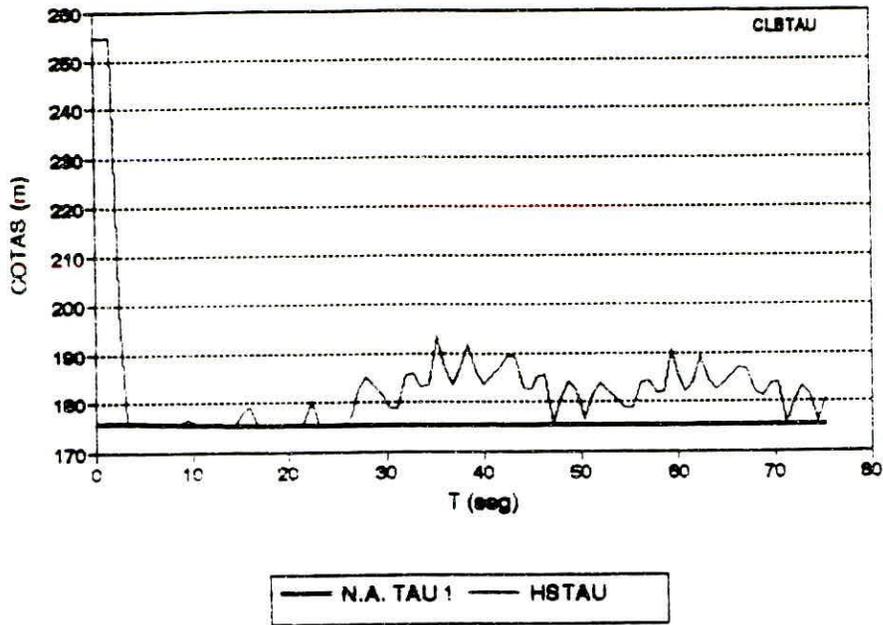
**EXEMPLO PRATICO # 4**  
**ENVOLTORIAS DAS COTAS PIEZOMETRICAS**



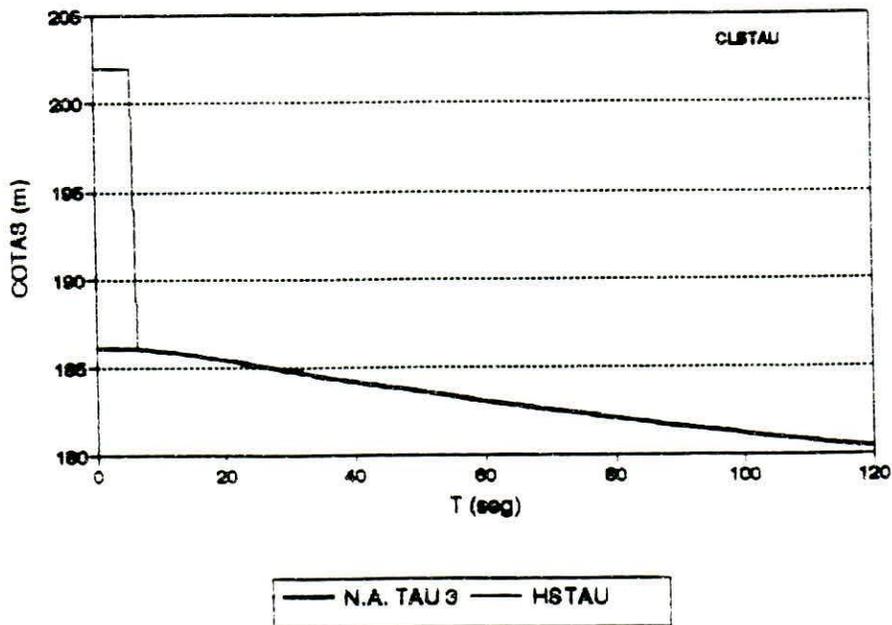
**EXEMPLO PRATICO # 4**  
**ENVOLTORIAS DAS COTAS