

TÉCNICAS NÃO-DESTRUTIVAS DE INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO PARA A REABILITAÇÃO DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Rafael Yukio Kurita¹; José Gilberto Dalfré Filho²

RESUMO - Os serviços de infra-estrutura, tais como os sistemas de distribuição de água, formam a base fundamental das funções sociais e econômicas de uma nação. Assim, manter um sistema de distribuição de água eficiente e confiável é essencial para uma sólida infra-estrutura básica. A estimativa da condição de um sistema de tubulações é central para qualquer decisão no que tange a reabilitação das redes de distribuição de água. O objetivo deste trabalho é auxiliar a reabilitação das redes de abastecimento de água brasileiras, através da indicação das técnicas não destrutivas de inspeção e avaliação. Verifica-se que o desenvolvimento de um modelo para analisar as tensões atuantes na tubulação, associado com as técnicas não-destrutivas de inspeção facilitarão as práticas de reabilitação dos sistemas de distribuição de água.

ABSTRACT - The infrastructure services, such as the water distribution systems, are the fundamental basis of the social and economic functions of a nation. Thus, maintaining an efficient and reliable water distribution system is essential for a solid infrastructure. The estimative of the condition of a pipeline system is central to any decision regarding the rehabilitation of the water distribution networks. The objective of this work is to assist the rehabilitation of the water supply networks in Brazil, using the non-destructive inspection and evaluation. It can be verified that the development of a model to analyze the tensions acting in the pipelines along with the non-destructive inspection and evaluation is useful for the rehabilitation of water distribution systems.

Palavras-chave: Redes de distribuição de água, Reabilitação, Técnicas não-destrutivas.

1. INTRODUÇÃO

O estado atual das infra-estruturas urbanas de abastecimento de água é o resultado do desenvolvimento e de grandes investimentos. As preocupações ambientais juntamente com a maior sensibilização dos clientes têm pressionado o gerenciador do sistema de abastecimento a melhorar os serviços prestados. Esta pressão é suportada pelo rápido desenvolvimento de avançadas tecnologias de instrumentação, controle e informática. Embora tenham sido feitos esforços consideráveis nesta área, os serviços de abastecimento de água continuam carentes no que diz respeito ao desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias.

Considerando-se que especial preocupação tem sido manifestada na conservação dos recursos naturais, novas regulamentações suscitaram maiores demandas para a eficiência do abastecimento de água em muitos países. Além disso, há indicações de que as políticas sobre a água irão se tornar ainda mais rigorosas no futuro. Esta situação obrigará, ainda mais, o gerenciador do sistema de abastecimento de água a procurar novas formas de melhorar o estado de funcionamento dos sistemas atuais de abastecimento de água.

A confiabilidade, a disponibilidade, a segurança e a eficiência podem ser identificadas como principais parâmetros que descrevem o desempenho do abastecimento de água. A confiabilidade é a probabilidade de que o sistema irá operar corretamente. Já a disponibilidade é a probabilidade em que o sistema estará operando, a segurança é a ausência de resíduos perigosos no corpo d'água. Finalmente, a eficiência está relacionada sobretudo com o nível de perdas.

Atualmente, as empresas gerenciadoras do sistema de distribuição de água não praticam de forma sistemática a reabilitação destes sistemas. Manter um sistema de distribuição de água confiável, seguro e eficiente é essencial para uma infra-estrutura básica sólida, que é interdependente com o crescimento econômico no longo prazo. Os recursos públicos, cada vez mais escassos, e o envelhecimento dos sistemas de abastecimento de água tornam a reabilitação uma discussão essencial.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem objetivo de auxiliar a reabilitação das redes de abastecimento de água brasileiras através da indicação das técnicas não destrutivas de inspeção e avaliação.

3. ESTRUTURA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Embora o tamanho e a complexidade dos sistemas de abastecimento de água potável possam variar drasticamente, todos têm o mesmo objetivo essencial conduzir a água a partir da fonte (ou estação de tratamento) ao cliente. Os objetivos de um sistema urbano de água são o fornecimento de água em quantidade, qualidade e pressão adequada para uso doméstico, industrial e prevenção a incêndios. As fontes municipais de abastecimento são poços, rios, lagos e reservatórios.

A água transportada até as zonas residenciais e industriais é distribuída através do sistema de distribuição de água. Geralmente, uma distribuição tem uma topologia complexa e contém um grande número de elementos.

Como visto na figura 1, os sistemas de distribuição da água podem ter retornos ou serem ramificados. Em um sistema com retorno, há vários caminhos que a água pode seguir desde a fonte até um cliente específico. Em um sistema ramificado, a água tem apenas um caminho possível, desde a fonte até um cliente, de acordo com Khomsi et al (1996).

