

RECUPERAÇÃO DE REDES COM A UTILIZAÇÃO DE PIG'S RASPADORES – UMA SOLUÇÃO A OPERAÇÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO

Robson Fontes da Costa ⁽¹⁾

Tecnólogo em Obras Hidráulicas pela FATEC/SP, Engenheiro Civil pela Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL), Engenheiro Sanitarista pela Faculdade de Saúde Pública de São Paulo (FSP/USP), Engenheiro Projetista de Válvulas Indústrias pela Faculdade de Mecatrônica da Politécnica de São Paulo (POLI/USP), Mestre em Tecnologias Ambientais pelo Centro Paula Souza (CPS/SP).

Endereço⁽¹⁾: FATEC/SP: Praça Coronel Fernando Prestes, 30 - Bom Retiro - São Paulo - SP - CEP 01124-060 - Brasil - Tel.: +55(11) 3322-2227 - e-mail: robson.costa@cps.sp.gov.br.

RESUMO

As operações das redes de abastecimento de água requerem inúmeros parâmetros, desde seu dimensionamento até a sua operação. Dentro destes parâmetros a escolha das tubulações está associada à escolha dos materiais que serão utilizados, as vazões requeridas, as pressões máximas e mínimas e a perda de carga do sistema.

As perdas de carga em regimes dinâmicos tendem a dissipar a energia através do atrito do líquido conduzido com as paredes internas da tubulação. Este fato se deve ao grau de rugosidade da tubulação, conhecido como "coeficiente C" da linha.

Este coeficiente tende a variar com o tempo, muitas vezes provocado pelo envelhecimento da tubulação e o surgimento de "incrustações", que causam um maior atrito e conseqüentemente uma maior perda de carga em todo o sistema. Com isso, em alguns setores podemos ter quedas significativas das pressões de trabalho e das vazões requeridas sendo necessário, interligações e aumento da demanda para o setor em questão, além de elevarem o consumo de energia elétrica nas estações de bombeamento.

Uma das soluções encontradas e a recuperação destas redes através da utilização de raspadores conhecidos como "pig's", estes equipamentos, restabelecem a rugosidade interna da tubulação, diminuindo a perda de carga existente, além de, com o uso de placas calibradoras encontrarem defeitos internos.

Com isso, aperfeiçoamos o setor de abastecimento, além de diminuirmos os custos de energia elétrica necessário para o bombeamento.

PALAVRAS-CHAVE: Operação de Redes de Abastecimento, Recuperação de Redes, Utilização de Pig's em Redes de Abastecimento.

INTRODUÇÃO

Deste o reservatório de distribuição, até o consumidor final a água é distribuída através de uma complexa malha de tubulações, que devem garantir a vazão necessária para o abastecimento das ligações domiciliares e comerciais, hidrantes, e qualquer outro equipamento a ela interligado. Para isso, sistema de bombeamento pressurizam constantemente a rede, de forma que os parâmetros de pressões mínimas e máximas sejam atendidos.

O transporte desta água é realizado pelas tubulações, as quais podemos classificar como primárias (que levam maior volume) e secundárias (encarregadas de distribuírem estes volumes). Em alguns casos temos redes terciárias, de acordo com os diâmetros utilizados. O conjunto destas redes é definido como "Sistema de Abastecimento".

Podemos ainda classificá-las de acordo com o seu traçado:

Malhadas: Apesar de seu dimensionamento ser mais complexo, em vista das interligações em anéis, que fazem o sentido da vazão modificar. São recomendadas para implantação.

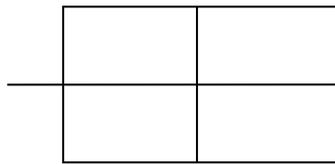


Figura 01 – Rede de Abastecimento Malhada (Fonte: do Autor)

Ramificadas: caracterizam-se por apresentar um único sentido de escoamento o que dificulta sua operação visto que caso haja a necessidade de uma manutenção é necessária a interrupção de toda a rede. Seu uso tem sido descartado em áreas urbanas adensadas.

