

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Anne Aguiar de Araujo**

## **Gerenciamento de Falhas por Corrosão em Dutos**

### **Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Luiz de França Freire  
Co-Orientador: Prof. José de Jesús Leal Carvajalino

Rio de Janeiro  
Abril de 2012



**Anne Aguiar de Araujo**

## **Gerenciamento de Falhas por Corrosão em Dutos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. José Luiz de França Freire**

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

**Prof. José de Jesús Leal Carvajalino**

Co-Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

**Profa. Maria Cristina López Areiza**

Universidade Federal do Rio Janeiro

**Dra. Érika Santana Mota Nicoletti**

PETROBRAS

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de abril de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

### **Anne Aguiar de Araujo**

Graduou-se em Engenharia Mecânica na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 2007. Atua na área de inspeção de dutos desde 1999, participou de cursos e congressos nacionais como também efetuou treinamentos (nacionais/ internacionais) na área de dutos.

#### Ficha Catalográfica

Araujo, Anne Aguiar de

Gerenciamento de falhas por corrosão em dutos / Anne Aguiar de Araujo; orientadores: José Luiz de França Freire, José de Jesús Leal Carvajalino. – 2012.

170 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Corrosão. 3. Taxa de corrosão. 4. Integridade de dutos. 5. Normas de integridade de dutos. 6. Gerenciamento de corrosão em dutos. I. Freire, José Luiz de França. II. Carvajalino, José de Jesús Leal. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. IV. Título.

CDD: 621

Aos meus pais que sempre me incentivaram e a Deus por ter me proporcionado  
meios para conseguir realizar este sonho.

## Agradecimentos

A Deus por esta grandiosa conquista que desde o início deste curso me mostrou o quanto Ele realmente é fiel.

Aos meus pais, Milcan e Gideon, por todas palavras de apoio, principalmente nos momentos mais difíceis e pelo sacrifício desde o início da minha carreira acadêmica e profissional.

A minhas irmãs, Danielle, Márcia e Priscilla pelas palavras de otimismo e pela colaboração nas revisões da língua portuguesa.

Ao meu querido namorado Allan que foi bastante compreensivo nos momentos em que minha atenção estava voltada apenas para a conclusão desta dissertação.

Aos meus familiares que sempre vibraram e torceram pelo meu sucesso desde a minha infância.

Aos meus amigos, pelos incentivos e pela compreensão quanto ao afastamento e ausência em momentos especiais.

Ao meu orientador, Prof. José Luiz de França Freire, e ao meu co-orientador, José de Jesús Leal Carvajalino pela orientação e pelo compartilhamento dos conhecimentos que me fazem admirá-los ainda mais.

A Ivan Janvrot e José Augusto por terem contribuído no meu crescimento profissional e me mostrado que desafios são para serem vencidos.

A meus colegas de trabalho pelo encorajamento constante.

A engenheira Érika Nicolleti pela contribuição técnica e disponibilidade para responder meus questionamentos.

A PUC-Rio, pelo ensino.

A todos os que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## Resumo

Araujo Aguiar, Anne; Freire, José Luiz de França. **Gerenciamento de Falhas por Corrosão em Dutos**. Rio de Janeiro, 2012. 170p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação visa apresentar e comparar metodologias utilizadas para estimar a taxa de corrosão a partir dos resultados obtidos em inspeção por pig instrumentado tendo em vista que este método de avaliação de integridade é um procedimento empregado por operadores de duto. Com esta finalidade foram analisadas e comparadas as metodologias mais adequadas para o cálculo da taxa de corrosão: Estimativa da Taxa de Corrosão baseada no Princípio de Atividade Local, Estimativa da Taxa de Corrosão baseada no Cálculo do Parâmetro ( $\alpha$ ), 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. Para cada um destes métodos foram empregados dados simulados e dados de inspeções de um duto existente, utilizando ou não o mapeamento de anomalias por tabela, a fim de conhecer e avaliar suas vantagens e limitações. Os resultados destas comparações mostraram que apenas no caso em que a taxa de corrosão é estimada partir do intervalo de confiança para a média, a correspondência entre as anomalias (mapeamento) registradas nas inspeções ILI é obrigatória. As demais metodologias podem ser aplicadas ao conjunto de anomalias mapeadas ou a todas perdas de metal informadas no relatório de inspeção ILI. Foi verificado também que os valores estimados para a taxa de corrosão quando é realizado o mapeamento das anomalias diferem das taxas de corrosão calculadas quando a comparação dos dados entre as inspeções não é efetuada. Embora tenha-se notado esta diferença foi observado que existe uma equivalência quando comparadas as taxas de corrosão de cada grupo. Ou seja, verifica-se uma correspondência entre os valores estimados por cada metodologia ao comparar apenas os resultados das anomalias mapeadas. O mesmo ocorre quando é efetuada a comparação entre valores da taxa de corrosão obtidos apenas pelos métodos em que o mapeamento das perdas de metal não foi realizado. Adicionalmente foi efetuada a comparação entre as principais normas e publicações de gerenciamento de integridade de dutos, como o ASME B31.8S, API 1160 e Muhlbauer.

