

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE TUBULAÇÕES METÁLICAS DE GRANDE DIÂMETRO DENTRO DO PLANO DE GESTÃO DE ATIVOS DE LONGO PRAZO DE UMA BELA CIDADE.

Justin Hebner⁽¹⁾

Engenharia Mecânica, British Columbia Institute of Technology
Gerente Regional de Vendas
8 anos em desenvolvimento de negócios na Pure Technologies Ltd., a Xylem Brand

Josh Greenberg⁽²⁾

Engenharia Ambiental, University of Guelph
Engenheiro de avaliação de condições
6 anos na Pure Technologies Ltd., a Xylem Brand

Sonia Mucciolo⁽³⁾

Engenheira Materiais-Química pela Universidade Mackenzie
Mestrado em Engenharia Ambiental pelo Politecnico di Torino – Itália
Gerente de Desenvolvimento de Negócios da Xylem Brasil
20 anos na área de soluções para Água e Efluentes.

Manuel Gustavo Valverde⁽⁴⁾

Engenheiro Civil, Universidade Nacional de Engenharia, Lima-Perú
Project Manager Professional (PMP), Project Manager Institute
Gerente de projetos sênior na Xylem
Mais de 15 anos na avaliação de tubulações de grande diâmetro – América Latina e outras regiões

Endereço⁽³⁾: Rua Telmo Coelho Filho, 40 – Jardim Albano – São Paulo - SP - CEP: 05543-020 - Brasil - Tel: +55 (11) 3732-0150 - e-mail: Sonia.Mucciolo@xylem.com

RESUMO

A cidade de Saskatoon (Saskatchewan, Canadá) fornece água para 320.000 moradores através de 1.192 km de adutoras. A Prefeitura avalia esses ativos lineares dentro de um plano de gestão de ativos de longo prazo que contribuiu para a redução dos rompimentos (198 em 2020 em comparação com uma média de 10 anos de 239 por ano).

Em 2.020 foram inspecionados 7,8 km de adutoras de aço de grande diâmetro (600 mm a 1050 mm). A avaliação de tubulações metálicas de grande diâmetro foi uma expansão do programa geral de inspeção da cidade, que se concentrou principalmente nas adutoras de concreto protendido (PCCP, padrão C-301) de alto risco. A inclusão das adutoras metálicas no plano foi impulsionada pela recém-desenvolvida tecnologia de inspeção de deslocamento livre de alta resolução que forneceria à cidade os dados necessários para tomar decisões mais assertivas sobre esses ativos críticos.

Nessa ocasião foram utilizadas múltiplas tecnologias para medir a espessura e ovalidade da parede, avaliar o revestimento e detectar vazamentos, sempre com as adutoras em serviço. Foram ainda realizadas análises estruturais e de vida útil remanescente para auxiliar nas recomendações de reparos, intervalos de reinspeção e expectativa geral de vida útil estimada da tubulação.

PALAVRAS-CHAVE: inspeção estrutural, plano gestão de ativos, detecção de vazamento.