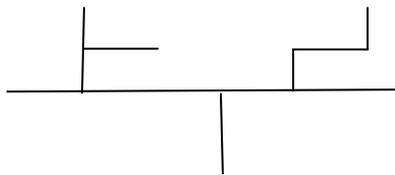


Figura 02 – Rede de Abastecimento Ramificada (Fonte: do Autor)

PRESSÕES MÍNIMAS E MÁXIMAS E VELOCIDADE NAS TUBULAÇÕES

As pressões efetivas dos sistemas de abastecimento de água são fundamentais para a sua operação, repercutindo significativamente nos serviços prestados e no valor de sua implantação.

Os limites inferiores devem proporcionar que os imóveis sejam abastecidos com o mínimo requerido na norma ABNT, NBR 12218 (1994), ou seja, com 100 KPa (aproximadamente 10 mca), Segundo, Gomes, Heber Pimentel – Sistemas de Abastecimento de Água, 2ª edição, as pressões máximas nas redes devem ser limitadas pelos seguintes aspectos:

- a) Com maiores pressões requeridas, o custo energético de bombeamento aumentará já que este custo é diretamente proporcional à altura manométrica de impulsão;
- b) Para maiores pressões na rede, as tubulações serão mais caras por necessitarem de maiores pressões nominais;
- c) As possibilidades de ruptura nas tubulações aumentam com o aumento das pressões dinâmicas e estáticas da rede;
- d) As perdas reais de água crescem com o aumento das pressões de serviço, pois a vazão nas fissuras ou juntas dos tubos aumenta com o acréscimo da pressão;
- e) As vazões nos pontos de consumo crescem com o aumento das pressões disponíveis.

A norma ABNT, NBR 12218 (1994) estabelece que a pressão máxima sejam de 500 KPa (aproximadamente 50 mca), sendo que quando houver topografias acidentadas os sistemas devem ser separados em zonas de pressão.

Por sua vez, a velocidade os limites de velocidade de escoamento devem ser observados, pois o acréscimo de velocidade tem a acarretar um maior risco as tubulações, por vibrações, golpes de aríete, desgaste das tubulações e acessórios. Segundo a ABNT, NBR 12218 as velocidades máximas e mínimas devem várias respectivamente de 3,5 m/s a 0,6 m/s.

Velocidades excessivas também provocam uma maior perda de carga ao sistema, o que dificulta em muito a operação. As incrustações que as tubulações adquirem ao longo do tempo, provocam uma diminuição de sua seção, o que aumenta ainda mais este fenômeno.

EQUAÇÃO DE ENERGIA E PERDAS DE CARGA

O movimento de água em um conduto se dá sempre com dissipação de energia, causada pelo atrito das partículas fluidas entre si e com as paredes dos tubos, e também pelo choque dessas partículas no desenvolvimento do movimento turbulento.

A Equação de Bernoulli traduz a relação da energia (ou carga) do fluido em movimento entre duas seções em uma tubulação.

A carga ou energia total em uma seção é dada por:

Onde:

$$H = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + Z$$

H = carga ou energia total média na seção (unidade:m)

$\frac{p}{\gamma}$ = energia potencial de pressão na seção por unidade de peso (unidade:m)

$\frac{v^2}{2g}$ = energia cinética na seção por unidade de peso (unidade:m)

Z = energia potencial de posição na seção por unidade de peso (unidade:m).

A Equação de Energia (ou Equação de Bernoulli) é expressa por:

$$H_2 - H_1 = \Delta h$$

onde:

H_2 = carga total na seção 2

H_1 = carga total na seção 1

Δh = perda de carga (ou de energia) entre as seções 1 e 2

Essa equação traduz a relação da energia (ou carga) do fluido em movimento entre duas seções em uma tubulação.

A Figura 03 mostra, de forma gráfica e simplificada, as definições e relações expostas.