## Palavras-chave

Corrosão; taxa de corrosão; integridade de dutos; normas de integridade de dutos; gerenciamento de corrosão em dutos.

## Abstract

Araujo Aguiar, Anne; Freire, José Luiz de França (Advisor). **Corrosion Failure Management in Pipeline**. Rio de Janeiro, 2012.170p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work aims to present and compare methodologies used to estimate the corrosion rate from ILI inspection results once this integrity assessment is a procedure employed by pipeline operators. With this purpose the most appropriate methodologies for calculating the corrosion rate were analyzed and compared: Corrosion Rate Estimation based on the Principle of Local Corrosion Activity, Corrosion Rate Estimation based on the Parameter ( $\alpha$ ), Corrosion Rate Estimation from the Confidence Interval for Mean and Corrosion Rate Estimation from the Extreme Value Distribution. For each of these methods were employed simulated data and actual ILI inspection data, applying or not anomalies matching by table to identify and evaluate their advantages and limitations. The comparison has shown that the matching of the features is required only when the corrosion rate is estimated from the confidence interval methodology. The other methods can be applied to matched metal loss or all anomalies registered in ILI reported. Furthermore, it was observed that the estimated corrosion rate from the anomalies matching differ of calculated corrosion rate when matching of metal loss between ILI inspections is not done. Although this difference has been identified, it was observed an equivalence when the corrosion rates of each group were compared. In other words, there is a correspondence between the values estimated by each corrosion rate methodology when is used only the sample which represents the matched metal loss. The same occurs when the comparison is carried out between the corrosion rate values obtained only by methods where the defect mapping was not done. Moreover, a comparison between the main codes and publications for pipeline integrity management, as B31.8S ASME, API 1160 and Muhlbauer was done.

## Keywords

Corrosion; corrosion rate; pipeline integrity; codes of pipeline integrity; pipeline corrosion management.

# Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	22
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>25</b>
2.1. GERENCIAMENTO DA INTEGRIDADE DO DUTO SEGUNDO A NORMA ASME B31.8S [10] .....	25
2.1.1. Etapas do Programa de Gestão de Integridade .....	27
2.1.1.1. Identificação das Ameaças.....	28
2.1.1.2. Coleta, Revisão e Integração de Dados .....	29
2.1.1.3. Avaliação de Risco .....	29
2.1.1.4. Avaliação da Integridade do Duto.....	30
2.1.1.5. Respostas à Avaliação de Integridade de Dutos .....	30
2.1.1.6. Atualização, Integração, Revisão dos Dados e Reavaliação de Risco .....	30
2.2. GERENCIAMENTO DA INTEGRIDADE DO DUTO SEGUNDO A NORMA API 1160 [2] .....	31
2.2.1. Etapas do Programa de Gestão de Integridade .....	32
2.2.1.1. Identificação das Áreas de Alta Consequência (AAC) .....	33
2.2.1.2. Coleta, Revisão e Integração dos Dados.....	33
2.2.1.3. Avaliação Inicial de Risco .....	33
2.2.1.4. Elaboração do Plano Básico de Gestão de Integridade.....	34
2.2.1.5. Implementação do Plano de Gestão de Integridade .....	35
2.2.1.6. Revisão do Plano de Gestão da Integridade.....	35
2.2.1.7. Avaliação do Plano de Gestão da Integridade .....	35
2.2.1.8. Gerenciamento de Mudanças.....	36
2.3. GERENCIAMENTO DE RISCO SEGUNDO MUHLBAUER [11].....	36
2.3.1. Etapas do Gerenciamento de Risco.....	37
2.3.1.1. Seleção do Modelo de Risco .....	37
2.3.1.2. Coleta, Análise e Integração de Dados.....	37
2.3.1.3. Segmentação .....	37
2.3.1.4. Avaliação de Risco .....	38

