

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dissertação foi desenvolvida com o objetivo de apresentar uma metodologia para o gerenciamento da corrosão considerando um conjunto de práticas e recomendações existentes atualmente, oferecendo assim uma orientação aos operadores de duto.

Para isto foi efetuado um resumo e comparação das normas de integridade ASME B31.8S [10] e API 1160 [2] e o método de análise de risco em dutos de Muhlbauer [11]. A partir dos quais verificou-se que enquanto as normas de integridade consideram todas as etapas do gerenciamento de integridade do duto, Muhlbauer [11] apresenta em detalhes uma das etapas, o gerenciamento do risco – processo que envolve a avaliação de risco, atividades ligadas à manutenção, inspeção e reintegração dos dados para futuras análises de riscos. Além disso, foi observado que diferente do que ocorre na etapa de identificação de ameaças da norma ASME B31.8S [10] e do modelo de Muhlbauer [11], a API 1160 [2] não agrupa as ameaças em categorias.

Por meio das recomendações das normas de integridade, concluiu-se que para o gerenciamento da falha por corrosão em dutos é necessário: identificar os locais onde ocorre a corrosão do duto; coletar, revisar e integrar as informações relativas a esta ameaça; avaliar o risco; realizar inspeções e executar ações mitigadoras. Para adequar as alterações realizadas no sistema operacional do duto e verificar se as atividades recomendadas respondem às condições atuais do sistema, deve-se ainda avaliar e modificar o plano de gerenciamento da integridade de duto periodicamente. Também é recomendado um plano de comunicação interna e externa para divulgar prevenções, alterações e incidentes como também um controle de qualidade de todo programa de gestão de integridade.

Para o gerenciamento da corrosão em dutos é necessário conhecer os processos corrosivos. Assim, foram apresentadas as classificações utilizadas para corrosão em dutos considerando o mecanismo, morfologia, fenomenologia,

dimensionamento e gerenciamento. E, ainda que haja um número considerável de classificações, para o gerenciamento da corrosão são usadas as seguintes categorias: interna, atmosférica e externa.

Com a finalidade de prevenir e reduzir a taxa de corrosão, após conhecer as classificações utilizadas no gerenciamento da corrosão, foram listadas as práticas de prevenção recomendadas aos dutos. Ao selecionar os métodos de prevenção mais adequados é importante avaliá-los tecnicamente e economicamente e, igualmente devem ser considerados os gastos de manutenção, e os prejuízos causados, por exemplo, com vazamentos e contaminações.

No que diz respeito à inspeção de dutos, o teste hidrostático, a inspeção interna (ILI), a avaliação direta, a combinação destas técnicas ou o emprego de tecnologias equivalentes foram indicados aqui como métodos de avaliação de integridade de dutos para corrosão interna, externa e atmosférica. O método de avaliação direta só é recomendado para gasodutos, visto que apenas a norma ASME B31.8S [10] cita este tipo de inspeção.

Por meio da comparação técnico-econômica efetuada entre os métodos de avaliação de integridade foi constatado que quanto aos custos, o teste hidrostático é, pela interrupção da operação do duto, o método com o custo total mais alto. Em compensação, a inspeção interna tem os maiores custos nas atividades de preparação para inspeção. Além disto, em uma inspeção por pig os custos podem variar de acordo com a técnica utilizada, o conteúdo do relatório, a extensão e o diâmetro do duto. Vale ressaltar que os custos comparados referem-se à malha dutoviária dos EUA, pois não foram encontrados os custos para a malha brasileira.

Dentre os métodos de avaliação de integridade, o menos efetivo para corrosão é o teste hidrostático, tendo em vista que é mais indicado para ameaças estáticas, não dependentes do tempo. Por isso, ao empregar o teste hidrostático como ferramenta de avaliação de integridade o operador de dutos deve comprovar o cumprimento do programa de controle de corrosão. Além disso, o teste hidrostático é um método destrutivo que requer a interrupção da operação e, possibilita o crescimento subcrítico de trincas já iniciadas por fadiga, da corrosão sob tensão ou da corrosão.