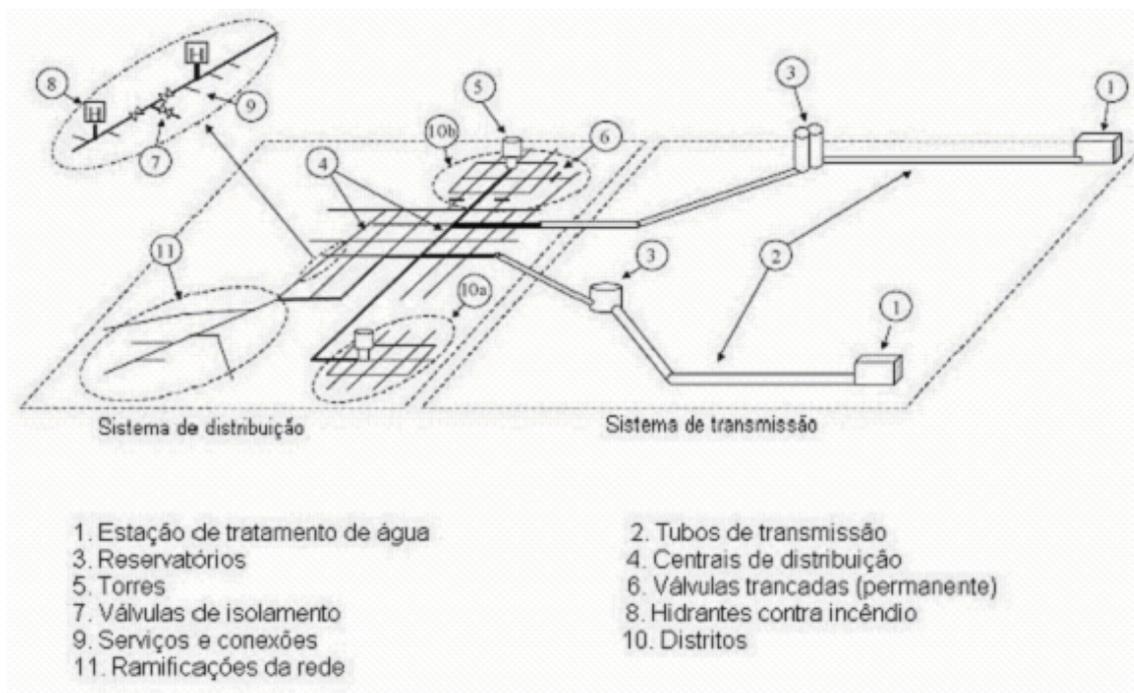


Figura 1 – Esquema de uma rede de água.

Fonte: Misiunas Dalius (2005)

A vantagem dos sistemas de tubulações com retorno é que uma vez tendo mais de um caminho para a água atingir o destino final, o sistema terá maior capacidade. No entanto, o custo para a instalação de um sistema retornado é superior que a de um sistema ramificado. Assim, os sistemas de abastecimento de água são como combinações complexas de retornos com ramificações, de maneira a reduzir os custos.

Com relação aos materiais mais empregados, anteriormente eram comumente utilizados o

ferro fundido e o concreto. Atualmente, o ferro dúctil, o poli cloreto de vinila (PVC) e o polietileno (PE) estão sendo mais empregados nos sistemas de abastecimento de água. Assim, a idade dos tubos pode ser estimada a partir do seu tipo de material. De acordo com Misiunas Dalius (2005) a idade média dos tubos de ferro fundido que estão presentes nos sistemas existentes é de cerca de 50 anos. O aço, o ferro fundido dúctil, o fibrocimento e o concreto foram introduzidos nos sistemas de abastecimento de água às zonas urbanas entorno de 50 anos atrás. Finalmente, os materiais plásticos tornaram-se comuns a partir da década de 1970 e constitui numa grande proporção das atuais instalações. É lógico que as condições da infra-estrutura tem sido afetadas através dos processos de deterioração. Na figura 2, visualiza-se um processo típico de deterioração de um tubo.