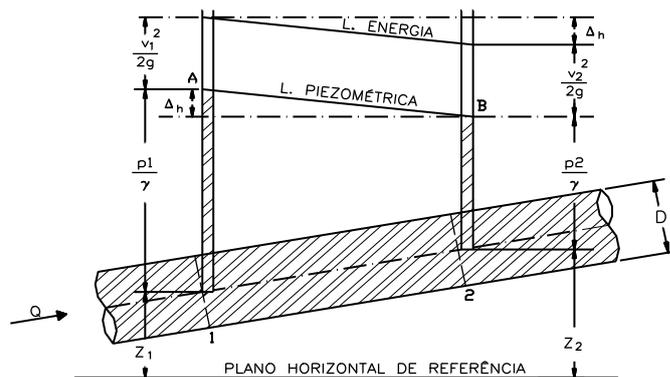


Figura 03 – Equação de Bernoulli (Fonte: Abende)

Colocando-se dois piezômetros respectivamente nas seções 1 e 2 do conduto, verifica-se que os níveis do líquido vão atingir cotas diferentes em relação ao PHR (Plano Horizontal de Referência).

O líquido se eleva no piezômetro a uma altura **h**, que é, em coluna de líquido, a pressão no ponto em que está instalado.

A soma da cota geométrica com a pressão define a **cota piezométrica**. A linha que une os pontos em questão é a **linha piezométrica**.

Aplicando-se a equação entre as seções 1 e 2 tem-se:

$$H_1 - H_2 = \Delta h$$

$$\left[\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \right] + Z_1 - \left[\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \right] + Z_2 = \Delta h$$

Como a seção é constante, então $v_1 = v_2$. Portanto:

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 - \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 = \Delta h$$

Assim, a perda de carga entre 1 e 2 é o desnível entre os dois piezômetros.

Somando aos pontos A e B a altura correspondente a, obtém-se uma reta paralela à linha piezométrica que é conhecida como **linha de energia**.

Perda de Carga

A perda de carga entre duas seções pode ser distribuída ou localizada, cujos conceitos serão apresentados a seguir:

Perda de Carga Distribuída

É a perda devido ao atrito interno, consequência da viscosidade do fluido. As partículas fluidas ao se deslocar uma em relação à outra sofrem atrito e choques e, conseqüentemente, há dissipação de parte da energia na forma de calor.

Seu valor depende da natureza do fluido, do material do tubo, da velocidade do escoamento, do diâmetro do tubo e do comprimento da tubulação. É independente da pressão.

A perda de carga distribuída pode ser expressa por (Fórmula Universal):

$$\Delta h_d = f \times \frac{l}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

onde:

Δh_d = perda de carga distribuída entre as seções 1 e 2 do conduto (unidade: m)

f = fator de atrito ou coeficiente de perda de carga distribuída (adimensional)

l = comprimento do conduto (unidade: m)

D = diâmetro do conduto (unidade: m)

v = velocidade média na seção (dimensão: m/s)

g = aceleração da gravidade (dimensão: m/s)

Experimentalmente, a perda de carga distribuída num conduto retilíneo pode ser determinada utilizando-se piezômetros

Perda de Carga Localizada ou Singular

A perda de carga localizada ou singular, indicada por Δh_s , é consequência de uma perturbação introduzida no escoamento devido à presença de uma curva, válvula, redução, instrumentos como, por exemplo, um tubo Venturi, e que recebem o nome genérico de singularidades.

Analicamente calcula-se a perda de carga localizada Δh_s através da fórmula:

Onde:

$$\Delta h_s = K_s \times \frac{v^2}{2g}$$

K_s = coeficiente de perda singular, determinado experimentalmente, na maioria dos casos, e que depende da velocidade média do escoamento, a montante ou a jusante, da singularidade, do fluido, de um diâmetro característico D e de um ou mais coeficientes que representam a forma da singularidade.

O coeficiente K_s é adimensional e seu valor é apresentado em função do tipo de singularidade. Os valores de K_s são encontrados em manuais de hidráulica.

