

6

Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

O cálculo da pressão de ruptura para defeitos reais de corrosão com orientação longitudinal pelas equações semi-empíricas dos métodos ASME B31G, 0,85 dL, DNV RP-F101(isolado), “Effective Area” e DNV RP-F101(complexo) depende de três parcelas. A primeira se refere à tensão de escoamento média (σ_{flow}), que é função da resistência ao escoamento ou à tração do material. A segunda leva em consideração as características geométricas, como espessura e diâmetro do tubo. A terceira é função da área de metal perdida e do fator de dilatação, os quais utilizam o perfil de corrosão e o comprimento do defeito para a sua determinação. Portanto, o resultado deste cálculo depende das incógnitas acima descritas e, por conseguinte, da forma como elas são determinadas ou definidas.

Tensão de escoamento média (σ_{flow})

O método DNV RP-F101 define σ_{flow} como sendo o valor da resistência à tração e recomenda que este valor seja tomado por testes padronizados ou pelo valor fornecido pelo certificado de fábrica do tubo. Caso seja desconhecido o valor da resistência à tração real, este pode ser substituído por SMTS multiplicado por 1,09. No programa computacional, quando se desconhece o valor da resistência à tração real e entra-se com o valor de SMYS e SMTS, o valor de SMTS é multiplicado internamente por 1,09 para realizar os cálculos.

Os valores médios da resistência ao escoamento e à tração dos corpos de prova retirados de 1 dos 5 espécimes apresentaram valores menores que os especificados pela Specification API 5L. Portanto, em alguns casos, a aplicação do fator de 1,09 ao valor de SMTS no método DNV RP-F101, pode ir contra a segurança.

A diferença de valores encontrados entre o método “Effective Area” e DNV RP-F101(complexo) é predominantemente atribuída à tensão de escoamento média (σ_{flow}). Isto pôde ser confirmado ao calcular a pressão de ruptura pelo método “Effective Area” considerando σ_{flow} igual à resistência à tração real do aço, onde os resultados ficaram bem próximos ao do método DNV RP-F101. Corroborando com esta afirmativa, o espécime T06 foi o que apresentou a menor diferença de σ_{flow} entre os dois métodos, ficando em 7%. Neste caso, a pressão de ruptura calculada pelo método DNV RP-F101 diferiu de apenas 4% do valor calculado pelo “Effective Area”.

Características geométricas do tubo

A análise comparativa dos resultados do cálculo da pressão de ruptura, utilizando valores de espessura e diâmetro nominais com espessura média, tomada fora da região corroída e diâmetro real, mostrou diferença pouco significativa entre os resultados. Como era de se esperar, os valores obtidos pelo método ASME B31G foram iguais. Os resultados com os métodos “Effective Area”, DNV RP-F101(isolado) e DNV RP-F101(complexo) diferiram no máximo em 1%. O método 0,85 dL foi o que apresentou a maior diferença, variando no máximo 2%, conforme indica a tabela 19. Portanto, para análise de defeitos de corrosão, quando não se conhece o valor real do diâmetro e da espessura média da parede do tubo, pode-se usar os valores nominais de diâmetro e de espessura, sem comprometer o seu resultado. Entretanto, isto foi válido neste trabalho onde se considerou apenas defeitos longos.

Mapeamento do defeito e perfil de corrosão

Definir o comprimento do defeito para aplicar o método “Effective Area” pode não ser uma tarefa simples, quando está se analisando defeitos longos. Vieth e Kiefner [19] sugerem que para uma análise prática, o comprimento do defeito não precisa ser maior que uma vez o diâmetro do tubo que está sendo avaliado, abrangendo a região que contém a maior perda de espessura.

O programa computacional Rstreng está limitado à entrada de 100 pontos para montar o perfil de corrosão do defeito. Portanto, ao se utilizar uma malha para mapeamento do defeito com espaçamentos pequenos, o comprimento do defeito a ser considerado pode ficar restringido. Por outro lado, aumentando o espaçamento da malha, para abranger melhor o defeito, pontos de maior perda de espessura podem não ser considerados na avaliação.