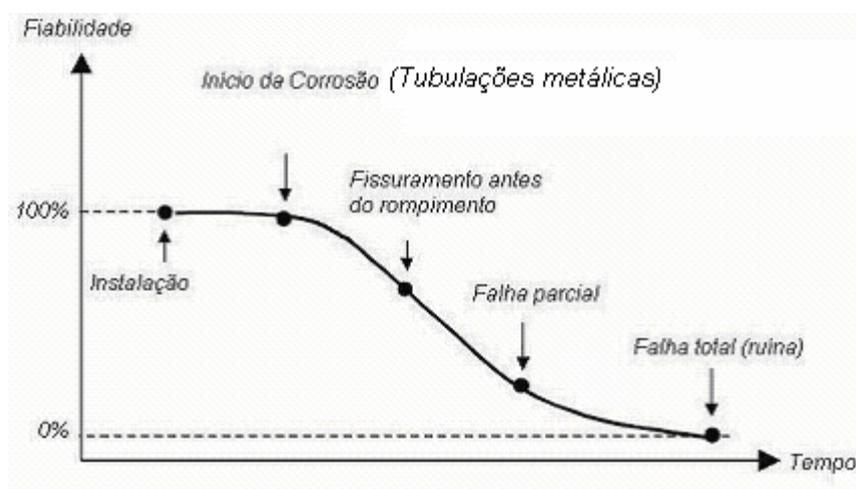


Figura 2 –Desenvolvimento da deterioração do tubo.

Fonte: Misiunas Dalius (2005)

Os principais fatores que influenciam as falhas em tubulações são a idade do tubo, o material do tubo, a geometria do tubo, as características do solo, as alterações de temperatura e a pressão no sistema. Um dos indicadores usados para quantificar a frequência de falhas num determinado sistema é o número anual de interrupções por centenas de quilômetros do tubo, de acordo com Misiunas Dalius (2005).

O processo de deterioração está contido em todas as etapas, a citar, a instalação, o início do funcionamento (processos iniciais de corrosão e desgaste) e o funcionamento pleno. Os desgastes e as corrosões originados no período de início de funcionamento podem resultar na diminuição da capacidade hidráulica e da qualidade da água. Durante o período de funcionamento pleno das tubulações podem ocorrer sinais de corrosão como fissuras, aberturas e grafitação. Em alguns casos, fraturas podem ser originadas por tensão mecânica. De acordo com Rajani (2001), tal fenômeno é geralmente notado quando há aparecimento de água na superfície do solo.

Muitas vezes, a falha de um tubo é causada por uma combinação da aplicação de esforços externos, da falha na fabricação e do próprio assentamento do tubo. Kleiner e Rajani (2001) identificaram os esforços que podem contribuir para a fratura de um tubo. Estes esforços podem ser causados pelos esforços de flexão devido ao recalque do solo ou vazios nas camadas mais próximas da tubulação (como resultado de vazamentos), pela pressão interna excessiva, pelas cargas devido ao carregamento do solo ou pelas cargas de tráfego de veículos.

A porosidade nos tubos é um dos defeitos de fabricação mais comuns no ferro fundido que resultam na descontinuidade do tubo, podendo formar fissuras. A variação da espessura do tubo pode levar a ruína do tubo, pois há regiões onde a parede do tubo não resistirá à tensão causada pela variação da espessura da parede. Deve-se notar, também, que existem várias práticas manuais durante e após a construção que podem contribuir para o fracasso da tubulação como o transporte inadequado dos materiais, o manuseio na instalação e a falta de equipamentos de segurança. Há, também, a remoção acidental do revestimento do tubo que expõe o mesmo à corrosão. Misiunas Dalius (2005) verificou que a maioria das falhas ocorre em tubos de ferro fundido. Como na maioria dos sistemas de abastecimento de água, os tubos de ferro fundido são os mais antigos, conclui-se que o número de incidentes em sistemas de abastecimento de água urbano aumenta à medida que estes sistemas envelhecem.

Kleiner e Rajani (2001) classificam a deterioração das tubulações em duas categorias. A primeira é a deterioração estrutural que diminui a resistência estrutural do tubo e a sua capacidade para resistir a vários tipos de tensões imposta a ele. A segunda é a deterioração da superfície interior da tubulação, resultando na diminuição da capacidade hidráulica, na degradação da qualidade da água e na redução da resistência estrutural em casos de grave corrosão interna.

Para a primeira categoria, O'Day (1982) cita que os tubos podem romper de acordo com as seguintes classificações: rompimento circular, rompimento longitudinal, rompimento por corrosão e rompimento por cisalhamento transversal.

O rompimento circular é causado pela flexão aplicada ao tubo. A flexão é frequentemente resultado do movimento do solo, ou da contração. Os rompimentos longitudinais são mais comuns em tubos de maiores diâmetros. Por exemplo, uma pequena fissura pode expandir ao longo do comprimento do cano. Ele pode ser causado por uma série de tipos de carga, como a pressão interna da água, a pressão criada pela carga do solo, a carga de tráfego e a carga térmica. Já o rompimento por corrosão reduz a espessura e a resistência mecânica da parede do tubo. Quando a espessura é diminuída, sobrecargas devido ao transitório hidráulico podem provocar rompimentos, cuja extensão dependerá da distribuição da corrosão e da magnitude da sobrecarga. No caso do cisalhamento transversal, os tubos metálicos de grande diâmetro podem romper por possuírem

seção diferente da seção típica do tubo. Nesta alteração de seção, podem ocorrer tensões de cisalhamento. Na figura 3 pode - se visualizar os diferentes tipos de rompimentos.