Coeficiente C de Hazen & Willians

Dentre as metodologias consagradas para determinação de perda de carga distribuída, destaca-se a equação de Hazen & Willians (1963), devido à sua simplicidade de uso e fundamentada para o

regime turbulento pleno. O trabalho desses autores resultou de um estudo estatístico cuidadoso no qual foram considerados os dados experimentais disponíveis, obtidos anteriormente por um grande número de pesquisadores, além de observações próprias. Segundo os autores, a expressão determinada é teoricamente correta, pois a diferença de seus expoentes é de 3,02 e apresenta uma diferença desprezível sobre o valor teórico. Esses expoentes também foram estabelecidos para resultarem as menores variações do coeficiente numérico C para tubos de mesmo grau de rugosidade; em consequência, este coeficiente é, tanto quanto possível e praticável, uma função quase que exclusiva da natureza das paredes.

A grande aceitação que teve a fórmula permitiu que se obtivessem valores bem determinados do coeficiente C, condições em que se pode estimar o envelhecimento dos tubos; trata-se de uma fórmula que pode ser satisfatoriamente aplicada para qualquer tipo de conduto e material, cujos limites de aplicação são os diâmetros de 50 a 3500 mm, que causam pouco entupimento, o que pode tornar tal equação bastante prática para o líquido oriundo de águas; entretanto, a grande limitação do método dos autores foi desprezar o efeito do líquido em seu modelo matemático, pois trabalhou apenas para água pura. A inclusão dos efeitos do líquido na perda de carga seguindo a equação universal pode ser feita mediante a viscosidade, porém, o trabalho de Carstens & Addie (1981) aponta que a concentração de sólidos totais também se constitui em outro parâmetro a ser utilizado na determinação de perda de carga distribuída.

Fórmula de Hazen-Williams

A fórmula de Hazen-Williams, com o seu fator numérico em unidades métricas, é a seguinte:

$$j = 10,643 Q^{1,852} \times C^{-1,852} \times D^{-4,87}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s)

D = diâmetro interno do tubo (m)

j = perda de carga unitária (m/m)

C = coeficiente que depende da natureza (material e estado) das paredes dos tubos.

Perdas de carga por incrustações

As incrustações nas redes de água também provocam o aumento da perda de carga, ocasionando não somente o problema de água suja, mas um considerado aumento de energia elétrica, necessária a vencer esta barreira interna, que se forma nas tubulações.

O que são as incrustações

Os metais que estão presentes na água in-natura, possivelmente e fortemente complexados com os compostos húmicos, são muito solúveis e difíceis de serem removidos por processos convencionais de tratamento. Após a filtração e aplicação de Cloro, este oxida a Matéria Orgânica liberando e oxidando os metais, principalmente o Ferro e o Manganês. Esses metais na presença de alcalinidade (correção de pH), passam as suas formas finais de oxidação, ou seja, os Hidróxidos Metálicos que são insolúveis em água, resultando em coloração amarelo claro, laranja tijolo, marrom avermelhado, preto, etc. Estas reações em função da liberação de gás Carbônico, podem levar até 48 horas para se processarem totalmente, ou seja, ocorrem reações de precipitação similares as que ocorrem no processo de floculação. Estas reações irão se formar principalmente em redes, onde a velocidade da água é baixa.

Após a formação da floculação, forma-se um coloide eletricamente positivo que se agrega à parede das tubulações em decorrência de cargas eletricamente negativas presentes nas tubulações aterradas.

Durante as reações secundárias, há a formação do Sulfato de Cálcio que endurece as incrustações lentamente, devidas o meio aquoso. Os coloides que não tiveram tempo suficiente para sofrer o processo de incrustação



Figura 04 – Exemplo de Tubulação Incrustada (Fonte: do Autor)

Consequências do acúmulo de incrustações

- Aumento da perda de carga e diminuição da vazão aduzida;
- Problemas sanitários decorrentes, por exemplo, a liberação para a água de metais constituintes da tubulação;
- Problemas organolépticos, originados da alteração da cor e do sabor da água;
- Problemas econômicos, advindos, dentre outros, da necessidade de troca das tubulações, aumento do número de intervenções para manutenção e acréscimo do consumo de energia elétrica, para superar a perda de carga adicional causada pelas Incrustações e pelo aumento da rugosidade das tubulações

As empresas de saneamento utilizam largamente o ferro fundido no sistema de abastecimento das cidades, em adutoras, redes de distribuição primárias e secundárias. As linhas de ferro fundido aplicadas no período anterior à década de 60 não contavam com revestimento interno. Esses condutos apresentam, hoje, incrustações e deposições que comprometem a eficiência dessas linhas em aspectos hidráulicos e sanitários.

