

## ESTUDO DE CASO PARA VERIFICAR A SEGURANÇA EM DUTOS COM DEFEITOS DE CORROSÃO

Maylon Dieferson Silva de Sobral<sup>1</sup>; Juliana Von Schmalz Torres<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudante do Curso de Engenharia Civil – CAA – UFPE. E-mail: md\_dss@hotmail.com,

<sup>2</sup>Docente/pesquisador do Depto de Engenharia Civil – CAA – UFPE. E-mail: juliana@ufpe.br.

**Sumário:** Este trabalho tem como objetivo a aplicação da análise de confiabilidade em um duto, quando o mesmo apresenta defeito causado por corrosão. Para isto, as variáveis de natureza aleatória tais como profundidade do defeito, taxa de corrosão radial, pressão aplicada e espessura do duto serão consideradas. O método FORM (*First Order Reability Method*) implementado no MATLAB permite obter o índice de confiabilidade. A função de falha é escrita em termos desta pressão resistente, obtida empiricamente, e da pressão aplicada. Os dados da pressão resistente são obtidos de forma empírica e seguem a norma britânica BS – 7910 (1999). Foi feito um estudo paramétrico para o caso de um duto para analisar o impacto que algumas alterações nas suas características acarretam nos resultados da análise de confiabilidade da estrutura.

**Palavras-chave:** confiabilidade estrutural; corrosão; dutos; FORM

### INTRODUÇÃO

A corrosão é um dos principais processos que afetam a estrutura dos dutos, o que corresponde a um processo de degradação de um material, principalmente metal, por uma interação química ou eletroquímica com o meio ambiente. O seu efeito pode ser visto na Figura 1.

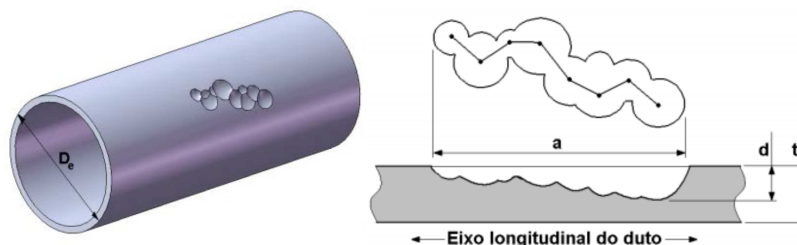


Figura 1. Representação de defeitos de corrosão em dutos [Toro, 2014].

Em um projeto estrutural as incertezas nas cargas, nas propriedades mecânicas e geométricas acarretam em uma probabilidade de falha diferente de zero. A confiabilidade estrutural (MELCHERS, 1999) é uma ferramenta que permite ao engenheiro considerar as incertezas inerentes às variáveis de projeto, através das correspondentes distribuições de probabilidade, permitindo obter, entre outros resultados, a probabilidade de falha da estrutura, o índice de confiabilidade e a sensibilidade do projeto em relação a estas variáveis.

Uma metodologia apresentada por Torres (2009), para obtenção do índice de confiabilidade e da probabilidade de falha de dutos com defeitos de corrosão, com o uso do método de primeira ordem FORM utilizando para isso a plataforma MATLAB, foi tomada como referência para o presente trabalho. A função de falha é dada pela diferença entre a pressão resistente e a pressão solicitante. A pressão resistente foi obtida de forma empírica com o uso de equações que derivam da formulação da NG – 18 *Surface Flaw Equation*

(TORO, 2014). As normas BS 7910, B31G, B31G Modificada e a expressão apresentada por Ahammed serão utilizadas para determinação da pressão resistente do duto.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise de confiabilidade estrutural, foi utilizado o algoritmo do método FORM já programado (TORRES, 2009) no MATLAB. Para o estudo baseou-se num exemplo de duto corroído encontrado na literatura (AHAMMED,1998). As variáveis aleatórias consideradas foram a profundidade do defeito  $d_0$ , pressão aplicada  $P$ , taxa de corrosão radial  $R_d$  e espessura do duto  $t$ . As propriedades estatísticas podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis aleatórias e seus dados estatísticos usados no exemplo do duto com defeito de corrosão.