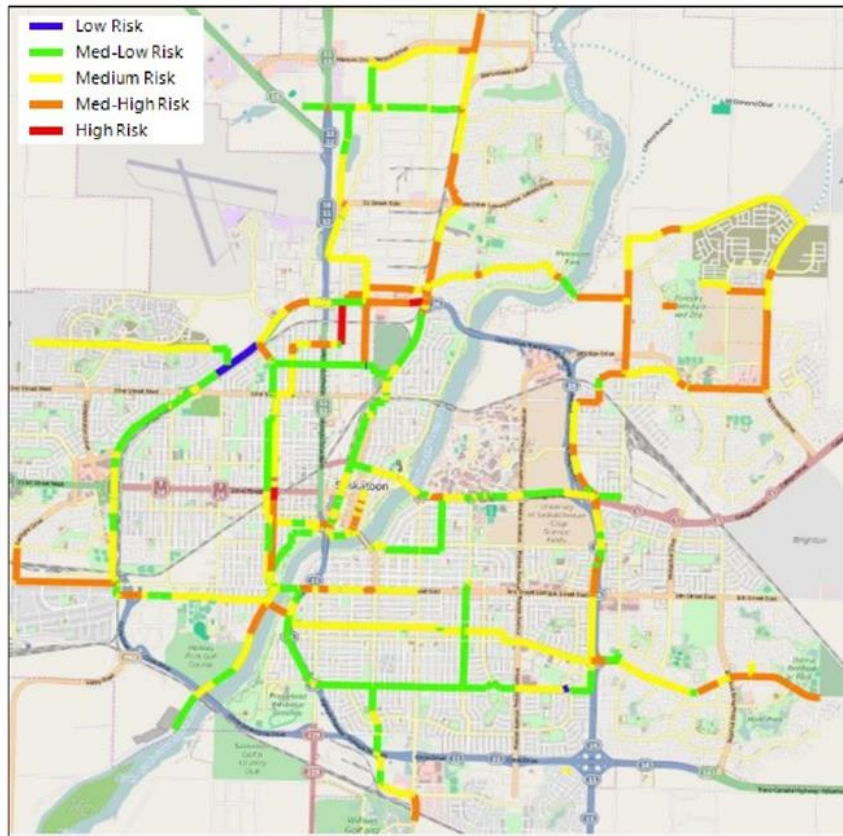
INTRODUÇÃO

Quando se trata de adutoras, ser proativo é entender o risco e tomar decisões informadas para um serviço seguro, confiável e acessível. A cidade de Saskatoon está realizando um programa proativo de avaliação da condição para manter sua antiga rede primária de água. Agora, novas tecnologias de avaliação de dutos metálicos permitiram à Prefeitura ampliar seu programa.

O rio Saskatchewan do Sul flui através do centro de Saskatoon, abastecendo a cidade com água potável e garantindo-lhe o título – Cidade das Pontes. A cidade de Saskatoon trata e fornece água para cerca de 318.000 habitantes na província canadense de Saskatchewan.

A cidade opera mais de 1.190 quilômetros de tubulações de água. Isso inclui 119 quilômetros de adutoras primárias de grande diâmetro com um valor de substituição de CA\$ 282 milhões (dólares canadenses). Em 2014, a Prefeitura identificou e priorizou suas adutoras primárias de alto risco, criando um sistema de classificação usado para priorizar as tubulações para avaliação de sua condição anualmente. Um mapa de risco priorizado é mostrado na Figura 1.

Figura 1. Mapa de Risco da Adutoras Primárias da Cidade de Saskatoon (119 km ou 74 milhas)



Fonte: Prefeitura de Saskatoon, Relatório Anual 2020.

Seu plano de gestão de ativos de longo prazo ajudou a reduzir o número de rompimentos das adutoras em todo o sistema de distribuição. Em 2020, foram 198 rompimentos em comparação a média de 10 anos de 239 por ano (resumido na Figura 2). A manutenção e renovação direcionadas da tubulação está melhorando a confiabilidade do sistema e a satisfação do cliente.

