

ELIMINAR GOLPE DE ARIETE NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA INDUSTRIAL DA ACESITA¹

Péricles da Silva Alves²
Isac Quintão Pessoa³
Vagner Ferreira de Oliveira⁴
Ronei soares de Oliveira⁵
Reginaldo Frinhani Carlos⁵
Paulo Assis Moreira⁵
Geraldo Leite Marciano⁵
Carlos Magno Metzker⁴
José João Marques⁶
Marco Antônio Fraga Coura⁶
Elpidio Jose Guerra Pinto⁷
Elson Claudino⁸
Alexandre Miranda Gouvea⁵
Sérgio Barros de Assis⁵

Resumo

A rede de água clarificada da Acesita S.A, apresentou 4 (quatro) grandes rompimentos, sendo 3 (três) deles em menos de 30 dias. Com base na planilha de Gerenciamento de Risco Operacional (GRO) apresentou um impacto econômico, de R\$ 4.531.057,00. Diante destas ocorrências foram posicionados pontos de monitoramento da pressão na malha de distribuição de água e feito testes de simultaneidade na abertura e fechamento de válvulas de reposição das torres de refrigeração e reposição do tanque da descarepação da LTQ. Paralelamente, foi realizada uma inspeção geral na rede para detectar pontos potenciais de rompimento. Verificou-se a ocorrência de golpes de Aríete no sistema, isto é, ondas de contrapressão geradas pelo fechamento abrupto das válvulas, mediu-se a intensidade destes golpes isoladamente, registrando sua influência nos demais pontos de monitoramento preestabelecidos. Adotando esta metodologia, foi possível detectar que as válvulas de reposição de água estavam com tempo de fechamento muito rápido, provocando golpe de Aríete na rede, ocorrendo pressões elevadas na ordem de 17kgf/cm² em trechos críticos, estes elevados picos de pressões foram identificados como a causa fundamental dos sucessivos rompimentos da rede de água neste curto espaço de tempo. As ações realizadas foram efetivas, cujo resultado pode ser visto por meio da inexistência de ocorrência de novos rompimentos da rede desde Fevereiro de 2003 até a presente data. Atualmente os níveis de pressão da rede de água clarificada da usina, são monitoradas on-line via supervisão da sala de controle do centro de energia.

Palavras-chave: Golpe de aríete; Rede de água; Pressão.

ELIMINATING WATER HAMMER IN ACESITA'S INDUSTRIAL WATER DISTRIBUTION NETWORK

Abstract

Acesita S.A's clarifying water network presented 4 (four) major disruptions, with 3 (three) of them occurring in less than 30 days. Based on the Management of Operational Risk (GRO) spreadsheet, they presented an economic impact totaling R\$ 4,531,057.00. In response to these occurrences, pressure monitoring points were set up on the water distribution network and testes were carried out performing simultaneous opening and closing of the make-up valves from the cooling towers and make-up of LTQ descaling tank. At the same time, a general inspection was done to the network in order detect potential disruption points. Occurrence of water hammer was verified in the system, that is, contra-pressure waves generated by abrupt closing of valves. Then, the intensity of the blows was measured separately, with record of their influence on the other preset monitoring points. By adopting this methodology, it was possible to detect that the water make-up valves had a very small closing time (closing too fast), leading to water hammer in the network, with occurrence of high pressures to the order of 17kgf/cm² in critical sections. These high pressures peaks were identified as the basic cause of the successive network pipe bursting in that short time period. The actions implemented were effective and their results can be seen by the inexistence of burst pipe occurrences in the network from February 2003 until the present date. At current, pressure levels in the clarified water network of the plant are being monitored on-line by means of a supervisory system from Power Management Center control room.

Key words: Water hammer; Water network; Pressure.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual e Internacional da ABM, 23 a 27 de Julho de 2007 em Vitória – ES.

² Engenheiro mecânico, Gerente da Distribuição de Fluidos, Acesita S.A.

³ Engenheiro mecânico, Assistente Técnico da Distribuição de Fluidos, Acesita S.A.

⁴ Engenheiro mecânico, Analista técnico da Distribuição de Fluidos, Acesita S.A.

⁵ Técnico mecânico, Analista técnico da Distribuição de Fluidos, Acesita S.A.

⁶ Técnico mecânico, Supervisor Técnico da Distribuição de Fluidos, Acesita S.A.

⁷ Técnico eletrônica, Analista técnico da Distribuição de Energia, Acesita S.A.