Variável	Distribuição	Média	Covariância	Desvio Padrão
T	Normal	10 mm	0,05	0,5 mm
$d_0$	Normal	3 mm	0,10	0,3 mm
P	Normal	5 MPa	0,10	0,5 MPa
$R_d$	Normal	0,10 mm/ano	0,20	0,02 mm/ano

Os parâmetros constantes estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros usados no exemplo do duto com defeito de corrosão.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Taxa de corrosão longitudinal ( $R_L$ )	0,10 mm/ano	Tensão de escoamento do material ( $\sigma_y$ )	423 MPa
Diâmetro do duto (D)	600 mm	Tensão última ( $\sigma_u$ )	538 MPa
Comprimento do defeito ( $L_0$ )	200 mm	Tempo de vida útil	29 anos
Numero máximo de iterações	5	Tolerância especificada	$10^{-4}$

Foi feito um estudo paramétrico em relação às variáveis aleatórias pressão aplicada, profundidade do defeito e espessura do duto, a fim de verificar o impacto na análise de confiabilidade. Para efeito comparativo as expressões empíricas que fornecem o valor da pressão de falha (BS-7910, B31G, B31G Modificado e a fórmula empírica de Ahammed) foram aplicadas.

### RESULTADOS

Na primeira etapa variou-se em 60% o valor da pressão aplicada resultando em um intervalo de 2 à 8 MPa. Os resultados provenientes da análise de confiabilidade podem ser vistos na Tabela 3. Em destaque encontraram-se os resultados correspondentes ao valor médio inicial da variável pressão aplicada.

Tabela 3. Valores da análise de confiabilidade com variação na pressão aplicada.

Pressão Aplicada (MPa)	Índice de Confiabilidade	Probabilidade de Falha (%)
2,0	4,3122	0,0008
3,0	3,9353	0,0042
4,0	3,5297	0,0208
<b>5,0</b>	<b>3,0953</b>	<b>0,0983</b>
6,0	2,6335	0,4225
7,0	2,1481	1,5854
8,0	1,6449	4,9994

Em seguida, analisou-se a profundidade do defeito com uma variação de 67% do valor médio inicial (3 mm). Os resultados do índice de confiabilidade e da probabilidade de falha constam na Tabela 4, sendo destacado o valor médio inicial da variável profundidade do defeito.

Tabela 4. Valores da análise de confiabilidade com variação na profundidade do defeito.

Profundidade do Defeito (mm)	Índice de Confiabilidade	Probabilidade de Falha (%)
1	5,6646	$8,5160 \cdot 10^{-7}$
1,5	5,0254	$2,6366 \cdot 10^{-5}$
2	4,3792	0,0006
2,5	3,7335	0,0095
<b>3</b>	<b>3,0953</b>	<b>0,0983</b>
3,5	2,4706	0,6744
4	1,8647	3,1114
4,5	1,2815	10,0006
5	0,7240	23,4521

Foi feito também um estudo paramétrico para a variável espessura do duto (10 mm) adotando-se uma variação em 50% do valor médio (Tabela 5). Os resultados do índice de confiabilidade e da probabilidade de falha podem ser encontrados na Tabela 5. Em algumas situações, valores negativos para o índice de confiabilidade negativo são obtidos devido ao valor da probabilidade de falha ser maior ou igual a 50%, o que torna a estrutura com condições irreais de uso.

Tabela 5. Valores da análise de confiabilidade com variação na espessura do duto.

Espessura do Duto (mm)	Índice de Confiabilidade	Probabilidade de Falha (%)
5,0	-3,8860	100
6,0	-2,2867	100
7,0	-0,7849	78,3732
8,0	0,6132	26,9861
9,0	1,9060	2,8325
<b>10,0</b>	<b>3,0953</b>	<b>0,0983</b>
11,0	4,1853	0,0014
12,0	5,1821	$1,1709 \cdot 10^{-5}$
13,0	6,0922	$7,2674 \cdot 10^{-8}$
14,0	6,9227	$4,4852 \cdot 10^{-10}$
15,0	7,6806	$3,3418 \cdot 10^{-12}$

Para verificar a diferença no valor da pressão de falha entre algumas expressões empíricas, as formulações propostas pela BS-7910, Ahammed, B31G e B31G Modificado foram aplicadas. Os resultados podem ser observados na Figura 4 para diferentes profundidades do defeito.