2.3.1.5. Gerenciamento de Risco .....	40
2.3.2. Sistema de Pontuação de Muhlbauer [11].....	40
2.4. RESUMO & COMPARAÇÃO DAS NORMAS DE INTEGRIDADE E O MODELO DE MUHLBAUER [11].....	43
<b>3 FORMAS DE CORROSÃO .....</b>	<b>44</b>
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA CORROSÃO .....	44
3.1.1. Mecanismos.....	44
3.1.2. Morfologia.....	44
3.1.3. Fenomenologia .....	47
3.1.4. Dimensionamento .....	52
3.1.5. Gerenciamento .....	53
3.2. PREVENÇÃO DE FALHAS POR CORROSÃO EM DUTOS .....	54
<b>4 AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DO DUTO.....</b>	<b>56</b>
4.1. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DO DUTO .....	56
4.1.1. Inspeção Interna .....	56
4.1.2. Avaliação Direta.....	61
4.1.3. Teste Hidrostático .....	63
4.2. COMPARAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE INTEGRIDADE.....	64
4.3. CRITÉRIOS PARA AVALIAR A CORROSÃO EM DUTOS.....	66
<b>5 ESTIMATIVA DA TAXA DE CORROSÃO .....</b>	<b>67</b>
5.1. Taxa de Corrosão baseada no Princípio de Atividade Local [14].....	69
5.2. Taxa de Corrosão baseada no Cálculo do Parâmetro ( $\alpha$ ) [15].....	77
5.2.1. Estimativa da Taxa de Corrosão Local.....	77
5.2.2. Estimativa da Taxa de Corrosão por Trecho .....	83
5.3. Taxa de Corrosão a partir do Intervalo de Confiança para a Média .....	89
5.4. Taxa de Corrosão a partir da Distribuição de Valor Extremo [16] .....	94
5.4.1. Taxa de Corrosão a partir da Distribuição do Valor Extremo Mínimo tipo I.....	95
5.4.2. Taxa de Corrosão a partir da Distribuição do Valor Extremo Máximo tipo I.....	100

5.5. Estudo de Caso.....	107
5.5.1. Estudo de Caso I .....	108
5.5.2. Estudo de Caso II .....	112
5.5.3. Estudo de Caso III .....	114
5.5.4. Estudo de Caso IV .....	118
5.5.5. Estudo de Caso V .....	125
<b>6 AÇÕES MITIGADORAS PARA FALHAS POR CORROSÃO .....</b>	<b>132</b>
6.1. RECOMENDAÇÕES API 1160 [2].....	133
6.2. RECOMENDAÇÕES ASME B31.8S [10].....	135
6.3. TIPOS DE REPAROS .....	138
6.4. INTERVALO DAS AVALIAÇÕES DE INTEGRIDADE .....	139
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>142</b>
7.1. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	145
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>148</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>156</b>

## Lista de figuras

Figura 2.1 - Fluxograma ASME B31.8S [10]	27
Figura 2.2 - Fluxograma API 1160 [2]	32
Figura 2.3 – Matriz simples de risco	39
Figura 3.1 – Classificações da corrosão segundo sua morfologia [25]	47
Figura 3.2 – Tubulação entrando no solo [28]	49
Figura 3.3 – Corrosão em Frestas [26]	49
Figura 3.4 – Corrosão – Erosão	50
Figura 3.5 – Classificação do documento POF para perda de metal segundo o dimensionamento [27]	52
Figura 3.6 – Foto corrosão externa	53
Figura 3.7 – Corrosão interna [28]	53
Figura 4.1 – Foto Pig MFL	58
Figura 4.2 – Pig Ultra-Som [32]	59
Figura 4.3 – Foto Pig Palito	61
Figura 5.1 – Representação do parâmetro de vizinhança (n), para n=6	69
Figura 5.2 – Representação da distribuição normal para um pig com exatidão igual a 10% de t e nível de confiança igual a 80%	72
Figura 5.3 – Identificação e correção de medições tendenciosas do pig – dados simulados	73
Figura 5.4 - Fluxograma da Estimativa Taxa de Corrosão pelo Princípio de Atividade Local [14]	76
Figura 5.5 – Fluxograma Estimativa da Taxa de Corrosão baseada no Cálculo do Parâmetro ( $\alpha$ )	88
Figura 5.6 – Representação do Intervalo de confiança	89
Figura 5.7 – Representação do nível de confiança e nível de significância de um intervalo de confiança [54]	90
Figura 5.8 – Fluxograma Estimativa da Taxa de Corrosão a partir do Intervalo de Confiança para Média	93
Figura 5.9 – Cálculo dos parâmetros ( $\psi_{tr}$ e $\delta_{tr}$ ) da distribuição do valor extremo mínimo tipo I para as espessuras remanescentes	98
Figura 5.10 – Cálculo dos parâmetros ( $\psi_{rd}$ e $\delta_{rd}$ ) da distribuição do valor extremo máximo tipo I para as profundidades registradas pelo pig instrumentado	105