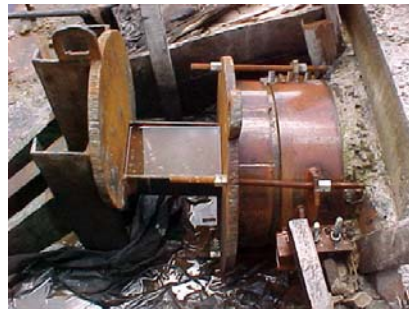
⁸ Técnico Químico, Analista técnico da Distribuição de Fluidos, Acesita S.A.

1 INTRODUÇÃO

No período de Dezembro de 2002 e Janeiro de 2003, a rede de água clarificada da Acesita S.A, sofreu 4 quatro grandes rompimentos, sendo que 3 três, aconteceram no período menor que 30 dias, sendo:

Dia 09/12/02, a rede de água industrial próximo ao regional 01, rompeu ocasionando a interrupção no fornecimento de água para RB4 (3h40minutos) e LB4 (2h20minutos).

Dia 02/01/03, a rede de água industrial no ponto de reposição do tanque de barras, rompeu, ocasionando parada do fluxo de produção da Laminação de Tiras a Quente (2h45minutos), RB3 e RB4 (27h) (Figura 1).



Fonte: Tanque de decantação da Acesita S.A

Figura 1. Inundação e intervenção realizada para normalização do abastecimento de água.

Dia 30/01/03, a rede de água industrial de alimentação da LTQ, próximo ao almoxarifado, ocasionou a interrupção do fluxo produtivo da Laminação de Tiras a Quente (1 hora) (Figura 2).



Fonte: Tanque de decantação da Acesita S.A

Figura 2. Rompimento rede de água clarificada próximo ao almoxarifado.

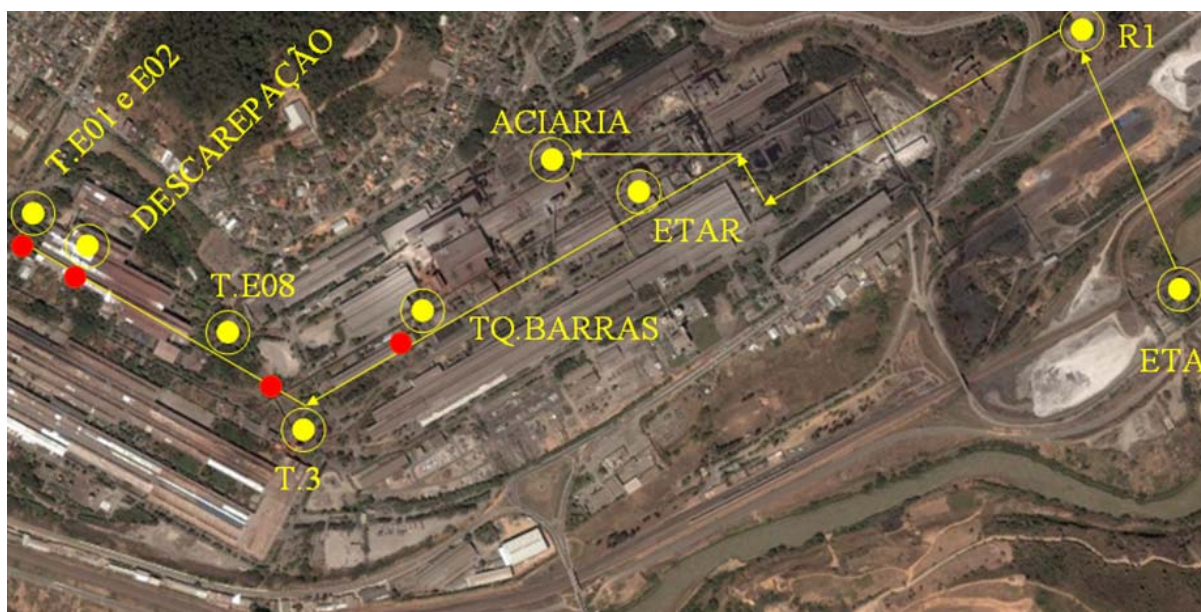
Dia 31/01/03, rede de água industrial próximo ao tanque de decantação de barras – parada da RB3 (1h25minutos) (Figura 3).



Fonte: Tanque de decantação da Acesita S.A

Figura 3. Vazamento da tubulação geral de alimentação, identificado nas inspeções, caixa de válvula perto do tanque de barras.