O teste hidrostático e a inspeção interna podem ser utilizados para inspecionar toda a extensão do duto. No caso da avaliação direta, o emprego em toda a extensão só é válido se o comprimento total do duto for muito pequeno.

A inspeção interna é recomendada para linhas *pigáveis*, pois, além de não interromper a operação do duto, é possível com seus resultados dimensionar as anomalias, discriminar a natureza (interna/externa), monitorar a evolução ou surgimento de novas perdas de metal e ter um histórico de todas as anomalias ao longo de toda extensão do duto. Porém, a confiabilidade dos resultados depende da acurácia de detecção e de dimensionamento das ferramentas.

Para os dutos *não pigáveis*, o teste hidrostático e a avaliação direta são recomendados como métodos de avaliação de integridade. A avaliação direta representa uma alternativa ao teste hidrostático, nos casos em que a interrupção da operação, a obtenção de água e o descarte de água não são permitidos pela legislação vigente.

Após as inspeções, as perdas de metal detectadas são avaliadas a fim de verificar se as mesmas são aceitáveis ou não, para que o duto permaneça com sua integridade garantida antes da próxima inspeção. Considerando a classificação da corrosão quanto ao gerenciamento listou-se, neste trabalho, os critérios de avaliação recomendados pelo PDAM e referenciados em [43-46].. Assim, para defeitos internos e externos longitudinais recomenda-se a aplicação dos seguintes critérios de avaliação: ASME B31G *Original e Modificado* [47-48], RSTRENG [48] e DNV-RP-F101 [49]. Para os defeitos internos e externos circunferenciais foi indicado o método de Kastner [50]. Já para avaliar a corrosão sob tensão são recomendados os critérios do *software* PAFFC [53] (*Pipe Axial Flaw Failure*) e, das normas API 579 [52] e BS 7910 [51]. Como o teste hidrostático requer reparo imediato, não é efetuada a avaliação das perdas de metal quando as mesmas são detectadas por este tipo de inspeção.

Além da aplicação dos critérios de avaliação da corrosão para planejar e definir as atividades de mitigação e intervalos de inspeção, é necessário conhecer a taxa de corrosão do duto. Este tema foi evidenciado pois a estimativa da taxa de corrosão precisa trazer confiabilidade à operação do duto e evita gastos demasiados com manutenção e inspeções.

Para estimar a taxa de corrosão foi selecionado o método em que a mesma é calculada a partir dos resultados obtidos por inspeção por pig, pela praticidade e pelo fato de que é procedimento dos operadores de duto a realização das inspeções ILI.

Quando utiliza-se os dados da inspeção ILI para estimar a taxa de corrosão, pode-se aplicar as metodologias quando é realizada ou não a comparação de anomalias seja por sinais ou por tabelas. Neste trabalho, as perdas de metal dos estudos de caso foram correlacionadas a partir da correlação entre a tabela de defeitos em que foram consideradas distâncias odométricas, posição horária e o comprimento de cada anomalia.

Ainda foram apresentadas recomendações de respostas às perdas de metal detectadas através de inspeção interna por pig e avaliação direta, o teste hidrostático não foi incluído pois requer reparação imediata. Adicionalmente foram listados os reparos aceitáveis pelas normas de integridade.

## **7.1. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

Foram apresentadas 4 metodologias para o cálculo da taxa de corrosão: Estimativa da Taxa de Corrosão baseada no Princípio de Atividade Local [14], Estimativa da Taxa de Corrosão baseada no Cálculo do Parâmetro ( $\alpha$ ) [15], Estimativa da Taxa de Corrosão a partir do Intervalo de Confiança para a Média e Estimativa da Taxa de Corrosão a partir da Distribuição de Valor Extremo [16]. Posteriormente, os métodos foram aplicados a dados simulados e a dados de inspeções de um duto existente, para que fossem efetuadas comparações entre os resultados obtidos a fim de se conhecer e avaliar suas vantagens e limitações.