Figura 2. Rompimentos em tubulações de água por ano



Fonte: Prefeitura de Saskatoon, Relatório Anual 2020

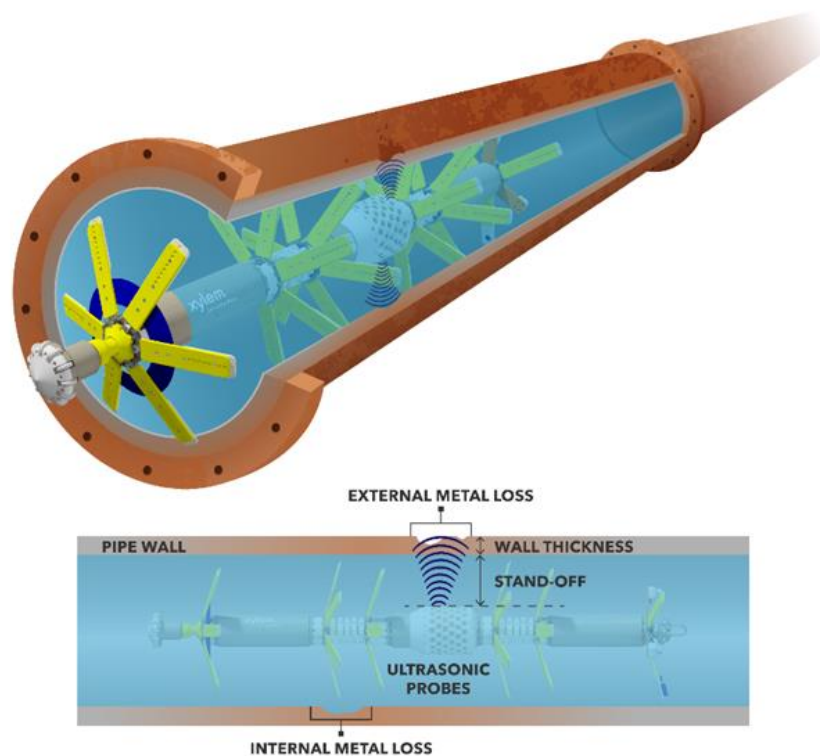
OBJETIVO

A avaliação de 7,8 quilômetros de adutoras em 2020 utilizou tecnologias para medir a espessura da parede metálica da tubulação, a possível ovalidade da seção, avaliar o revestimento e fornecer detecção de vazamentos, tudo isso enquanto mantinha a tubulação de água em serviço. Além disso, análises estruturais e de vida útil remanescente foram conduzidas para auxiliar nas recomendações de reparo, intervalos de reinspeção e expectativa de vida útil global estimada da tubulação.

METODOLOGIA

As redes de água primárias são críticas para Saskatoon. A Prefeitura precisava de métodos de inspeção que pudessem localizar e quantificar defeitos na tubulação sem retirar a rede de serviço. Desenvolvimentos recentes na tecnologia de inspeção de tubulações metálicas de água (ver Figura 3) permitiram que a cidade gerenciasse o risco de forma mais eficaz em toda a sua rede de transmissão.

Figura 3. Dispositivo de avaliação ultrassônica da condição, de nado livre em linha



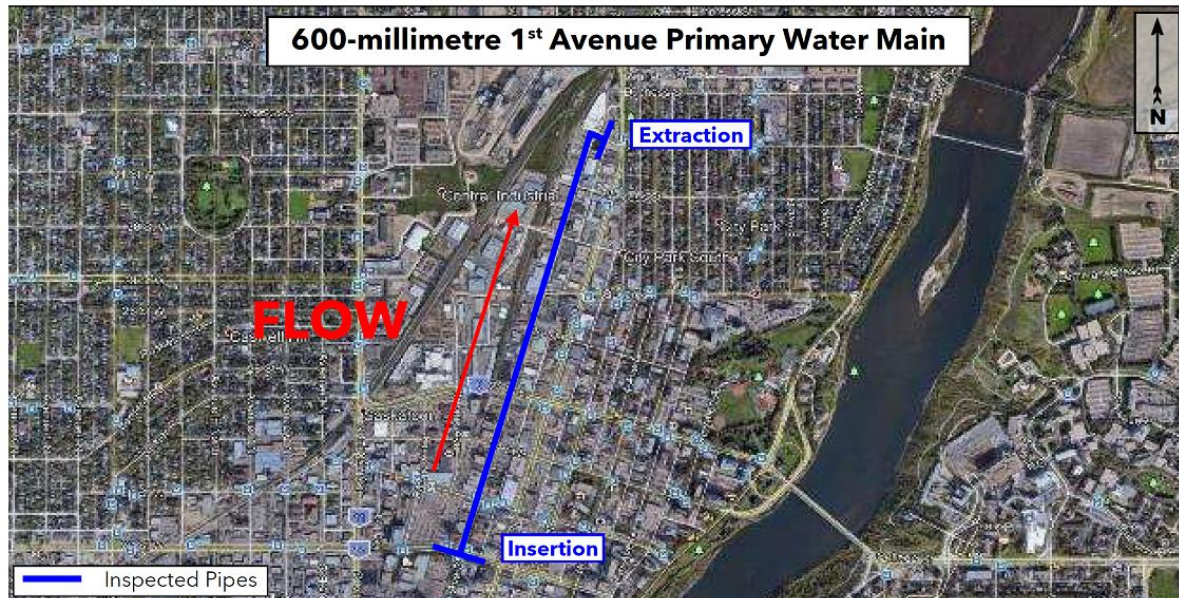
Fonte: Fabricante do dispositivo de inspeção estrutural por método ultrassônico, patenteado.