Após a segunda ocorrência, foi criado um grupo de trabalho para estudar e diagnosticar a solução do problema, portanto foi mapeado os pontos adotados como críticos na malha de distribuição (Figura 4) e instalado registradores portáteis com (saída de dados digitais e com carta gráfica para realizar o monitoramento da pressão manométrica).



Fonte: Vista panorâmica da planta da Acesita S.A, via satélite.

Figura 4. Fluxograma simplificado da rede de água clarificada, destacando os principais pontos de monitoração da pressão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Identificação do Problema

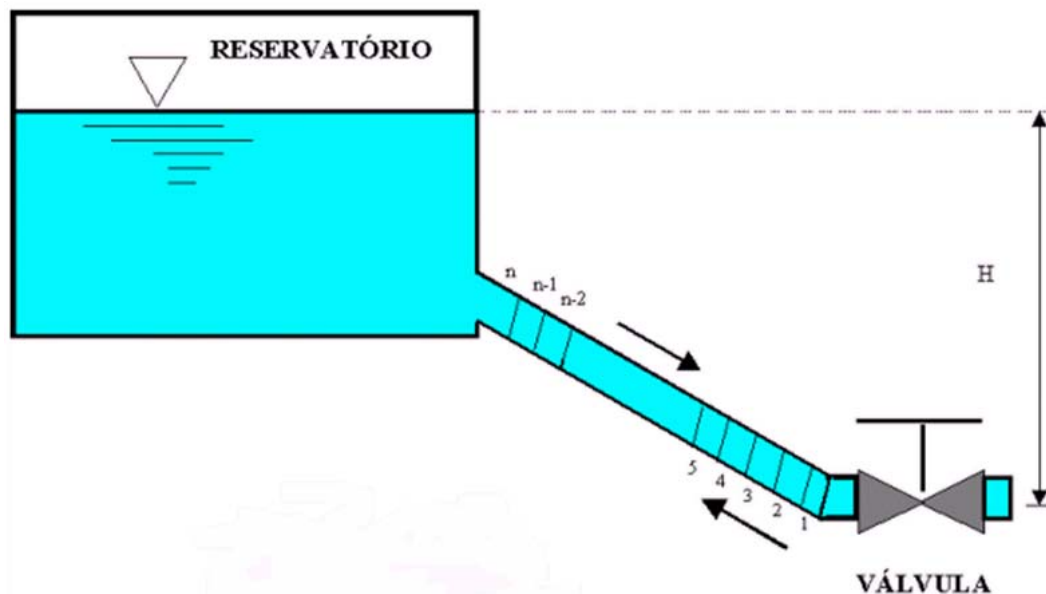
Através do estudo e análise das ocorrências destes constantes acidentes na rede de distribuição de água clarificada da Acesita S.A, observou-se que a causa fundamental estava relacionado com o fenômeno conhecido como golpe de aríete ou martelo hidráulico (water-hammer em inglês, Coup de bélier em francês),⁽¹⁾ pois é causado pela propagação e reflexão de ondas acústicas no fluido d'água confinado no interior da tubulação, surgindo quando fechava-se válvulas abruptamente num tempo curto. O ruído resultante desta ação é similar ao de "um martelo batendo" no tubo, daí a origem do termo.⁽²⁾

2.2 Definição do Golpe de Ariete

No momento em que se modifica brutalmente a velocidade de um fluido em movimento numa canalização, acontece uma violenta variação de pressão, por exemplo, o fechamento repentino de uma válvula na extremidade de uma tubulação, provoca a transformação da energia cinética do escoamento em energia de pressão.⁽¹⁾ Este fenômeno, transitório, é conhecido como golpe de aríete e aparece geralmente no momento de acionamento dos equipamentos das redes (válvulas, bombas...). Ondas de sobrepressão e subpressão se propagam ao longo da tubulação a uma velocidade C , chamada de velocidade de propagação da onda ou celeridade, por exemplo, o fechamento repentino de uma válvula na extremidade de uma tubulação, provoca a transformação da energia cinética do escoamento em energia de pressão.⁽¹⁾

Suponhamos uma massa m de líquido, escoando com velocidade v . A quantidade de movimento a que está sujeita mv , é igual à impulsão gerada pela ação de uma força F agindo durante um tempo t . Essa energia de pressão se converte em trabalho de compressão do líquido e de deformação das paredes da tubulação, dado pela expressão, $m.v=F.t$, note que se t (tempo de redução da velocidade) tende a “zero” a força de inércia F tende ao infinito (∞), isso ocorreria se a água fosse perfeitamente incompressível e a canalização inelástica. Entretanto, na prática, o fechamento leva algum tempo, e a energia a ser absorvida transforma-se em esforços de compressão da água e deformação das paredes da tubulação.⁽¹⁾

2.3 - Descrição do Fenômeno do Golpe de Ariete (Figura 5)



Fonte: Croqui representativo do posicionamento da caixa elevada da Acesita S.A.

