

Capítulo 1 – ANÁLISE DOS TRANSIENTES HIDRÁULICOS

- Apresentação

O objetivo do estudo é avaliar a ocorrência de transientes hidráulicos no recalque de Morro Calçado.

- Descrição do Sistema

O projeto prevê a implantação do recalque com as seguintes características:

- . Potência /GMB = 23,4 c.v.
- . Núm. Rotações = rpm
- . Altura Manométrica = 116 mca
- . Vazão Nominal = 2,94 l/s

A adutora será em PEAD, diâmetro DN 75 e comprimento total de 583,84 m.

- Metodologia

Quando alteram-se as condições de escoamento em um recalque, o que pode ocorrer pela manobra de uma válvula ou pela entrada ou saída de operação de um ou mais GMBs por exemplo, tem-se a passagem de um estado para outro de escoamento permanente. No intervalo de tempo que separa estes dois estados de escoamento permanente ocorre um escoamento em regime variável, ou transiente hidráulico, o qual, por tratar-se de uma perturbação de natureza oscilatória, se estiver em concordância de fase com a frequência natural da tubulação, pode levar o sistema à ressonância, ampliando a grandeza dos esforços transientes e podendo causar sérios danos à estrutura.

O modelo teórico utilizado para representar este fenômeno físico considera em sua formulação matemática a compressibilidade da água e a elasticidade da tubulação e está fundamentado no princípio da conservação da quantidade de movimento e da conservação de massa, os quais, aplicados a um volume de controle, levam à obtenção das equações diferenciais do movimento transitório ou equações de movimento, que são as seguintes:

$$g \frac{\partial \cdot H}{\partial \cdot X} + V \frac{\partial \cdot V}{\partial \cdot x} + \frac{\partial \cdot V}{\partial \cdot t} + f \frac{V|V|}{2D} = 0$$

$$V \frac{\partial \cdot H}{\partial \cdot x} + \frac{\partial \cdot H}{\partial \cdot t} - V \cdot \sin \alpha + \frac{a^2}{g} \frac{\partial \cdot V}{\partial \cdot x} = 0$$

Tais equações não têm solução analítica (a menos que se adotem simplificações que tornam sua aplicação muito restrita, podendo-se resolvê-las inclusive por métodos gráficos) pois são quase lineares, de primeira ordem, não homogêneas e à derivadas parciais. A única forma de resolvê-las com todos os seus termos é por via numérica.

Dos métodos numéricos que podem ser utilizados para resolver as equações acima, os principais são os seguintes:

- Método dos elementos finitos;
- Método das características; e
- Método das diferenças finitas.

O método das características é empregado pela maioria dos autores por apresentar um nível de precisão tão grande quanto os outros métodos e maior simplicidade de aplicação (sendo ele próprio também um método de diferenças finitas).

Logo, para a análise dos transientes hidráulicos, no sistema de recalque, foi utilizado o método das características.

- Descrição da Simulação Realizada

Considerou-se para a simulação dos transientes hidráulicos a adutora em PEAD com DN 75 e comprimento de 583,84 m dividida em 10 trechos iguais com 11 nós, estando no nó inicial (P1) a elevatória e no nó final (P11) o reservatório elevado.

Foi adotada como situação de cálculo, a interrupção brusca da operação da elevatória devido à falta de energia elétrica, o que leva à ocorrência de transiente hidráulico. Das situações desencadeadoras de fenômenos transitórios (como por exemplo a entrada e saída de operação de um recalque), a interrupção da operação por falta de energia elétrica é a mais crítica, pois, nestas circunstâncias a redução de vazão no recalque é instantânea levando à ocorrência de depressão e sobrepressão transitórias danosas ao sistema.

Toda manobra executada em um recalque (manobra de registros, válvulas, liga/desliga de bombas, etc) leva à mudança de estado de escoamento permanente, logo, conforme foi citado acima, causa um escoamento transitório num determinado intervalo de tempo.

Para o dimensionamento de sistemas de proteção quanto aos efeitos destes escoamentos transitórios interessa a situação crítica, ou seja, aquela que leva à ocorrência dos maiores esforços ao sistema e que escapa totalmente das ações preventivas que visam a minimização destes esforços (cuidados em não executar manobras com tempo inferior ao período da tubulação, liga/desliga das bombas com registro fechado, etc.). Desta forma, a situação considerada mais desfavorável ao sistema e, portanto, adotada como situação de projeto é a falta de energia elétrica na elevatória, causando a parada brusca dos motores das bombas.