PIEZOMETRICAS**



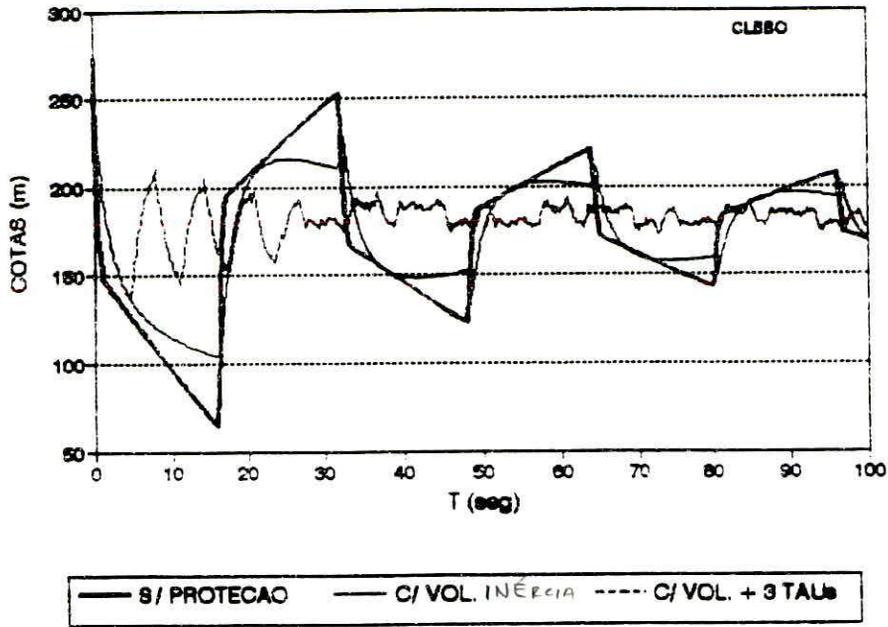
EXEMPLO PRATICO # 4  
EVOLUCAO C.P. E N.A. NO TAU 1



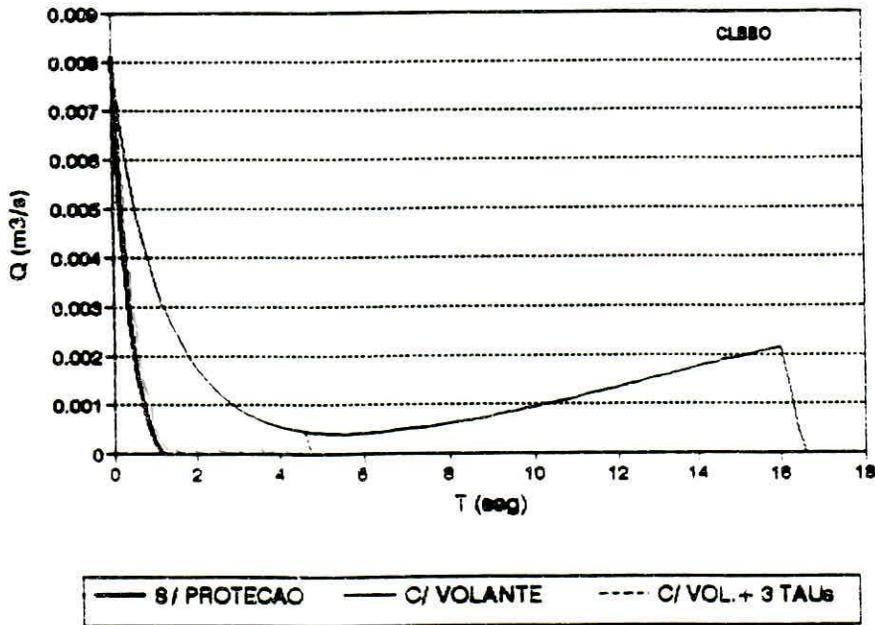
EXEMPLO PRATICO # 4  
EVOLUCAO C.P. E N.A. NO TAU 3