Figura 5 - Ilustração esquemática do comportamento físico do golpe de aríete no interior da tubulação.

a) Com o fechamento abrupto da válvula, a lâmina 1 comprime-se e sua energia de velocidade (v) é convertida em pressão, esta onda de pressão se propaga até a lâmina n , junto ao reservatório.

b) A lâmina n , devido aos esforços internos, tende a sair da canalização, em direção ao reservatório com velocidade $-v$, da mesma forma acontece sucessivamente com as lâminas $n-1, n-2, \dots, 4, 3, 2, 1$.

A lâmina 1 recebe uma sobrepressão durante o tempo τ , denominado fase, ou período da tubulação, definido por: $\tau = \frac{2L}{C}$ onde:

C é a velocidade de propagação da onda ou celeridade e L é o comprimento da tubulação. A velocidade $-v$ é convertida em uma onda de depressão.

c) Devido à depressão na tubulação, a água tende a ocupá-la novamente, voltando as lâminas de encontro a válvula, dessa vez com velocidade v , e assim, sucessivamente.

• Celeridade

Para calcular a velocidade de propagação, utiliza-se a fórmula de Allievi:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \kappa \frac{D}{e}}}$$

onde:

C = celeridade da onda, m/s;

D = diâmetro dos tubos, m;

e = espessura dos tubos, m;

κ = coeficiente que leva em conta os módulos de elasticidade (E)

Sendo κ :

$\kappa = 0,5$, para tubos de aço

$\kappa = 1$, para tubos de ferro fundido

$\kappa = 5$, para tubos de concreto

$\kappa = 4,4$, para tubos de cimento-amianto

$\kappa = 18$, para tubos de plástico

Manobras de Válvulas

Manobra rápida: $\tau < \tau$

O tempo de fechamento (T) é menor do que o tempo correspondente ao período da canalização (τ).

Manobra lenta: $\tau > \tau$

A sobre pressão ocorre quando a manobra é rápida e pode ser calculada pela expressão:

$$h_a = \frac{C \cdot \Delta v}{g} \text{ (Allievi)}$$

onde:

v é a velocidade média da água e h_a é o aumento de pressão em mca.

No caso de manobra lenta:

$$h_a = \frac{2L \cdot \Delta v}{g \cdot t} \text{ (Michaud)}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1, apresenta um resumo dos resultados mais expressivos obtidos durante a observação do problema.

Tabela 1. Comparação dos níveis de pressão e valores alcançados.

Descrição das válvulas de reposição	Antes do projeto		Depois do projeto	
	Tempo de fechamento (s)	Pressão máxima (kgf/cm ²)	Tempo de fechamento (s)	Pressão máxima (kgf/cm ²)
Torre LTQ	2	12	40	5
Torre Silício / Inox	3	8	50	5
Descarepação LTQ	2	17	40	6
Torre L.Contínuo	2	10	45	5
Torre Aciaria	3	14	50	5
Torre Redução	2	13	45	5

Fonte: Sala de controle dos processo de Utilidade da Acesita S.A.

Nota: A pressão de projeto da rede de água clarificada é normalmente de 4 kgf/cm², pois a distribuição é realizada por meio de um reservatório “R1”, de água que encontra-se a 40m de altura de desnível em relação ao nível da Usina (distribuição é feita por gravidade).