COLETA DE DADOS EM TUBOS DE AÇO

A tubulação de água da 1st Avenue tem 600 milímetros (24 pol.) de diâmetro e atravessa o centro de Saskatoon. A tubulação Acadia Fill de 1.050 milímetros (42 pol.) é não redundante e vai da Estação de Tratamento de Água de Saskatoon, sob o rio South Saskatchewan, e através de bairros bem estabelecidos na parte sudeste da cidade. Devido à localização e ao tamanho destas tubulações, uma falha pode resultar numa perturbação significativa da comunidade.

A cidade de Saskatoon fez uma parceria com a Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, para avaliar 1,43 quilômetros (0,9 milhas) da tubulação da 1st Avenue (ver Figura 4) e 6,35 quilômetros (4 milhas) do duto Acadia Fill (ver Figura 5).

Figura 4. Extensão do Alinhamento e da Inspeção da Adutora Primária da 1st Avenue



Fonte: Relatório de inspeção da Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

Figura 5. Extensão do Alinhamento e da Inspeção da Rede Principal Acadia Fill



Fonte: Relatório de inspeção da Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

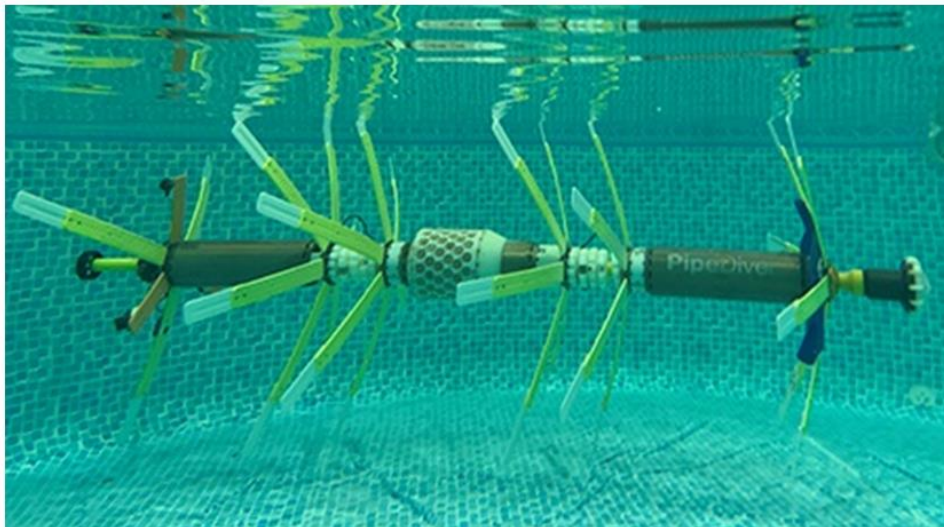
Primeiro, a pressão foi monitorada continuamente em ambas as tubulações por pouco mais de 50 dias usando monitores de pressão transiente capazes de registrar em frequências tão altas quanto 256 hertz. Os transientes de pressão observados em ambas as tubulações são indicativos de partida e desligamento da bomba. Um potencial para pressões negativas ao longo da tubulação Acadia foi identificado quando o monitor de pressão transiente detectou pressões próximas de zero. Pressões negativas podem levar ao aumento do risco de falha devido à flambagem e justificam uma investigação mais aprofundada nesta tubulação.

O monitoramento de pressão transitória ajuda as concessionárias a entenderem a carga interna no sistema durante as operações diárias. Ao identificar as condições operacionais que causam transientes de pressão, as concessionárias podem tomar medidas para mitigá-los.