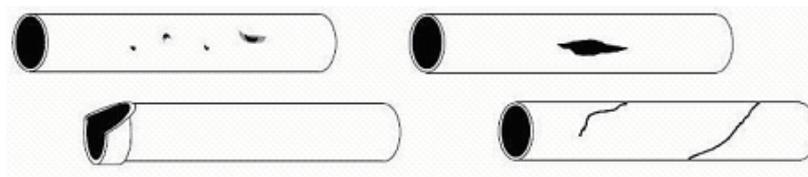


Figura 3 – Exemplos de fissuras e fraturas em tubos.

Fonte: Misiunas Dalius (2005)

No que se refere a segunda categoria, de acordo com Makar e Kleiner (2000) e Kleiner e Rajani (2001), é amplamente aceito que o mecanismo predominante na deterioração no exterior de tubos de ferro dúctil é a eletro-corrosão com danos sob a forma de desgaste e fissuras. Os danos ao ferro fundido são freqüentemente identificados pela presença de grafitação. O fibrocimento e os tubos de concreto estão sujeitas à deterioração devido a vários processos químicos que lixiviam material para fora do tubo. Assim, tais substâncias formadas podem enfraquecer o tubo.

Neste cenário pode ocorrer a falência das tubulações cuja integridade estrutural foi comprometida pela corrosão, degradação, instalação inadequada ou defeitos de fabricação.

4. TÉCNICAS NÃO-DESTRUTIVAS NO PLANEJAMENTO DA REABILITAÇÃO

Com o envelhecimento dos sistemas de abastecimento de água, os gerenciadores das redes têm dado mais importância no planejamento de reabilitação de tubos. O principal objetivo do planejamento é garantir o desempenho necessário do sistema, maximizando a economia e a eficiência da operação. Dependendo da gestão, pode-se defini-la em gestão pró-ativa de falha que visa à tomada de decisão preventiva da falha da tubulação, baseado no reparo e substituição da tubulação. Caso contrário, a gestão reativa de falha utiliza as técnicas de substituição e reparos como forma de correção após o rompimento ou dano da tubulação.

Na gestão pró-ativa, a seqüência de ações começa no ponto 1, na figura 6. Os resultados obtidos a partir da avaliação são, então, utilizados para estimar a probabilidade de uma falha ou a vida residual do tubo. A estimativa do risco da falha mostrará se o tubo precisará ser substituído ou reparado. O tempo de reabilitação pode ser programado a curto ou longo prazo. Alternativamente, o tempo para a próxima inspeção (avaliação da condição) estará definido. A gestão pró-ativa é uma parte de uma estratégia do planejamento de reabilitação. Um dos principais desafios no processo de planejamento de reabilitação é a compreensão do processo de deterioração. Idealmente, se a gestão

pró-ativa é eficiente, todos os tubos contidos devem ser prevenidos. No entanto, no caso de ocorrer uma falha em um tubo, medidas reativas devem ser tomadas.

Caso não se adote uma gestão pró-ativa para a manutenção, o método tem como início o ponto 2 da figura 6. Como já foi mencionado, as medidas reativas são tomadas quando um controle pró-ativo não obtiver eficiência. O primeiro passo da gestão reativa é detectar a falha. Depois, a localização da falha identificará os problemas e danos para que então sejam analisadas isoladamente. O reparo ou substituição do tubo danificado é o último passo na gestão reativa. Após o reparo ou substituição, o tubo retorna à rotina do ponto inicial.