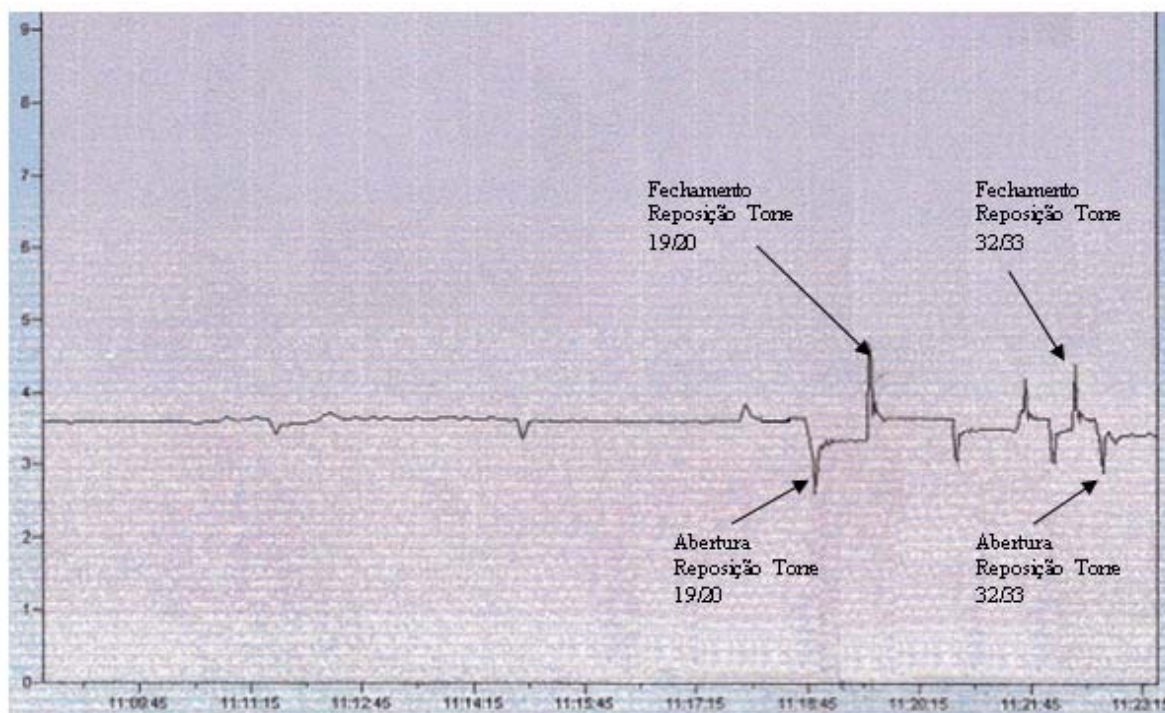
3.1 Análise dos Dados

No período dos dias 29 à 31 de Janeiro de 2003, com início a partir das 11:00h da manhã até as 8:00h da manhã do dia 31, próximo ao tanque de barras o cenário apresentou-se com oscilações de pressões variando de 2,0 a 7,0 kgf/cm². Ocorreram aproximadamente 10 picos em 1 hora neste local, ressalta-se uma ocorrência pontual onde a pressão chegou a zero por volta das 16:30h do dia 29/01/03. Neste momento ocorreu uma abertura simultânea de válvulas em pontos distintos do circuito.

O ocorrido relevante foi o rompimento da tubulação no dia 30 de Janeiro de 2003 às 3:30h, próximo ao almoxarifado. Analisando-se a carta de pressão da rede no período de 3:00h às 4:00h (período que compreende o acidente) verificou-se a ocorrência de 12 picos (6,0 a 6,5 kgf/cm²) sendo 6 deles num intervalo de tempo menor que 15 minutos.

Com o isolamento do circuito da LTQ após o rompimento, notou-se que a oscilação da pressão no ponto próximo ao Tanque de barras tornou-se estável em aproximadamente 3 kgf/cm² ocorrendo apenas 1 pico com intensidade de 5 kgf/cm² no intervalo de 1 hora. No período dos dias 31 de Janeiro de 2003 às 8:00h até o dia 01 de Fevereiro de 2003 às 12:00h, após o ajuste das válvulas de reposição das Torres de refrigeração e descarepação verificou-se uma diminuição dos níveis e a freqüência dos picos de pressão da rede neste local. Anteriormente, tinham-se picos de 7 kgf/cm² e numa freqüência de 10 num intervalo de 1 hora. Na atual situação a pressão máxima atingiu 4,5 kgf/cm² e freqüência de 3 picos por hora.

Monitorou-se conjuntamente o efeito da pressão neste local provocado pelas Torres 19/20 e 32/33 do Lingotamento Contínuo (Figura 6). O resultado é demonstrado na Tabela 2.



Fonte: Sala de controle dos processos de Utilidade da Acesita S.A.

Figura 6. Análise pontual dos acionamentos das torres 19/20 e 32/33.