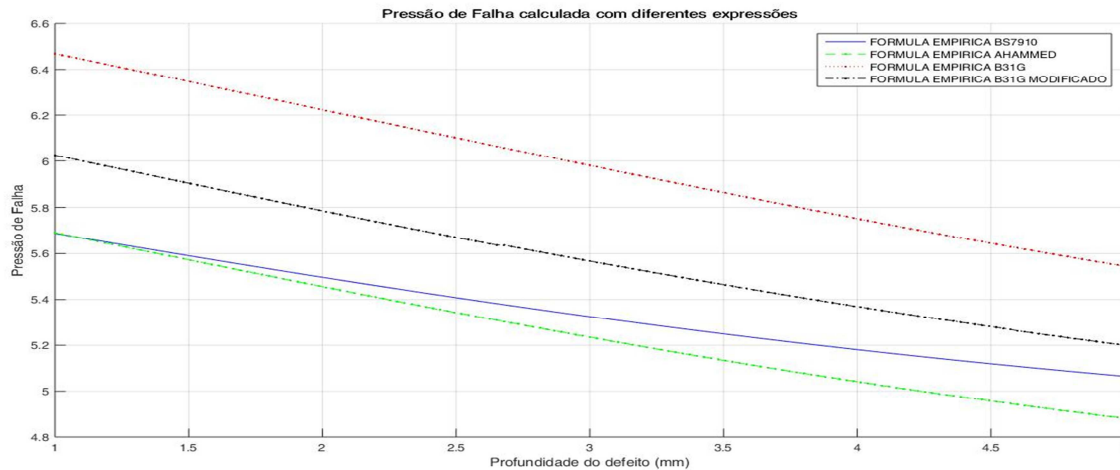
## DISCUSSÃO

Na Tabela 3 observou-se que, conforme esperado, com o aumento da pressão aplicada o índice de confiabilidade é reduzido. O índice de confiabilidade segue um comportamento quase linear onde, aumentando-se a pressão ocorre a diminuição do índice e consequente aumento na probabilidade de falha.

Ao se analisar a profundidade do defeito observou-se que o índice de confiabilidade é inversamente proporcional a esta variável.

O índice de confiabilidade aumenta com o aumento da espessura do duto.

Pode-se perceber que os valores da pressão de falha obtidos pela BS-7910 e por Ahammed iniciam-se de valores muito próximos. Com o aumento da profundidade do defeito, os valores passam a se distanciar, no entanto entre as quatro expressões, essas são as mais conservadoras. O modelo de Ahammed é o que apresentou um menor valor sendo assim o mais conservador de todas as normas apresentadas. A menos conservadora é a



B31G que resulta em valores superiores da pressão de falha se comparado com as outras três expressões. A B31G Modificada é uma norma que fica no patamar intermediário de conservadorismo.

Figura 4. Gráfico da pressão de falha para diferentes expressões empíricas.

## CONCLUSÕES

A análise de confiabilidade estrutural deve ser tida como um instrumento de verificação de projeto e de decisão sobre a estrutura, pois assim pode-se garantir não somente um aumento no tempo de vida útil, mas como planejar toda a manutenção uma vez que se pode ter o conhecimento do comportamento da estrutura ao longo do tempo. Como a substituição de dutos requer uma considerável infraestrutura buscar minimizar os problemas representa uma economia financeira e de tempo.

Os métodos aqui utilizados para verificação da segurança de dutos com defeitos de corrosão utilizam informações provenientes das análises determinísticas em seus cálculos. A escolha do método determinístico influencia no cálculo da probabilidade de falha da estrutura.

## AGRADECIMENTOS

Faz-se um agradecimento à doutora Juliana V. S. Torres por todas as orientações e pelo tempo concedido, ao Centro Acadêmico do Agreste da UFPE pela estrutura disponibilizada e à Propesq da UFPE pela aprovação da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AHAMMED, M., Probabilistic estimation of remaining life of a pipeline in the presence of active defects, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 75, pp. 321-329, 1998.
- BASILIO, L. P.; FREIRE, J. L. F., *Avaliação de metodologias para gerenciamento da integridade de dutos rígidos*. Rio de Janeiro, 2009. 282p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

MELCHERS, R. E., 1999, *Structural Reliability: Analysis and Prediction*.

TORRES J. V. S., *Uma metodologia para verificação da segurança e dimensionamento ótimo de dutos com defeitos causados por corrosão*, Tese de doutorado, UFPE, Recife, Pernambuco, 2009.