EXEMPLO PRÁTICO # 4  
EVOLUÇÃO DA C.P. A JUS. VAL. RETENÇÃO

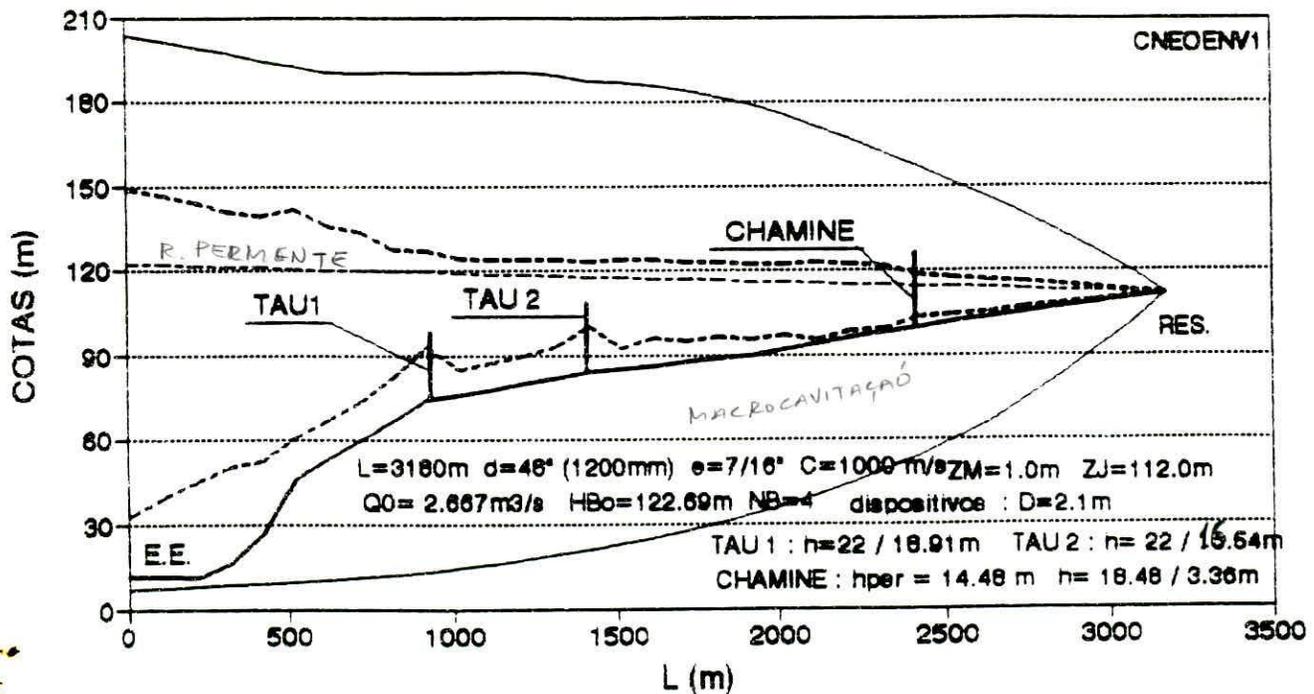


EXEMPLO PRÁTICO # 4  
EVOLUÇÃO DA VAZÃO A JUS. VAL. RETENÇÃO



PROJETO PLATÔ DE NEOPOLIS

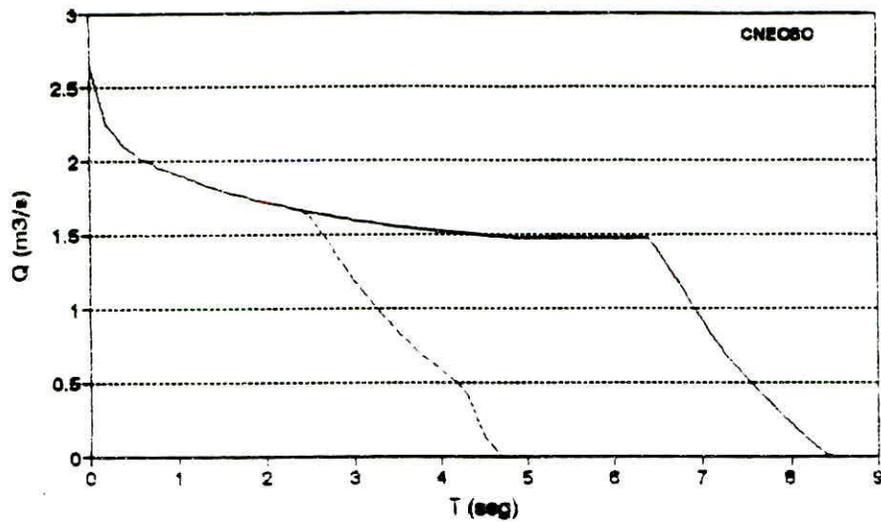