Em seguida, a equipe usou a plataforma de detecção de vazamentos para inspecionar os dutos em busca de vazamentos e bolsas de ar. Essa plataforma é um dispositivo de inspeção acústica em linha que roda ao longo da parte inferior da tubulação ouvindo o sinal acústico característico de um vazamento. A corrosão em pequenos pontos (pitting) e a fissuração podem causar vazamentos em tubos de aço. Identificar e reparar vazamentos numa fase inicial pode evitar problemas maiores. A detecção de vazamentos também reduz a perda de água e economiza energia associada ao tratamento e bombeamento de água potável.

A equipe então fez uso de dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico para medir a espessura da parede dos tubos de aço e identificar e localizar a corrosão. A tecnologia ultrassônica permite medições de perda de parede interna e externa de alta resolução. A perda de parede diminui a resistência total de um tubo de aço, e a corrosão é a principal causa de falha em tubos metálicos (Fitzgerald III, John H. 1968). As Figuras 6 e 7 abaixo mostram o dispositivo sendo preparado para uma inspeção, incluindo o balanceamento da ferramenta para garantir a coleta de dados de alta qualidade e a passagem ideal dos acessórios da adutora.

Figura 6. Preparação da inspeção da tubulação 1st Avenue: balanceamento da ferramenta



Fonte: Registro de trabalhos de campo da Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

Figura 7. Preparação da inspeção da tubulação 1st Avenue: inserção no local

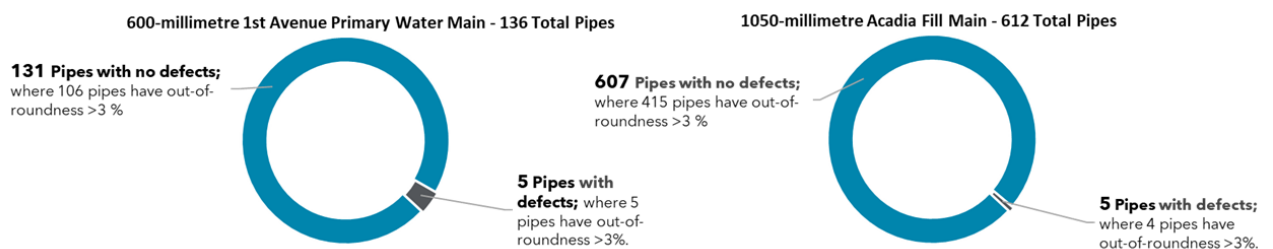


Fonte: Registro de trabalhos de campo da Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

RESULTADOS

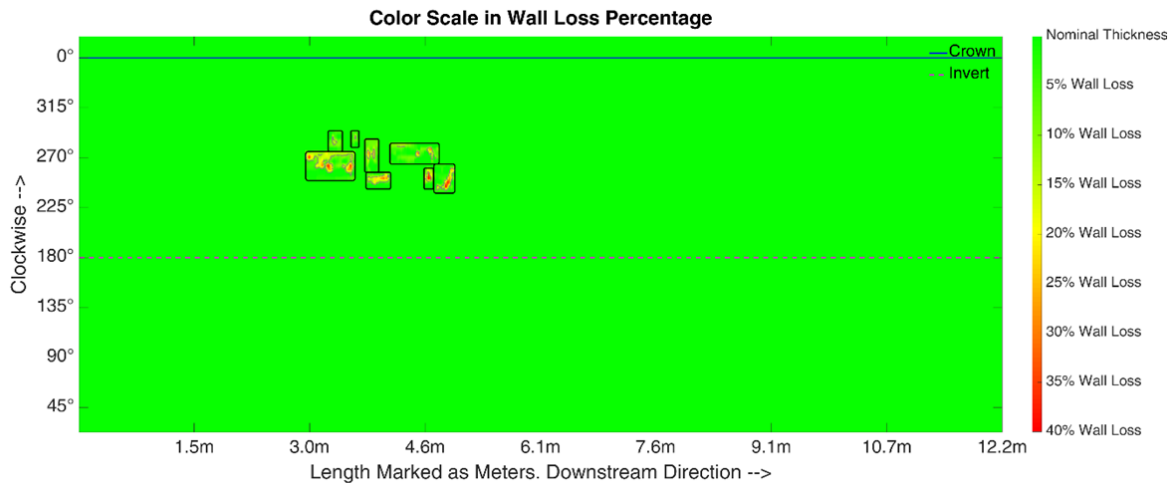
Em cada tubulação, o dispositivo identificou cinco tubos com perda de parede externa. Isso representa menos de dois por cento do total de tubulações inspecionadas em ambos os dutos. Na tubulação Acadia Fill, o tubo 10573 tinha várias áreas localizadas de corrosão. O defeito mais grave foi de 2500 centímetros quadrados (385 polegadas quadradas) com uma perda máxima de parede de 40 por cento. Os resultados da inspeção estão resumidos na Figuras8 abaixo e o diagrama de visualização da parede do tubo (mapa de calor) é mostrado na Figura 9.