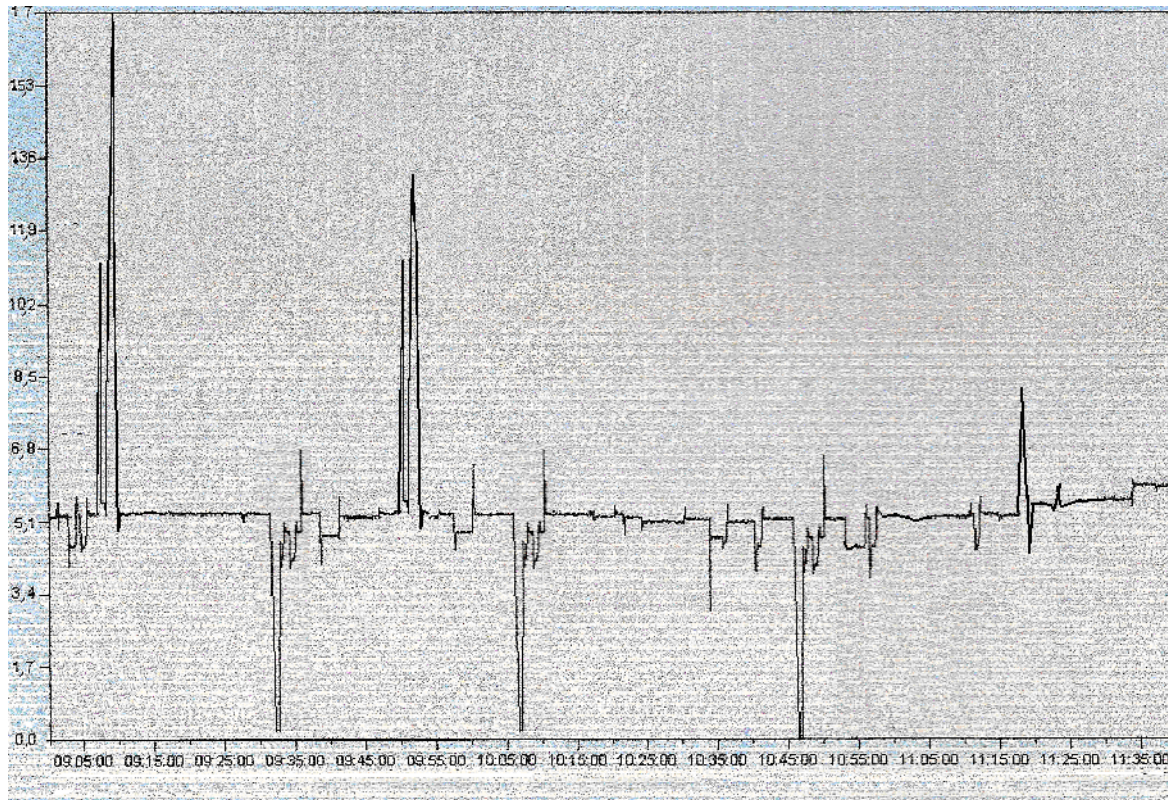
Tabela 2. Monitoramento da pressão próximo ao tanque de barras antes e após o ajuste das válvulas das torres do Ling. Contínuo.

	TORRE 19/20		TORRE 32/33	
	Pressão		Pressão	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Estável	3,6	3,6	3,6	3,6
Mínimo	2,1	2,1	2,7	2,5
Máximo	5,6	4,3	4,4	4,1

Fonte: Sala de controle dos processos de Utilidade da Acesita S.A.

3.2 Torre E01

No período do dia 29 de Janeiro de 2003 às 11:00h até o dia 31 de Janeiro de 2003 às 8:00h, a pressão variou de 0 a 17 kgf/cm², esta variação aconteceu em frações de segundos, ocorrendo aproximadamente 14 picos em 1 hora ou 1 pico a cada 3 minutos e 45 segundos. Destes picos nove eram devidos a descarepação (17 kgf/cm²) e seis referentes a abertura da válvula de reposição (11kgf/cm²). A válvula pneumática de reposição estava regulada para fechamento em três segundos (Figura 7).