EXEMPLO PRÁTICO #5  
ENVOLTÓRIAS DAS COTAS PIEZOMÉTRICAS



— CTER	— HMIN	— HMAX
- - - HPER	- - - HMINP1	- - - HMAXP1

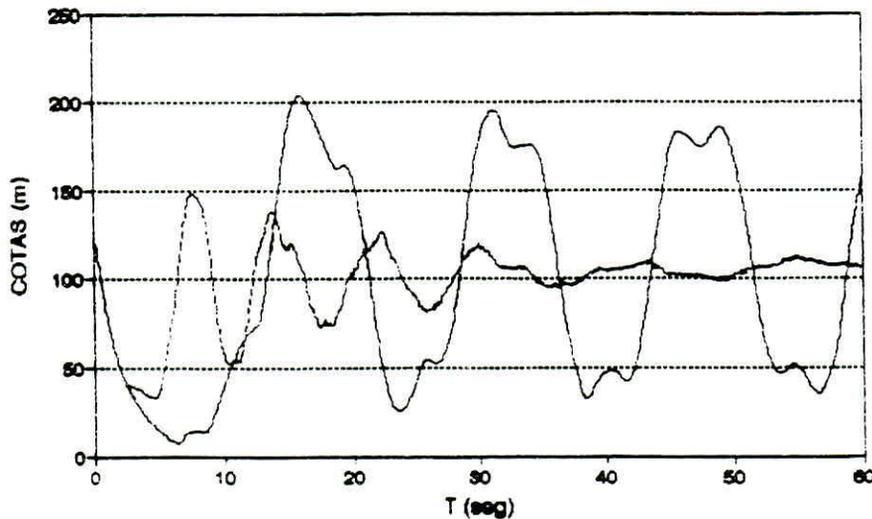
Área interna <sup>do TAU</sup> deve ser 30 vezes superior  
ao diâmetro de tubulação