Figura 8. Resultados da inspeção ultrassônica



Fonte: Relatório de inspeção da Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

Figura 9. Diagrama de visualização de perda de parede de tubulação (mapa de calor) gerado a partir dos dados da ferramenta de avaliação de condição ultrassônica. Barra à esquerda mostra a posição do relógio de tubo (180° é igual a inverter), barra à direita é a escala de cores na porcentagem de perda de parede.



Fonte: Relatório de inspeção da Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

O dispositivo de avaliação ultrassônica de condição também descobriu que ambas as tubulações continham um número significativo de tubos com uma ovalidade superior a cinco por cento, tornando-os mais suscetíveis a danos de revestimento. As câmeras a bordo do dispositivo identificaram várias seções com delaminação do recobrimento interno (veja a Figura 10).

Figura 10. Deterioração do recobrimento ao longo da adutora da 1st Avenue



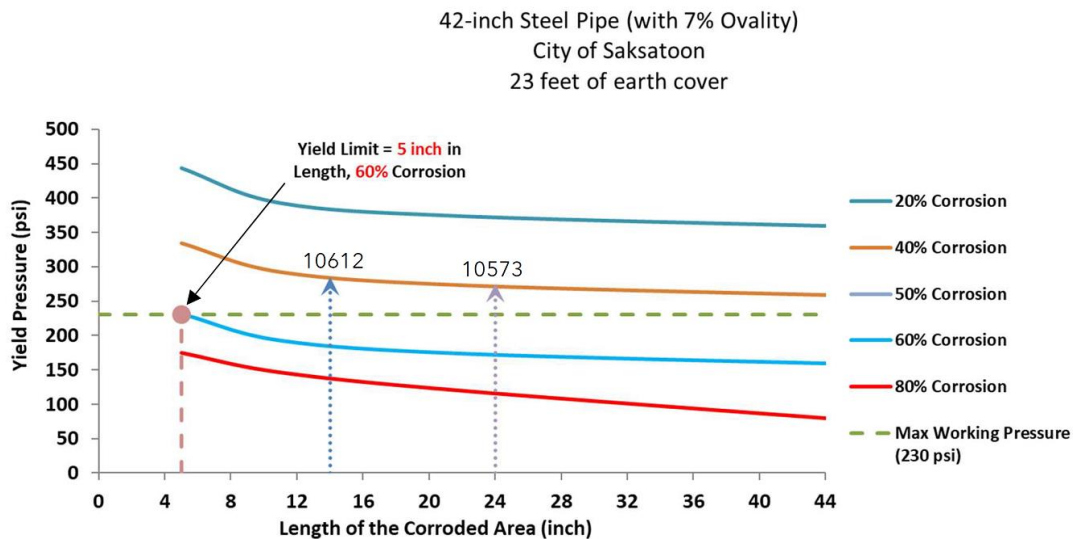
Fonte: Relatório de inspeção da Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