Com o sistema de proteção dimensionado para a situação mais crítica, todas as demais situações causadoras de transiente não ocasionarão danos ao sistema.

- Resultados da Simulação

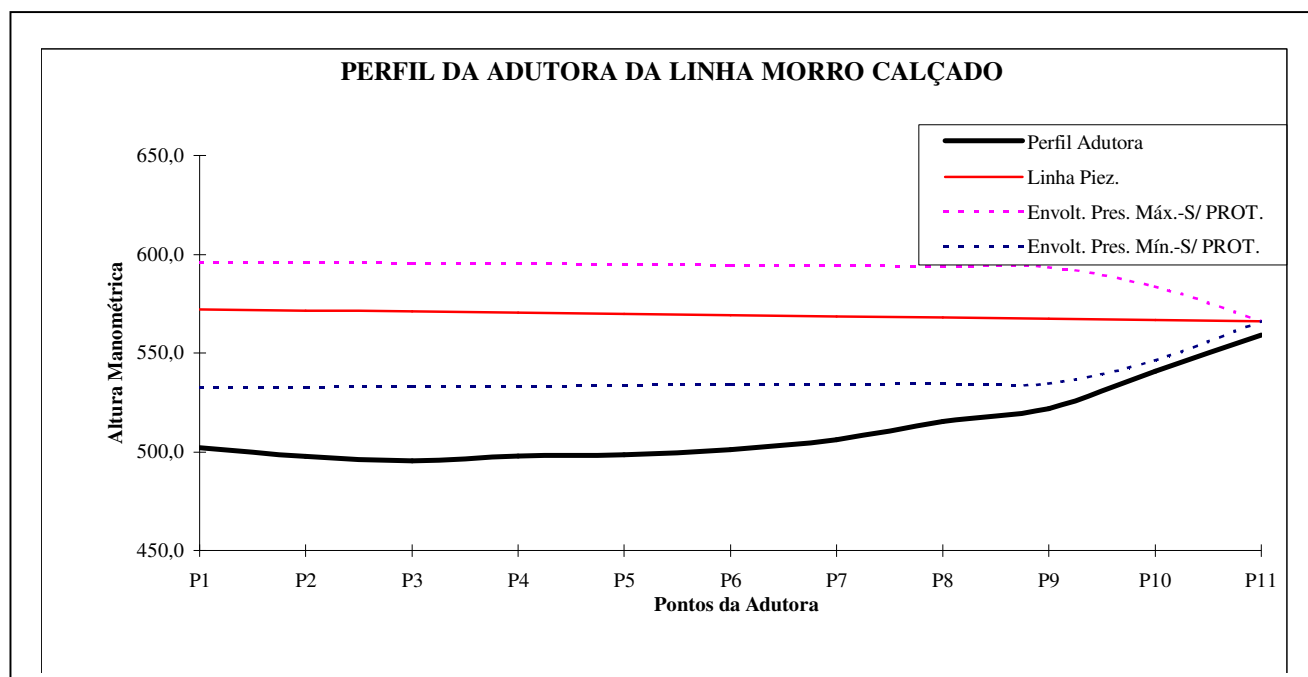
Na simulação em anexo encontram-se as envoltórias de pressões mínimas e máximas para o sistema sem proteção, com altura manométrica máxima e vazão mínima, onde verifica-se a ocorrência sobrepressão no recalque.

Verifica-se, ainda, que não haverá ocorrência de subpressão transiente.

Devido à ocorrência de sobrepressão na linha de recalque será necessário adotar dispositivo de proteção para este efeito. Tendo em vista tratar-se de recalque de pequeno porte e os valores de sobrepressão não serem muito elevados em relação à classe de pressão da tubulação, considerou-se suficiente a colocação de válvulas de retenção em dois pontos ao longo da linha de recalque (ver planta e perfil da linha de recalque) com o objetivo de reduzir o golpe junto à bomba, distribuindo-o ao longo da adutora.

Nos gráficos que representam o perfil da linha de recalque (em anexo), apresenta-se a evolução do transiente hidráulico para o sistema em estudo.