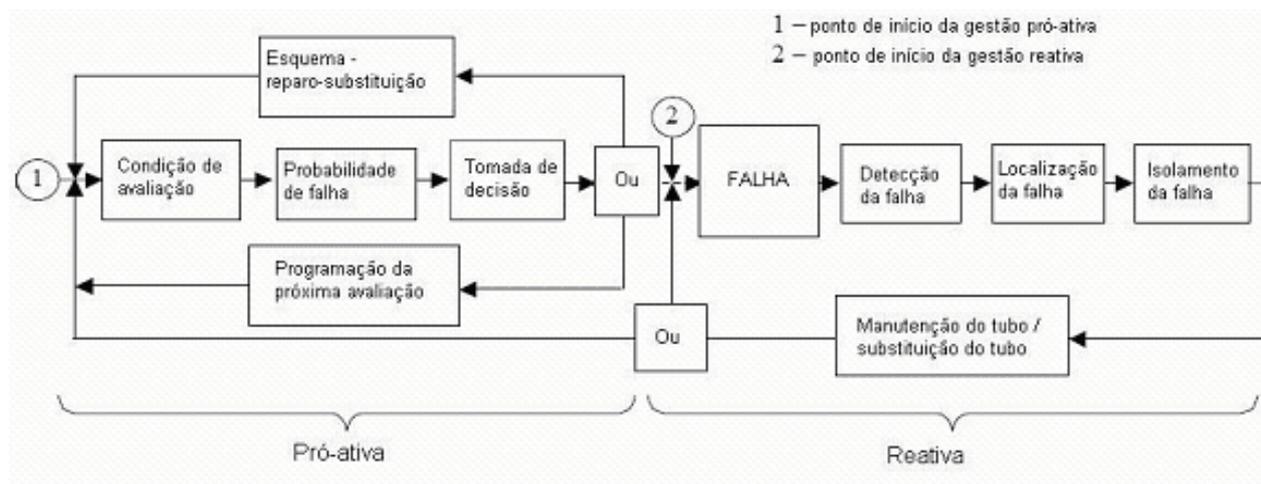


Figura 6– Ciclo de controle da falha dos tubos.

Fonte: Misiunas Dalius (2005)

De forma a auxiliar o planejamento da reabilitação de um sistema de tubulações das redes de distribuição de água, as técnicas não destrutivas de inspeção e avaliação podem ser empregadas.

Os tubos de abastecimento de água são difíceis de inspecionar devido à sua localização abaixo da superfície do solo. Contudo, as técnicas de inspeção são úteis na reparação e na substituição dos tubos. Uma abordagem direta é um tipo de inspeção e controle, também chamada de técnicas não-destrutivas (TND) que auxiliam a avaliação da condição das tubulações.

As técnicas não-destrutivas permitem detectar e avaliar defeitos do material sem perturbar o modelo estrutural da superfície. Atualmente, a técnica não-destrutiva é utilizada para a inspeção em serviço, desde o acompanhamento até a medição dos componentes e as suas propriedades físicas. Em geral, as técnicas podem ser divididas em duas categorias principais, os Métodos Visuais e os Métodos Não-Visuais.

Entre os Métodos Visuais mais importantes podem ser destacados o circuito fechado de televisão e os sistemas de escaneamento baseados no laser, como descritos a sequência.

(1) Circuito fechado de televisão – CFTV (“Closed-circuit television”)

A inspeção CFTV é o padrão simples para inspeção de interiores de tubos. A minúscula superfície interior do tubo é filmada durante a inspeção e as imagens são analisadas por um engenheiro. O engenheiro detecta e classifica a gravidade dos defeitos conforme os critérios documentados. Durante a inspeção CFTV, alguns defeitos podem não ser detectados por estarem escondidos sob alguma obstrução. A avaliação depende, portanto, da experiência do engenheiro e da qualidade da imagem. Tais fatos podem levar a erros no acompanhamento do processo de deterioração.

(2) Sistemas de escaneamento baseados no laser – SEBL (“Laser-based scanning systems”)

O método está atrelado com o CFTV para aumentar a precisão da inspeção. Este método, em teoria, pode tornar as avaliações do estado dos tubos de água extremamente precisos. O equipamento pode ser acoplado com algoritmos automatizados de detecção e classificação de defeitos tubo conforme demonstrado por Duran et al (2003). O laser adiciona análises em tempo real e capacidade de inspeção visual do processo reduzindo o custo dos testes. No entanto, a tecnologia ainda está na sua fase de desenvolvimento.

Já, entre os Métodos Não-Visuais pode-se destacar o teste ultra-sônico, o sinal eletromagnético, o georadar, os radares infiltrados, a emissão acústica e, finalmente, a medição de solos corrosivos, também descritos a seqüência.

(1) Teste Ultrasônico – TU (“Ultrasonic testing”)

A inspeção ultra-sônica é realizada através de um feixe de alta frequência. O som propaga pelo objeto a ser inspecionado e se reflete sempre que há uma mudança na densidade do material. Os intervalos de trânsito das ondas que percorrem a parede do tubo são medidas. Um típico método de análise consiste em utilizar sensores piezoelétricos que produzem pulsos sonoros para medir o tempo percorrido entre o sensor e a superfície do tubo. A técnica é capaz de detectar falhas, vazios e fissuras. De acordo com FRAEND (2009) e Andreucci (2005), a técnica do ultra-som é vantajosa devido ao baixo custo do investimento, a praticidade da técnica e a obtenção eficaz dos resultados. Além disso, esta técnica possui vantagens em relação a outras. A inspeção ultra-sônica possui alta sensibilidade na detecção de pequenas discontinuidades internas.