Embora os tubos de aço sejam flexíveis, eles podem se deformar, trincar ou até mesmo dobrar sob carga excessiva. Tubos com perda de parede são mais vulneráveis às ameaças causadas por ovalidade. Por sua vez, os danos no revestimento causados pela ovalidade tornam a tubulação mais suscetível à corrosão. Medir esses conjuntos de dados juntos ajuda às empresas operadoras desses sistemas a entender melhor o risco geral para a tubulação.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, realizou três análises estruturais nas tubulações utilizando os resultados da inspeção e monitoramento. Tanto a adutora Primária da 1st Avenue quanto a adutora Acadia Fill apresentavam alguns defeitos, mas análises confirmaram que nenhuma tubulação necessitava de reparo ou substituição imediata. Havia dois tubos de preocupação na adutora Acadia Fill como mostrado na análise tridimensional não linear de elementos finitos (FEA) na Figura 11. Localizado sob uma grande rodovia em uma tubulação não redundante, a consequência de uma falha para esses tubos é alta. A análise por elementos finitos determina a severidade de corrosão e a ovalidade que excederiam o limite de escoamento de um tubo de aço.

Figura 11. Curva de Desempenho da Análise de Elementos Finitos (FEA) para a Curva de Acadia Fill sob a Rodovia 16

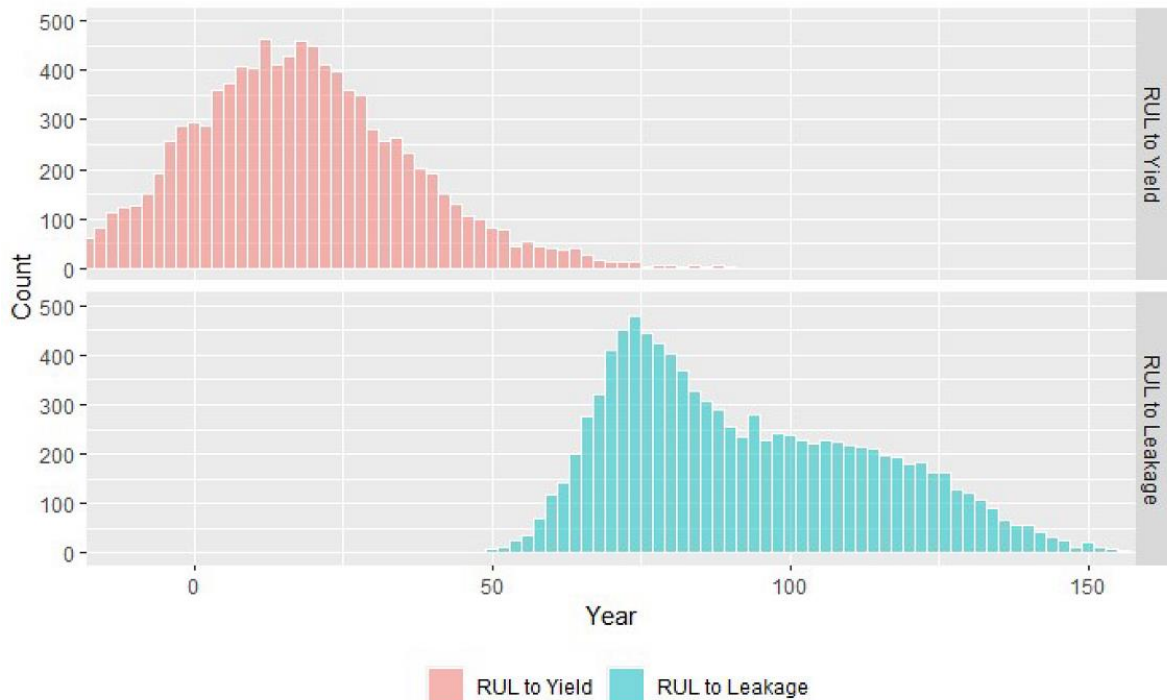


Fonte: Relatório de avaliação de condição da Tubulação, Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

O tubo 10576 a adutora Acadia Fill teve a maior ovalidade (12%) de todos os inspecionados. Embora o tubo possa continuar operando em pressões normais de trabalho, a análise mostrou que ele atingiria seu limite de escoamento em 230 psi – a pressão máxima de operação mais a pressão de surto.

O tubo vizinho 10573 foi encontrado para ter a maior perda de parede na adutora Acadia Fill, com várias áreas de até 40 por cento de perda de parede. Com base em uma análise de vida útil remanescente; um modelo preditivo que ajuda a determinar a probabilidade de falha da adutora, tem 50% de chance de falhar nos próximos 16 anos (ver Figura 12 e Tabela 1).