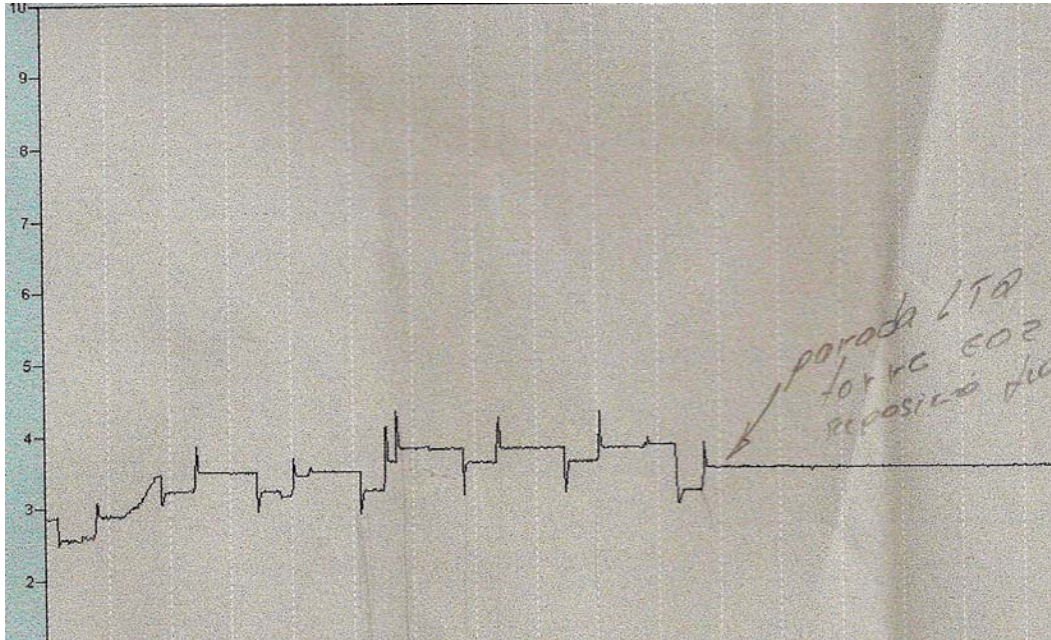
Fonte: Sala de controle dos processo de Utilidade da Acesita S.A.

Figura 7. Comportamento dos níveis de pressão da Torre E01, conjuntamente com a abertura das válvulas do descarepador da LTQ.

No Período do dia 31 de Janeiro de 2003 às 8:00h até o dia 01 de Fevereiro de 2003 às 12:00h, após o ajuste da válvula pneumática de reposição da água da Torre, a pressão passou a oscilar de 0 a 7 kgf/cm². A freqüência dos picos reduziu-se de 14 para 9 picos / hora, isto se deve, a eliminação dos picos referentes ao fechamento da válvula após seu ajuste, anteriormente, o tempo de fechamento estava em 3 segundos e foi ajustado para 40 segundos, as demais oscilações referem-se ao fechamento da válvula de descarepação da LTQ, porém com intensidade máxima de 7 kgf/cm².

No dia 30 de Janeiro de 2003, ocorreu o rompimento da rede de água clarificada da LTQ, evitou-se maiores transtornos na LTQ, utilizando a água potável como alternativa para o abastecimento do fluxo produtivo da planta. Neste dia, os picos de pressão alcançaram a 20 kgf/cm² (as válvulas da descarepação e reposição da Torre E01 ainda não havia sido ajustada). No dia 31/01/02, o circuito voltou novamente a ser alimentado

por água potável (devido a correção de vazamentos encontrados na rede principal durante inspeção geral), mas desta vez com o ajuste nas válvulas já realizados. Verificou-se que a pressão não ultrapassou 5,0 kgf/cm², o que garante a eficácia da operação (Figura 8).



Fonte: Sala de controle dos processo de Utilidade da Acesita S.A.

Figura 8. Verificação da participação da LTA na rede de pressão geral de água da Usina.

3.3 Torre ETAR (detalhes nas Figuras 9 e 10)

A torre de refrigeração da redução, ETAR também foi submetida aos ajustes e regulagens das válvulas de reposição.

Foi feito a coleta e análise dos dados das pressões manométricas via ao supervisor da sala de controle do Centro de energia, identificou-se o tempo de abertura e fechamento da válvula estava muito rápido num intervalo maior, assim foi instalado nas válvulas, controladores de fluxo e realizado os ajustes para permitir que os movimentos de abertura e fechamento da válvula a realizar-se suavemente, pode ser verificado que a pressão da rede geral passou a trabalhar em regime estável.

Estes ajustes estão sendo estendidos para as demais torres de refrigeração, e estão surtindo efeitos positivos no melhoramento do comportamento dos níveis de pressão da rede de água clarificada.