Antes de aplicar os métodos abordados para o cálculo da taxa de corrosão é necessário descartar as perdas de metal não dimensionadas e as que foram removidas do duto através de substituição de tubos; dividir o conjunto de perdas de metal detectadas em amostras considerando a classificação de gerenciamento da corrosão (interna, atmosférica e externa); e segmentar o duto. Caso tenha sido efetuado a comparação dos resultados das inspeções deve-se também avaliar as diferenças de profundidade observadas para cada anomalia

com a finalidade de reduzir a influência das incertezas de medição do pig no cálculo da taxa de corrosão.

A comparação efetuada mostrou que quando existem processos corrosivos distintos no duto a segmentação do duto é imprescindível, independente da metodologia utilizada para estimar a taxa de corrosão. Observou-se também que o ajuste dos resultados das inspeções ILI à distribuição de valor extremo a partir do método dos mínimos quadrados permite identificar a existência de processos corrosivos com magnitudes distintas no duto.

Como as metodologias baseiam-se e utilizam ferramentas estatísticas o tamanho da amostra que será utilizada para estimar a taxa é importante visto que uma população pequena dificulta a elaboração de uma hipótese, pois, amostras pequenas podem não representar apropriadamente as populações. Logo, para o método em que a taxa de corrosão é estimada a partir do Intervalo de Confiança, uma amostra pequena proporciona intervalos com amplitudes grandes reduzindo, assim, a confiabilidade do valor obtido. Para os métodos que ajustam os dados do pig a uma distribuição de probabilidade, o tamanho da amostra pode influenciar a qualidade do ajuste e a exatidão do valor obtido.

O método Princípio da Atividade Local é o único que calcula a taxa de corrosão para cada defeito a partir do processo corrosivo atuante na região adjacente à anomalia. Este conceito faz com que o método dependa da distribuição do número de perdas de metal em regiões próximas ao defeito analisado tendo em vista que anomalias distribuídas ao longo do duto e distantes do defeito analisado podem levar a um parâmetro de vizinhança alto que pode não representar a profundidade local da região.

Quando são utilizados os dados de uma única inspeção para estimar a taxa de corrosão a partir da distribuição do valor extremo verificou-se que o valor é influenciado pelo intervalo de tempo ( $\Delta T$ ) e pelo mecanismo de corrosão atuante no duto desde o início da operação até a realização da inspeção que está sendo utilizada para estimar os valores da taxa de corrosão.

Também foi observado que dentre as metodologias descritas e comparadas, apenas no caso em que a taxa de corrosão é estimada partir do intervalo de confiança, a comparação dos resultados das inspeções ILI é

obrigatório. Os demais métodos podem ser aplicados no conjunto de anomalias mapeadas ou em todas perdas de metal detectadas no trecho analisado.

Embora se tenha notado uma diferença entre os valores da taxa de corrosão estimados a partir das perdas de metal mapeadas e os valores encontrados por metodologias onde a comparação de anomalias não é exigida, foi observado que existe uma equivalência entre a taxa de corrosão quando comparadas as taxas de corrosão de cada grupo. Ou seja, ao comparar apenas os resultados das anomalias mapeadas verifica-se uma correspondência entre os valores estimados, o mesmo ocorre quando é efetuada a comparação dos valores da taxa de corrosão obtidos apenas pelos métodos em que os dados das inspeções são utilizados sem o mapeamento de anomalias.

A expectativa é que este estudo seja de grande valia para o mercado, e como sugestões de futuros trabalhos é válido incluir dentro da metodologia proposta para o gerenciamento da corrosão em dutos, os métodos utilizados para o cálculo da probabilidade de falha do duto, considerando nestes cálculos os procedimentos estatísticos aqui apresentados para determinação da taxa de corrosão e de sua incerteza.