Para defeitos de corrosão longos Vieth e Kiefner[19] sugerem que o espaçamento entre medições não deva ultrapassar 25,4 mm. Para corrosão do tipo mais generalizada, Al Crouch e Smith[18] obtiveram bons resultados com espaçamentos de 16 mm.

O espaçamento de 20 mm utilizado para o mapeamento dos defeitos pelo processo manual apresentou resultados satisfatórios, pois todas as estimativas de cálculo da pressão de ruptura ficaram abaixo da pressão real de ruptura. Portanto, para defeitos longos e similares aos estudados, o espaçamento de 20 mm entre medições é suficiente para caracterizar o defeito.

Os resultados da pressão de ruptura obtidos com os perfis levantados a partir do mapeamento CSCAN foram menores que pelo mapeamento manual, para o mesmo comprimento de defeito. Como o espaçamento entre medições utilizado no mapeamento CSCAN foi menor que o do mapeamento manual, o mapeamento CSCAN representou melhor a topografia do defeito, e por conseguinte, da área de material perdido. Além disto, os perfis CSCAN incluíram um número maior de pontos de menor espessura que contribuíram pouco para a ruptura, quando comparados com os perfis levantados por medições manuais.

De uma forma geral, principalmente para os métodos que utilizam o perfil de corrosão, pôde-se notar que os cálculos realizados com o perfil chamado de “geratriz de ruptura”, em que o perfil de corrosão foi montado com pontos de menores espessuras próximos à geratriz onde se deu a ruptura, apresentaram resultados menos conservadores que o perfil denominado de “river bottom”, o qual foi determinado pelos pontos de menores espessuras de toda área corroída.

Para defeitos de corrosão longos e de difícil definição do local onde se dará o rompimento, é recomendável que se estime a pressão de ruptura para diversos perfis, montados a partir de comprimentos variados. Utilizar apenas a região onde se encontra a maior perda de espessura, conforme sugerido por Vieth e Kiefner [19], pode não ser uma boa prática. Os espécimes T02, T05, T06 e T10 representam bem este caso, pois a ruptura de cada um desses espécimes se deu bastante afastado do ponto de maior perda de espessura.

Avaliação dos métodos de cálculo da pressão de ruptura

As pressões de ruptura calculadas pelos métodos estudados, considerando o perfil river bottom MM(100,20), MM(50,20), CSCAN(100,10, i) e CSCAN(100,10, p), t e D medidos, σ_y e σ_u apresentaram o seguinte comportamento:

- Todos as pressões de ruptura estimadas ficaram abaixo do valor real, chegando no máximo a 95% da mesma.
- O método DNV RP-F101 (complexo) foi o que apresentou o valor de pressão de ruptura estimada mais próxima da real, o que em parte pode ser explicado por usar o perfil da área corroída e uma tensão de escoamento média (σ_{flow}) igual ao valor da resistência à tração do aço.
- Os valores médios da pressão de ruptura P_{rup} dos tubos ensaiados para os métodos ASME B31G, 0,85 dL, DNV RP-F101 (isolado), “Effective Area” e DNV RP-F101 (complexo) são respectivamente 0,50, 0,63, 0,71, 0,72 e 0,88. Esses valores demonstram o conservadorismo do método ASME B31G e corroboram com os resultados encontrados por Vieth e Kiefner [3] para defeitos longos e calculados pelo método “Effective Area”, os quais ele chamou de resultados adequadamente conservadores. Outro fato que reforça o conservadorismo do método ASME B31G pôde ser observado pela localização do rompimento nos espécimes T02, T05, T06 e T10, em que os pontos de menor espessura não foram responsáveis pela ruptura nesses espécimes, ou seja, esses pontos estavam localizados fora da área rompida.