Ademais, a localização, o tamanho e a interpretação das discontinuidades encontradas são definidos nesta inspeção. Contudo, define-se o tamanho de um defeito, mas não sua profundidade, que é, em muitos casos, um fator importante para proceder um reparo.

Outras limitações são verificadas, como requerer grande conhecimento teórico e experimental por parte do inspetor. Também, o registro permanente do teste não é facilmente

obtido, as espessuras muito finas constituem uma dificuldade para aplicação do método e, sobretudo, requer o preparo da superfície para sua aplicação.

(2) Sinal eletromagnético - SE(“Remote field eddy current”)

O emprego do sinal eletromagnético (Atherton (1995) e Haugland (1996), citados por Misiunas Dalius (2005)) se baseia em medições da atenuação e atraso de fase de um sinal eletromagnético, uma vez que passa ao longo da espessura da parede de um tubo metálico. O sistema típico consiste de um excitador e detector de bobinas que são colocadas dentro do tubo a alguma distância (2 a 3 diâmetros) entre si. A bobina gera um campo eletromagnético externo que viaja através da parede do tubo. Porém sua intensidade é atenuada rapidamente por causa do campo induzido gerado pela parede do tubo. As mudanças na atenuação do campo dependem da espessura da tubulação e, portanto, a medição da atenuação do campo pode ser usada para calcular a espessura da parede do tubo. Como afirmam Rajani e Kleiner (2004), existem algumas desvantagens no método. Este só pode ser utilizado para tubos metálicos e requer uma prévia limpeza da tubulação interna.

(3) Georadar

A técnica do Georadar é baseada na medição do tempo de passagem e atenuação do sinal eletromagnético que viaja através da espessura do tubo. A técnica é aplicável para tubos não-metálicos, tais como fibro-cimento, pelos quais camadas internas e externas são formadas durante a degradação na superfície da parede do tubo. As propriedades de cada camada podem ser determinadas a partir dos intervalos de passagem e da força eletromagnética que podem ser identificadas no sinal medido pelo georadar. A aplicação da técnica em fibro-cimento (AC) é descrita em tubulações por Slaats (2004), citado em Misiunas Dalius (2005). Ela pode ser aplicada sem interromper o funcionamento do encanamento, embora a seção do tubo deve ser descoberta.

(4) Radares Infiltrados - RI(“Ground penetrating radar”)

É considerada uma técnica não-destrutiva comprovada para inspeção e localização de objetos enterrados. Os radares operam a transmissão de pulsos de altas frequências de rádio (energia eletromagnética) estabelecidos no solo através de um transdutor ou antena. A energia transmitida é refletida de vários objetos enterrados ou contatos entre distintos materiais do solo. A antena, em seguida, recebe as ondas refletidas e armazena-os no controle digital. O sinal do RI pode ser medido a partir da superfície do solo ou do interior de um tubo. Os radares são deslocados ao longo do comprimento da tubulação e a imagem é captada. Uma das desvantagens da técnica é a dificuldade das interpretações. A inspeção não fornece extensas informações a respeito da condição do tubo. No

entanto, ele pode ser usado em combinação com um sistema para avaliar as propriedades físicas e eletromagnéticas dos tubos.

(5) Emissão acústica - EA (“Acoustic emission monitoring”)

O método requer a audição dos sons que são emitidos pela estrutura testada. Normalmente, um ou mais hidrofones estão anexados no tubo e os sinais adquiridos são analisados com a ajuda do computador. O ruído pode ser gerado pelo atrito, pelo crescimento da rachadura, turbulência e corrosão. A técnica é especialmente adequada para tubos de concreto protendido no qual o som é gerado pelos rompimentos das barras internas. Os hidrofones estão instalados, com um intervalo de 300 m para acompanhar continuamente a emissão acústica do tubo para reforçar as barras da falha. A pressão no tubo é alterada em uma seqüência de quatro níveis de carga: carga inicial, aumento da carga, carga intermediária e diminuição da carga. A técnica acompanha todo o ensaio e os dados adquiridos são analisados para distinguir os sinais gerados por deformação plástica, rachadura e crescimento de fadiga.

(6) Medição de solos corrosivos/semi-célula potencial

Neste método, as análises do solo identificam áreas onde as células de corrosão podem facilmente se desenvolver, permitindo uma estimativa da taxa de corrosão. A medição semi-célula potencial pode dar informações sobre o estado do tubo e a sua tendência a sofrer oxidação em um determinado ambiente.