Além da degradação interna das adutoras, provoca um maior consumo de energia pela resistência ao escoamento (perda de carga), com reflexos diretos no atendimento à demanda em função das menores vazões, ocorrência de vazamentos, e outros, como também são detectados aumentos na concentração de resíduos insolúveis na água devido ao desprendimento de tubérculos.

Para a solução destes problemas podemos citar como alternativas:

- Aumento da capacidade da estação elevatória, ou instalação de conjunto de bombas para aumentar a altura manométrica
- Tubulação em paralelo, ou nova tubulação

- Porém estas soluções podem acarretar:
 - Gerar novos custos de energia
 - Limitado pela P_{max} . Admissível
 - Custos elevados
 - Problemas normais de obras
- Projeto, aquisição de materiais, contratações, execução de obra.

Os sistemas de adutoras operavam há centenas de anos sem haver indícios do uso de dispositivos mecânicos como solução para o problema das incrustações no interior de tubulações. Entretanto, com o advento do transporte de óleo e gás em tubulações, esses fenômenos foram sendo evidenciados em escala crescente, surgindo assim à necessidade de técnicas capazes não só de evitar o crescimento das incrustações como também de retirar as já formadas. Reside aí à inclusão de passagem de dispositivos curiosamente denominados "PIGS" como parte de rotinas operacionais.

Definição de Pig's

São dispositivos, cilíndricos ou esféricos impulsionados pelo fluxo do próprio fluido, sua movimentação é feita através do diferencial de pressão e têm a finalidade básica de limpeza interna de tubulações.

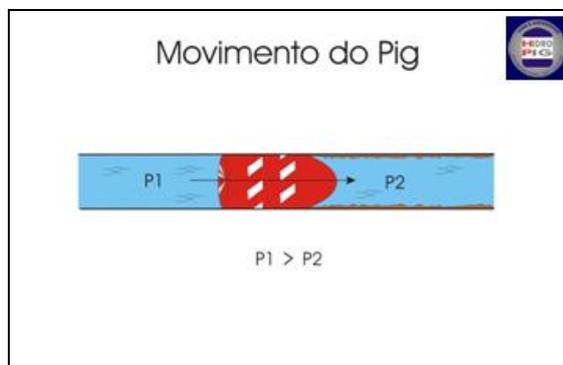


Figura 06 – Ilustração do Movimento de um Pig (Fonte: Hidropig)

Origem do nome PIG

A origem deste nome possui algumas versões, sendo as mais aceitas as que relacionam o dispositivo ao animal de mesmo nome, tanto pela semelhança entre o grunhido dos porcos e o som emitido pelo dispositivo ao se deslocar na linha, como pela estreita relação entre pig e detritos, tal quais os suínos.



Foto 01 – Exemplo de Pig, após a sua passagem em tubulações (Fonte: Hidropig)

A utilização de pig's para a limpeza das redes de abastecimento trazem vantagens se forem levados em conta os seguintes aspectos:

- Soluções em curto prazo;
- Resultados e benefícios imediatos;
- Custo vantajoso;
- Menor intervenção nos leitos carroçáveis.

Etapas da limpeza

Análise:

- Diâmetro
- Tipo de tubo
- Plantas e desenhos
- Vazão e pressão
- Acessórios
- Condição operacional dos registros
- Reconhecimento no campo
- Tipo de incrustação

Plano Operacional:

- Escolha dos pigs e quantidades
- Ponto de lançamento do pig
- Ponto de recebimento do pig
- Cronograma da limpeza
- Recursos de pessoal e material

Escolha do pig (PIGS de espuma)

- Versáteis
- Eficientes
- Passam por curvas
- Passam por redução (até 20%D)
- Processo progressivo
- Mínimo risco de aprisionamento

Pig de Limpeza

Utilizado para varrição com risco zero de aprisionamento.