- Para todos os perfis, com exceção do perfil MM(100,20) do espécime T05, o comprimento efetivo calculado pelo método “Effective Area” englobou o local do rompimento.
- Todos os valores da pressão de ruptura, calculados pelos métodos estudados, se relacionaram da seguinte forma:

$$B31G < 0,85dL < \text{Effective Area} < \text{DNV RP-F101 (complexo)}.$$

$$B31G < \text{DNV RP-F101(isolado)} < \text{DNV RP-F101 (complexo)}.$$

- Os valores da pressão de ruptura estimados pelos métodos Effective Area ($\sigma_{flow} = \sigma_u$) e Área Total ($\sigma_{flow} = \sigma_u$) ficaram bem próximos aos do método DNV RP-F101(complexo), sendo que a diferença, em média, ficou em 2%.

Considerações finais

Este trabalho de tese ratificou o conservadorismo embutido no método ASME B31G para o cálculo da pressão de ruptura, bem como pôde constatar que os métodos “Effective Area” e DNV RP-F101 (complexo) apresentaram resultados melhores que o ASME B31G e sempre a favor da segurança.

A pressão máxima admissível de operação, num ponto do duto com defeito de corrosão, é obtida pela introdução de um fator de segurança ao valor da pressão de ruptura calculada. Para os métodos “Effective Area” e DNV RP-F101 (complexo), os fatores de segurança são respectivamente 0,72 e 0,65. Aplicando-se estes fatores às pressões de ruptura calculadas, observa-se que a pressão máxima admissível determinada pelo método DNV RP-F101 (complexo) foi, em média, 5% maior do que a do método “Effective Area”. Considerando já ser um avanço significativo utilizar um outro método de análise diferente do ASME B31G, seria recomendável disponibilizar para uso o método “Effective Area”, por ter apresentado resultados mais conservadores que o DNV RP-F101 (complexo), não só para a pressão de ruptura como para a pressão máxima admissível de

operação. Além disso, o método DNV RP-F101 (complexo) não é aplicável para aços de baixa tenacidade.

Caso o método “Effective Area” seja disponibilizado para uso dentro da Petrobras, a análise de defeitos de corrosão poderia ser realizada em níveis de complexidade. Os defeitos detectados pelo pig instrumentado de corrosão seriam avaliados inicialmente pelo método ASME B31G e os reprovados, reavaliados pelo método “Effective Area”, sempre levando em consideração a incerteza da medição do pig. Os pontos reprovados pelo método “Effective Area” seriam indicados para inspeção direta no campo, visando levantar com mais precisão a topografia do defeito. Com o novo perfil de corrosão obtido diretamente no campo, o defeito seria novamente avaliado pelo método “Effective Area”. Tendo uma estimativa mais precisa da pressão de ruptura do defeito, caberia ao analista julgar quão distante ele desejaria que o seu duto operasse afastado da ruptura, definindo assim, a necessidade ou não de repará-lo.

Para auxiliar ainda na tomada de decisão do reparo de um defeito, deve-se considerar a consequência de um possível vazamento no ponto em questão, em termos ambiental, financeiro e de risco à população que habita as áreas adjacentes.

Vislumbra-se um enorme ganho com a possibilidade de aplicação do método “Effective Area”, principalmente em dutos como o ORBEL I, em que uma quantidade enorme de defeitos está próxima de ser reprovada pelo método ASME B31G, apesar de não representar risco para operação.

Sugestões para trabalhos futuros

Todas as análises realizadas nesta tese foram feitas com defeitos de corrosão com orientação longitudinal e comprimento longo. Seria recomendável realizar este mesmo tipo de estudo com defeitos de comprimento curto com orientação longitudinal, visando conhecer o resultado das estimativas da pressão de ruptura para estes casos.

Alguns dutos apresentam comprimentos de defeito que podem chegar a dezenas de metros. Como o programa Rstreng, que calcula a pressão de ruptura pelo método “Effective Area”, está restrito a um perfil de corrosão com 100 pontos, seria recomendável estudar uma metodologia para dividir o comprimento do defeito em outros menores, para poder aplicar o método “Effective Area”.