A Associação Americana de Tubos de Ferro Fundido desenvolveu um processo para este teste baseado em cinco diferentes medições do solo, incluindo resistividade, pH, potencial de redução, conteúdo de sulfeto e nível de umidade. Como cada um desses parâmetros do solo têm diferentes contribuições para a corrosão, um ponto de classificação é utilizado para avaliar os perigos de corrosão que um determinado solo apresenta para um tubo. Cada parâmetro é avaliado por uma determinada amostra de solo e o número total de pontos é calculado para obter o valor da agressividade do solo (VAS). Se VAS está dez pontos ou mais, o solo é considerado corrosivo para o ferro fundido. Se VAS for menos que dez, indica que a corrosão não é considerada um problema grave e que a proteção do tubo pode não ser necessária.

A resistividade do solo é o mais importante parâmetro do VAS, porque indica uma tendência da taxa de corrosão. A baixa resistividade do solo permite um maior fluxo de corrente entre o ânodo e o cátodo, produzindo uma maior perda do metal. Cada metal tem seu próprio potencial para um determinado ambiente. Em geral, quanto mais negativo for o potencial, mais elevada é a tendência a corrosão. As áreas de corrosão ao longo do tubo podem ser determinadas

pela técnica da semi- célula potencial. As medições freqüentes devem ter intervalos pequenos para localizar áreas específicas de corrosão.

Na tabela 1 estão listados os testes não destrutivos, o material das tubulações que podem ser aplicados, a precisão, bem como algumas observações importantes.

Tabela 1 – Comparação entre as técnicas não – destrutivas.

Método	Material do Tubo	Precisão	Observação
CFTV	Todos	Baixa	maior disponibilidade
SEBL	Todos	Alta	tempo real de obtenção de dados
Teste Ultrasônico	Metálico	Alta	requer limpeza, acessibilidade
Sinal Eletromagnético	Metálico	Média	requer limpeza
Georadar	Fibrocimento	Média	tubo deve ser descoberto
Radares infiltrados	Todos	Baixa	dificuldade na análise dos dados
AE Emissão Acústica	Concreto	Média	elevado custo da instalação
Medição de solos Corrosivos	Protendido	Média	elevado custo da instalação
	Metálico	Média	elevado custo da instalação

8. ANÁLISE

As características das técnicas não-destrutivas apresentadas estão resumidas na tabela 1. Historicamente, as técnicas não-destrutivas foram desenvolvidas para tubulações de petróleo, nas quais a inspeção, o orçamento e o risco da falha são consideravelmente maiores que em sistemas de abastecimento de água.

Verifica-se que uma série de técnicas exige a limpeza do interior das tubulações. As tubulações de água, muitas vezes, têm um acúmulo de tuberculose no interior da parede e, portanto, a limpeza seria necessária antes de inspeção. Tal fato aumenta ainda mais o custo da inspeção. Além disso, deve-se levar em consideração que os usuários são relutantes perante quaisquer perturbações devido às preocupações com a qualidade da água.

Dentre as técnicas estudadas, percebe-se maior viabilidade das técnicas do ultra-som e do circuito fechado de televisão. Foi verificado que a técnica do ultra-som possui, em comparação com as demais técnicas, facilidade na execução do ensaio, velocidade de ensaios, alta sensibilidade, ampla gama de espessuras de tubulações que podem ser ensaiadas, além de menor investimento inicial. Contudo, a escolha do equipamento, transdutores e os procedimentos de ensaio requerem um cuidadoso estudo para que se obtenha o nível de sensibilidade requerido e a correta interpretação do resultado.

No caso da técnica de inspeção CFTV, esta, normalmente, é feita manualmente o que é extremamente trabalhoso. Dado que a gama da inspeção CFTV é de apenas cerca de 300 metros de cada lado do ponto de acesso, um grande número de pontos de acesso é necessário. A combinação

destes fatores e as questões da qualidade da água devido a perturbação do interior das tubulações fazem com que alguns gerenciadores das redes evitem o seu uso.

Considerando-se que os principais requisitos para a avaliação das condições do sistema de tubulações são o baixo custo e a rápida inspeção, nenhuma das técnicas não-destrutivas existentes, a princípio, satisfazem estes critérios. Porém, a análise dos resultados dos ensaios não-destrutivos permite analisar a integridade física do sistema de abastecimento de água.

Assim, torna-se necessário aprimorar as técnicas não destrutivas existentes. O aprimoramento das técnicas não destrutivas de inspeção e o desenvolvimento de um modelo matemático eficaz de manutenção preventiva auxiliarão a gestão pró-ativa da reabilitação das tubulações. Cabe ressaltar que o emprego sistemático e frequente das técnicas não destrutivas de inspeção aumentarão a viabilidade econômica das mesmas.