Foto 02 – Exemplo de Pig (Fonte: Hidropig)

Revestido com polímeros e grãos de borracha, utilizado nas limpezas em tubulações com revestimento interno.



Foto 03 – Exemplo de Pig (Fonte: Hidropig)

Revestido com milhares de cerdas de aço e pontas afiadas, utilizado na limpeza em tubulações sem revestimento interno



Foto 04 – Exemplo de Pig (Fonte: Hidropig)



Pontos de lançamento/recebedor de PIG

Tipos de Lançador

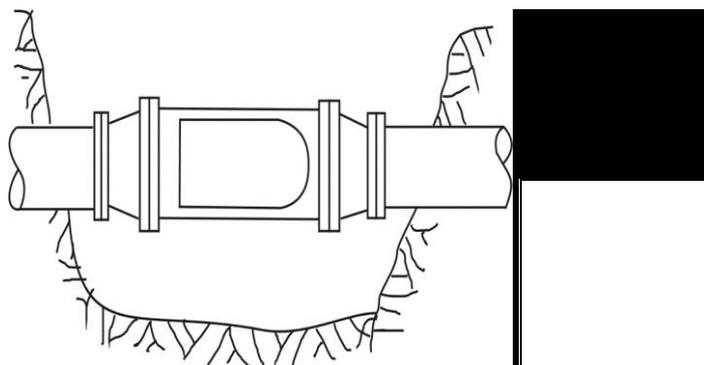


Figura 07 – Ilustração de lançador de Pig (Fonte: Hidropig)

Tipo de recebedor

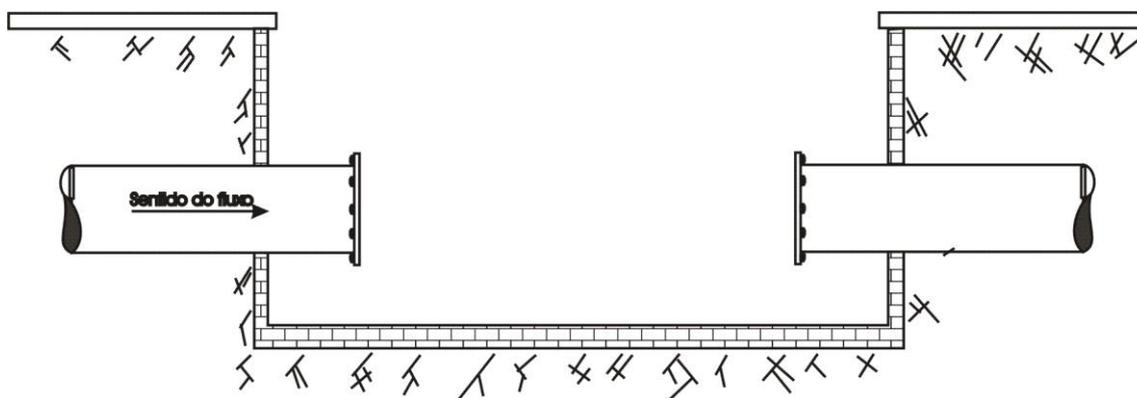
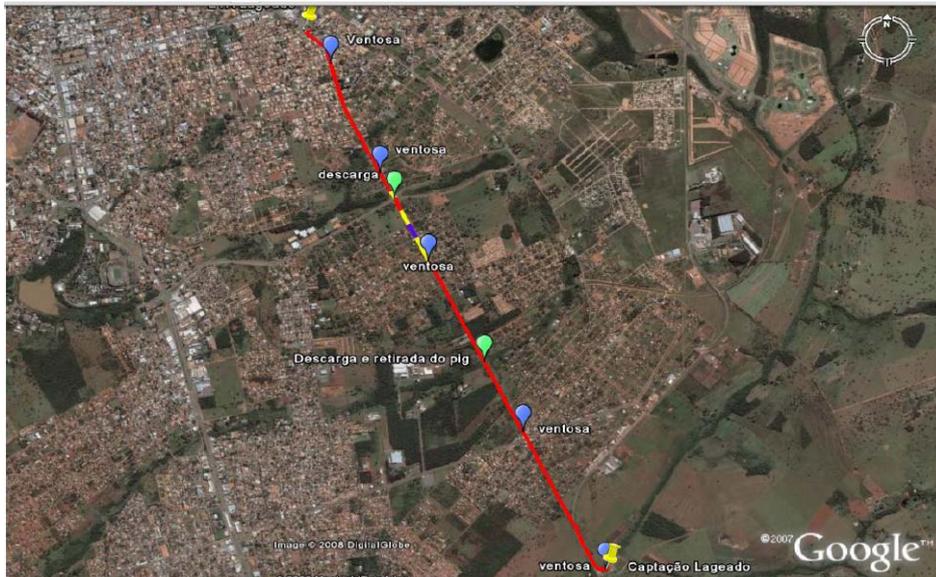