EXEMPLO PRATICO # 5  
EVOLUCAO DA VAZAO A JUS. VAL. RETENCAO



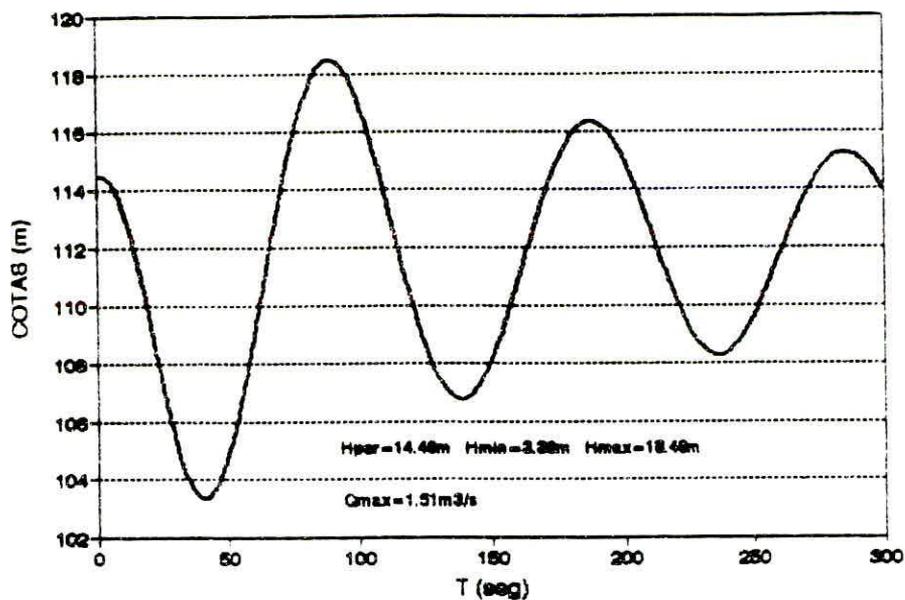
— S/ PROTECAO    - - - C/ PROTECAO

EXEMPLO PRATICO # 5  
EVOLUCAO DA C.P. A JUS. VAL. RETENCAO

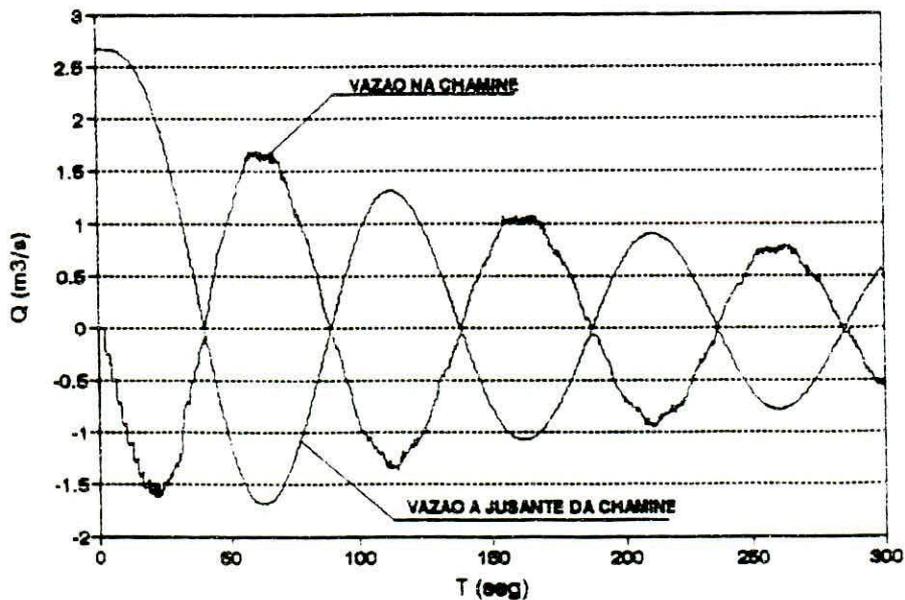


— S/ PROTECAO    - - - C/ PROTECAO

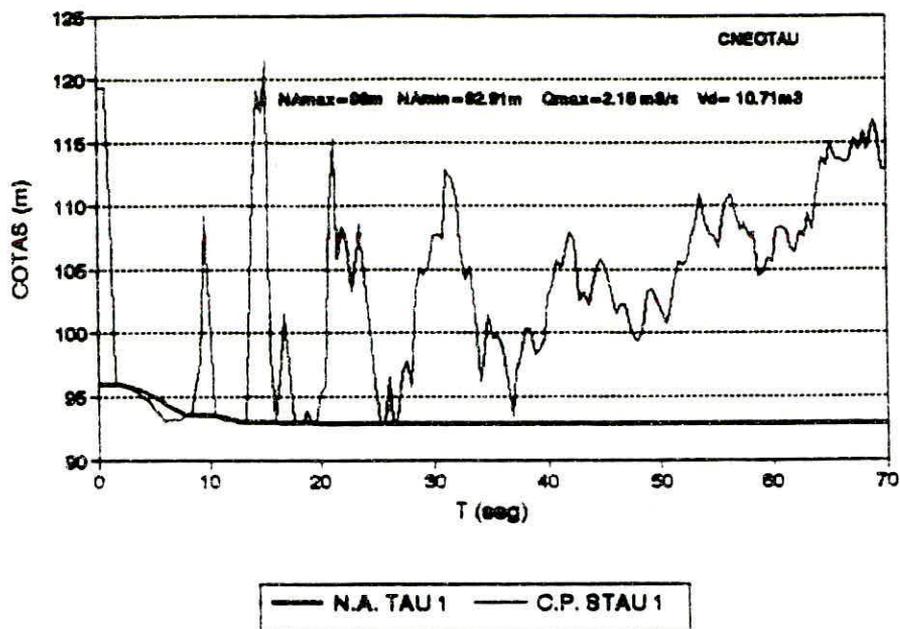
EXEMPLO PRATICO #5  
EVOLUCAO DO N.A. NA CHAMINE



EXEMPLO PRATICO #5  
EVOL. VAZoes NA CHAMINE E A JUSANTE



EXEMPLO PRATICO #5  
EVOL. N.A. E C.P. NO TAU 1



EXEMPLO PRATICO #5  
EVOL. N.A. E C.P. NO TAU 2