9. CONCLUSÕES

Atualmente, as empresas gerenciadoras do sistema de distribuição de água não praticam de forma sistemática a reabilitação destes sistemas. Manter um sistema de distribuição de água eficiente e confiável é essencial para uma infra-estrutura básica sólida, que é interdependente com o crescimento econômico no longo prazo e com a prosperidade da nação. Os recursos públicos, cada vez mais escassos, e o envelhecimento dos sistemas de abastecimento de água tornam a reabilitação uma discussão essencial.

Para realizar a avaliação de um sistema de distribuição de água, é necessário que as condições das tubulações de água apresentem segurança operacional, confiabilidade e eficiência como forma de indicativos do funcionamento adequado do sistema. As técnicas de avaliação não-destrutivas podem ser aplicadas para obter os parâmetros necessários para a modelagem da deterioração física das tubulações, além de fornecer o estado em que se encontram as tubulações. É importante destacar que as técnicas existentes, bem como novas técnicas de inspeção, oferecendo alta relação custo/benefício, com resposta rápida da condição do sistema, sejam desenvolvidas.

Verifica-se que a utilização da técnica CFTV (circuito fechado de televisão) juntamente com a técnica de escaneamento a laser ou, alternativamente, o ultra-som fornecerão dados a respeito das tubulações em serviço. O ultra-som oferece maior agilidade na inspeção, o que o torna uma ferramenta útil para a reabilitação das tubulações.

Nota-se a dificuldade em estabelecer com precisão a previsão da falha, como forma de auxiliar a reabilitação das tubulações, dadas as incertezas com relação aos dados operacionais como o surgimento de transitório hidráulico, a presença de vazamentos, a má instalação, a falta de suporte

do tubo, a presença de corrosão. Além disso, há uma grande variabilidade por toda a rede de distribuição.

O desenvolvimento de um modelo para analisar as tensões atuantes na tubulação, associado com as técnicas não-destrutivas de inspeção facilitarão as práticas de gestão pró-ativas destes sistemas. Neste sentido, um modelo de previsão de falha que leva em consideração as condições de operação e as características das tubulações está em estudo.

O alto custo da adoção de medidas pró-ativas no gerenciamento dos sistemas inibe o seu emprego no Brasil. Contudo, com o aumento da frequência da adoção de medidas pró-ativas de gestão, a tendência é a queda nos custos da implantação. Além disso, haverá uma significativa melhora nos serviços ofertados, pois menos rompimentos nas tubulações significam menos interrupções no fornecimento e menos desperdício de água tratada. Dessa forma, despertar-se-á cada vez mais incentivo à pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela oportunidade de realizar um trabalho científico através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e a FAPESP por Bolsa de pesquisa no Exterior (Proc.07/51750-9).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreucci, R. (2008). Apostila Industrial – Ensaio por ultra-som, apoio ABENDE – Associação Brasileira de Ensaio Não-destrutivos e Inspeção. www.abende.org.br.

_ Atherton, D. (1995). Remote field eddy current inspection, *IEEE Transactions on Magnetism*.31(1):4142-4147.

- Duran, O., Althoefer, K., Seneviratne, L. (2003). Pipe inspection using a laser-based transducer and automated analysis techniques, *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions*.8(3): 401-409.

- FRAEND – Consultoria, Inspeção e Treinamento, <http://www.fraend.com.br/>, acessado em 05/2009.

- Haugland, S. (1996). Fundamental analysis of the remote-field eddy-current effect, *IEEE Transactions on Magnetism* 32(4-part-2): 3195–3211.

- Kleiner, Y., Rajani, B. (2001). Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models, *Urban Water* 3(3): 131–150.
- Khomsi, D., Walters, G. A., Thorley, R. D. and Ouazar, D. (1996). Reliability tester for water-distribution networks, *Journal of Computing in Civil Engineering* **10**(1): 10–19.
- Makar, J. and Kleiner, Y. (2000). Maintaining water pipeline integrity, AWWA Infrastructure Conference and Exhibition, Baltimore, Maryland, USA, March.
- Misiunas Dalius (2005). Failure Monitoring and Asset Condition Assessment in Water Supply Systems, Department of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University, Box 118 SE-221 00 LUND ISBN 91-88934-40-3.
- O’Day, D. (1982). Organizing and analyzing leak and break data for making main replacement decisions, *Journal of American Water Works Association*. vol 74. pp.588-594.
- Rajani, B.B.; Kleiner, Y. (2004). Non-destructive inspection techniques to determine structural distress indicators in water mains. In: Evaluation and Control of Water Loss in Urban Water Networks (Valencia, Spain), pp. 1-20, June.
- Slaats, P., Mesman, G., Rosenthal, L. and Brink, H. (2004). Tools to monitor corrosion of cement-containing water mains, *Water Science and Technology*.