–GRÁFICO



– Planilhas de Verificação do Transiente

SIMULAÇÃO

CALCULO DO TRANSIENTE HIDRAULICO SEM PROTECAO

PRIMEIRA ETAPA – VAZÃO MÍNIMA / HG MÁXIMA

Dados:

QO=.003 FL= 583.84 D= .075 AMT= 116.2 HR= 110.22 WR2= .119954
F= 3.263864E-02 CV= 23.4 AA=-399998.3 BB=-13400.01 CC= 160

TEMPO	ALF	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

0.00	1.00	H=	572.2	571.6	571.0	570.4	569.8	569.2	568.6	568.0	567.4	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.89	H=	559.6	571.6	571.0	570.4	569.8	569.2	568.6	568.0	567.4	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.23	0.81	H=	549.3	559.2	571.0	570.4	569.8	569.2	568.6	568.0	567.4	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.35	0.74	H=	540.5	549.0	558.8	570.4	569.8	569.2	568.6	568.0	567.4	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.47	0.68	H=	537.0	540.2	548.6	558.4	569.8	569.2	568.6	568.0	567.4	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.58	0.63	H=	536.6	536.8	539.9	548.3	557.9	569.2	568.6	568.0	567.4	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.70	0.59	H=	536.5	536.3	536.5	539.6	548.0	557.5	568.6	568.0	567.4	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.82	0.55	H=	536.0	536.2	536.0	536.2	539.3	547.6	557.1	568.0	567.4	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.93	0.51	H=	535.9	535.7	535.9	535.7	535.9	539.0	547.3	556.6	567.4	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.05	0.49	H=	535.5	535.6	535.4	535.6	535.4	535.6	538.7	546.9	556.2	566.8	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.17	0.46	H=	535.3	535.2	535.3	535.2	535.3	535.2	535.3	538.4	546.6	555.8	566.2

		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.28	0.44	H=	534.8	535.0	534.9	535.0	534.9	535.0	534.9	535.0	538.1	546.3	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.40	0.41	H=	534.7	534.6	534.7	534.6	534.7	534.6	534.7	534.6	534.7	548.5	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00
1.52	0.40	H=	534.3	534.4	534.3	534.4	534.3	534.4	534.3	534.4	545.0	554.6	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00
1.63	0.38	H=	534.1	534.0	534.1	534.0	534.1	534.0	534.1	544.7	554.2	562.6	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
1.75	0.36	H=	533.7	533.8	533.7	533.8	533.7	533.8	544.4	553.9	562.1	565.7	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
1.87	0.35	H=	533.5	533.4	533.5	533.4	533.5	544.1	553.5	561.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
1.99	0.33	H=	533.1	533.2	533.1	533.2	543.8	553.1	561.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2.10	0.32	H=	532.9	532.8	532.9	543.4	552.7	560.7	564.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2.22	0.31	H=	532.5	532.6	543.1	552.3	560.3	563.7	564.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2.34	0.30	H=	532.3	542.8	552.0	559.8	563.2	563.7	564.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2.45	0.29	H=	553.1	551.6	559.3	562.7	563.2	563.7	564.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2.57	0.28	H=	570.7	569.4	562.2	562.7	563.2	563.7	564.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2.69	0.27	H=	585.6	581.0	572.6	562.7	563.2	563.7	564.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2.80	0.26	H=	591.3	588.7	581.3	573.0	563.2	563.7	564.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
2.92	0.25	H=	591.8	591.6	589.0	581.6	573.3	563.7	564.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
3.04	0.25	H=	591.9	592.1	591.9	589.3	582.0	573.7	564.2	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
3.15	0.24	H=	592.3	592.2	592.3	592.2	589.6	582.3	574.1	564.7	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
3.27	0.23	H=	592.5	592.6	592.5	592.6	592.5	589.9	582.6	574.5	565.2	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
3.39	0.23	H=	592.9	592.7	592.9	592.7	592.9	592.7	590.1	582.9	574.9	565.7	566.2
		Q=	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
3.50	0.22	H=	593.0	593.2	593.0	593.2	593.0	593.2	593.0	590.4	583.2	575.3	566.2

[illegible]

CALCULO DO TRANSIENTE HIDRAULICO SEM PROTECAO

DADOS:QO= .003 FL= 583.84

D= .075 AMT= 116.2 HR= 110.22 WR2= .119954
F= 3.263864E-02 CV= 23.4 AA=-399998.3 BB=-13400.01 CC= 160

ENVOLTORIA DE PRESSOES MAXIMAS:

P 1 P 2 P 3 P 4 P 5 P 6 P 7 P 8 P 9 P 10 P 11

H(mca)= 595.9 595.6 595.3 595.0 594.7 594.4 594.2 593.9 593.6 583.6 566.2

ENVOLTORIA DE PRESSOES MINIMAS:

P 1 P 2 P 3 P 4 P 5 P 6 P 7 P 8 P 9 P 10 P 11

H(mca)= 532.3 532.6 532.9 533.2 533.5 533.8 534.1 534.4 534.7 546.3 566.2