Figura 12. Distribuição da vida útil remanescente (RUL) para o Tubo 10573 na adutora Acadia Fill



Fonte: Relatório de avaliação de condição da Tubulação, Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

Tabela 1. Resumo dos resultados do RUL para o tubo 10573 no enchimento principal de Acadia

Pipe Number	Catalog Based RUL	RUL to Structural Failure (Years)			RUL to Leakage (Years)		
		5 th Percentile	50 th Percentile	95 th Percentile	5 th Percentile	50 th Percentile	95 th Percentile
Pipe 10573	54	< 1	16	50	64	88	> 100

Fonte: Relatório de avaliação de condição da Tubulação, Fabricante do dispositivo patenteado de inspeção estrutural por método ultrassônico, 2020

A análise da vida útil restante ajuda a determinar os intervalos de reinspeção e a expectativa de vida útil estimada da tubulação. As cinco tubulações com defeitos na Adutora Primária da 1ª Avenida têm vida útil média remanescente de mais de 87 anos. No Enchimento Principal de Acadia, quatro dos tubos com defeitos têm uma vida útil média restante superior a 46 anos.

CONCLUSÕES

Com base em um dispositivo ultrassônico de nado livre de alta resolução para avaliação da condição, a cidade de Saskatoon expandiu seu programa de manutenção e substituição de adutoras direcionadas para incluir tubulações metálicas na distribuição de água.

Em 2020, a Prefeitura inspecionou um total de 7,8 km de adutora de água de aço (adutora 1st Avenue e Acadia Fill) com uma ferramenta de avaliação de condição ultrassônica recém-desenvolvida para medir as espessuras das paredes da tubulação, identificar corrosão e ovalidade, o que pode afetar o revestimento e a integridade estrutural. Os resultados das inspeções podem ser resumidos da seguinte forma:

- Foram identificados 5 tubos com perda de parede na adutora 1st Avenue, com área de defeito variando de 25 centímetros quadrados a 512 centímetros quadrados e com perda máxima de parede variando de 15% a 45%.

- Um total de 5 tubos foram identificados com defeitos na adutora Acadia Fill, com área de defeito variando de 50 centímetros quadrados a 2.501 centímetros quadrados e com perda máxima de parede variando de 15% a 40%.
- Foram detectados um total de 40 e 228 tubos com ovalidade máxima de 5% ou mais na adutora 1st Avenue e Acadia Fill, respectivamente. A ovalidade máxima detectada foi de 7% na adutora da 1st Avenue e de 12% na adutora Acadia Fill.

Embora alguns defeitos, incluindo perda de parede e ovalidade tenham sido encontrados tanto na adutora 1st Avenue quanto na adutora Acadia Fill, nenhum desses defeitos foi determinado para exigir reparo imediato ou substituição pela cidade de Saskatoon neste momento.

A cidade de Saskatoon agora tem os dados para tomar decisões informadas e mitigar o risco em duas adutoras críticas de aço. Por meio de seu programa proativo de gestão de ativos, a cidade está garantindo que os serviços de água atendam às necessidades e expectativas dos cidadãos de Saskatoon hoje e no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA (Associação Americana de Obras de Água). (2004) Steel Pipe: Um guia para projeto e instalação, Standard M11. Quarta Edição. AWWA, Denver, CO.
2. Ellison, D. (2019). Avaliação da Condição da Adutora de Água, Manual de Práticas de Abastecimento de Água - M77, American Water Works Association (AWWA), Denver, CO.
3. Fitzgerald III, John H. (1968). Corrosion as a Primary Cause of Cast-Iron Main Breaks, AWWA Journal, Vol. 60(8), agosto de 1968.
4. Relatório Anual de 2020 da Water and Wastewater Utilities, Cidade de Saskatoon, SK.
5. Wood, S. Hebner, J. and Greenberg, J. The Paris of the Prairies Leads the Way for Pipeline Management. Pipelines 2022: Construction and Rehabilitation Magazine; p 127 a 135, ASCE Library.