Figura 08 – Ilustração de recebedor de Pig (Fonte: Hidropig)

ESTUDO DE CASO

O exemplo a seguir é referente à passagem e limpeza de tubulações, com a utilização de Pigs em uma adutora de água de DN 600 e 6,3 km de comprimento na cidade de Lageado.



Trecho percorrido pelo Pig adutora do Lageado 6.300 metros DN 600 mm

Figura 09 – Estudo de caso (Fonte: Hidropig)

Tabela 01 – Estudo de caso I

Itens	Antes da Passagem do Pig	Após a Passagem do Pig	Resultado
Coefficiente C (Hazen-Williams)	91	121	+34%
Vazão (l/s)	354	430	+21%
Custo Médio Mensal de Energia (R\$)	R\$ 69.000,00	R\$ 15.000,00	- R\$ 54.000,00
Energia + Produto Químico Lageado (R\$/m ³)	0,12	0,11	-10%
Energia + Produto Químico Guariroba (R\$/m ³)		0,24	

A tabela acima resume as principais vantagens na utilização desta metodologia de trabalho, ressaltando a economia de **R\$ 54.000,00** reais em consumo de energia elétrica, além da melhoria significativa do coeficiente C, o que diminuía perda de carga distribuída e consequentemente aumentando a vazão distribuída de 354 l/s para 430 l/s.

Outro exemplo de aumento de vazão se deu em uma adutora de DN de 6" com 12 km de comprimento e com apenas 3 (três) anos de operação, que transportava água bruta para a tratamento.

Tabela 02 – Estudo de caso II

Vazão Inicial (m ³ /h)	Vazão após limpeza (m ³ /h)	Resultado (m ³ /h)
55	82	27

(Fonte: Hidropig)



Figura 10 – Estado da Tubulação antes e após a passagem de Pigs (Fonte: Hidropig)

Como podemos verificar nas figuras acima percebemos a diferença entre a rede incrustada antes da passagem do pig e após, além das vantagens da diminuição das perdas de cargas distribuídas e o conseqüente aumento da vazão aduzida.

CONCLUSÃO

Podemos citar que a utilização de pigs para a limpeza de redes de abastecimento se torna uma ferramenta vantajosa nos seguintes aspectos:

Solução em curto prazo: o retorno é rápido, visto que não são necessárias muitas intervenções através de obras, para a aplicação da metodologia o que diminui consideravelmente seus custos, além disso, o restabelecimento da rede também é rápido e as conseqüências como o aumento da vazão são praticamente imediatos.

Resultados e benefícios imediatos: não somente os decorrentes ao aumento da vazão da linha, como também as pressões de trabalho, além de ser uma solução para bairros ou setores com problemas de intermitência, onde muitas vezes a solução seria a instalação de “Booster”.

Custo Vantajoso: Em relação a outras metodologias como instalação de redes, aumento ou troca dos conjuntos moto-bomba.

A melhoria da qualidade da água distribuída também deve ser mensurada, pois a limpeza, retira as incrustações que causam aspecto de cor desagradável a população atendida, o que melhora em muito a imagem da companhia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gomes, H. P. – Sistemas de Abastecimento de Água – 2º Edição