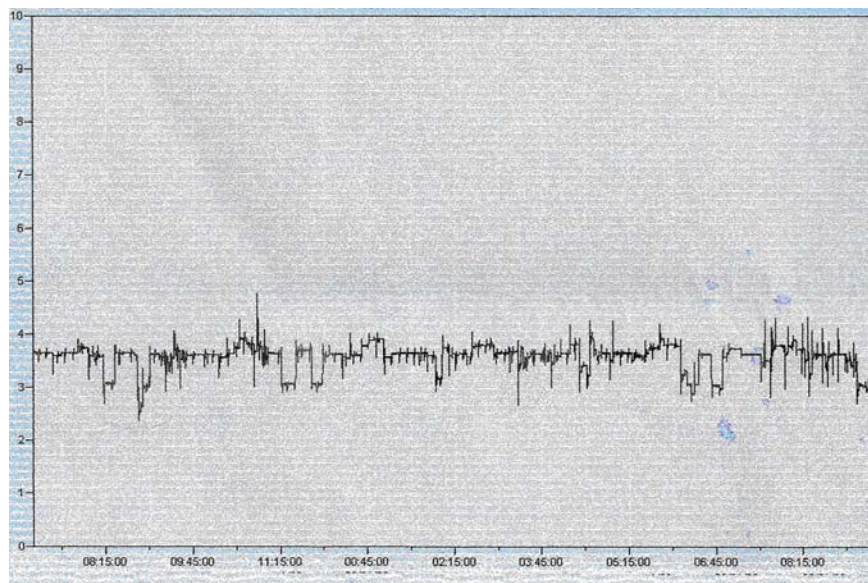


Fonte: Torre de refrigeração da área da redução da Acesita S.A.

Figura 9. Vista geral da Torre de refrigeração. **Figura 10.** Vista geral da válvula de reposição da Torre.

3.4 Descarepação

Anteriormente, o circuito atingia picos de até 17 kgf/cm^2 de pressão, com tempo de 2 segundos para fechamento da válvula de reposição do tanque de descarepação da LTQ. Após sua regulagem, esta pressão alcançou o máximo de 7 kgf/cm^2 e o tempo de fechamento passou para 32 segundos. Nota-se que, embora a pressão alcance um pouco mais de 4 kgf/cm^2 , isto ocorre de forma lenta e gradual e não abrupta como anteriormente, este acompanhamento passou a ser monitorado on-line via supervisório da LTQ (Figura 11).



Fonte: Torre de refrigeração da área da redução da Acesita S.A.

Figura 11. Comportamento da pressão de água após os ajustes das válvulas de alimentação das torres de refrigeração e de descarepação.

3.5 Inspeção nas Caixas de Válvulas de Água Clarificada

No dia 30 de Janeiro de 2003 foi realizado uma inspeção pela equipe da IIUF nas caixas de válvulas de água clarificada, foram inspecionada aproximadamente 20 caixas, com objetivo de detectar os pontos vulneráveis e providenciar sua correção.

Resultado encontrado na inspeção os seguintes itens foram:

- 01 grande vazamento próximo ao tanque de decantação de barras, que foi corrigido em 31/01/03, sem afetar o fluxo produtivo.
- 04 pontos com chumbo saindo da bolsa próximo ao regional 01, almoxarifado (02 pontos) e antigo galpão da fundição leve.

4 CONCLUSÃO

O circuito de água clarificada da LTQ e as válvulas de alimentação das torres provocavam uma perturbação no circuito geral de água clarificada da Usina, devido o acionamento abruptos das válvulas de alimentação, assim ocorria ondas de choque de contra pressão, ocasionando o rompimento dos flanges, paredes e juntas das tubulações.

As ações realizada foram efetivas, cujo resultado pode ser visto por meio da inexistência de ocorrência de novos rompimentos da rede desde Fevereiro de 2003 até a presente data.

Foi cadastrado no sistema de manutenção Máximo, o plano de manutenção e o de trabalho, no qual auxilia os analistas a realizar suas inspeções periódicas para verificação e manutenção dos resultados alcançados.

REFERÊNCIAS

- 1 MACINTYRE, A.J. " **Bombas e Instalações de bombeamento**". 2ªed., LTC.1997.
- 2 Fox, R.W" **Introdução à mecânica dos Fluidos**".6ªed., LTC.2006.Cap.2 pg.35

BIBLIOGRAFIA

- 1 FERNANDES et. Al. " **Manual de hidráulica Azevedo Neto**". Cap.12, pg. 325-332.
- 2 ALLIEVI, L. " **Air chambers for discharge Pipes**". Trans.ASME., vol. 59,1937. The theory of Water Hammer. Tradução de Eugene E. Holmes.
- 3 SEDILLE, M. " **Les Phenomènes Transitoires**". Turbo-Machines Hydrauliques et Thermiques, Cap. X. Ed. LABOR S.A.