Figura 5.11 – Fluxograma Estimativa da Taxa de Corrosão a partir da Distribuição de Valor Extremo [16]	106
Figura 5.12 – Dados das inspeções – Estudo de Caso I	109
Figura 5.13 – Histograma das inspeções – Estudo de Caso I	109
Figura 5.14 – Representação da taxa de corrosão estimada pelo Princípio da Atividade Local com parâmetro de vizinhança igual a 4 (n=4)	111
Figura 5.15 – Dados das inspeções – Estudo de Caso II	112
Figura 5.16 – Histograma das inspeções – Estudo de Caso II	113
Figura.5.17 – Gráfico Perda de Metal x Distância da inspeção 2005	114
Figura 5.18 – Dados das inspeções – Estudo de Caso III	115
Figura 5.19 – Histograma das inspeções – Estudo de Caso III	115
Figura 5.20 – Ajuste dos valores de espessura remanescente da inspeção 2005 à distribuição de valor extremo mínimo	116
Figura 5.21 – Dados das inspeções – Estudo de Caso IV	119
Figura 5.23 – Dados das inspeções – Estudo de Caso V	125
Figura 5.24 – Histograma das inspeções – Estudo de Caso V	126
Figura 5.25- Diferença de profundidade entre as anomalias que foram reportadas nas 2 inspeções em estudo	126
Figura 6.1 – Fluxograma para a realização de ações mitigadoras [5]	132
Figura 6.2 – Relação entre redução de pressão e o tempo de resposta à corrosão segundo ASME B31.8S [10]	136

## Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Pontuação Muhlbauer [11]	40
Tabela 2.2 – Resumo das ameaças das normas ASME B31.8S [10] e API 1160 [2] e do modelo de Muhlbauer [11]	43
Tabela 3.1 – Classificação da perda de metal segundo o dimensionamento [27]	52
Tabela 3.2 – Métodos de Proteção à Corrosão	55
Tabela 4.1 - Comparação técnica entre as avaliações de integridade de dutos	64
Tabela 4.2 – Comparação econômica entre os principais métodos de avaliação de integridade de dutos [28]	65
Tabela 4.3 – Critérios de avaliação considerando a classificação de gerenciamento de corrosão [43-46]	66
Tabela 5.1 – Resumo da estimativa da taxa de corrosão baseada no cálculo do parâmetro ( $\alpha$ )	88
Tabela 5.2 - Valores típicos de $z$ juntamente com os respectivos níveis de confiança e significância [54]	90
Tabela 5.3 – Tabela resultante da aplicação dos métodos de ordenação – posto médio e posto mediano, para espessuras remanescentes.	98
Tabela 5.4 – Tabela resultante da aplicação dos métodos de ordenação – posto médio e posto mediano, para profundidades de anomalia.	104
Tabela 5.5 – Características dos Estudos de Caso	107
Tabela 5.6 – Estudo de Caso I – Dados das Inspeções Simuladas	108
Tabela 5.7 – Estudo de Caso I - Resultados da Estimativa da Taxa de Corrosão – Trecho: 0.0 a 4.0 km	109
Tabela 5.8 – Estudo de Caso II – Dados das Inspeções Simuladas	112
Tabela 5.9 – Estudo de Caso II – Resultados da Estimativa da Taxa de Corrosão – Trecho: 0.0 a 4.0 km	113
Tabela 5.10 – Estudo de Caso III – Dados das Inspeções Simuladas	115
Tabela 5.11 – Estudo de Caso III – Resultados da Estimativa da Taxa de Corrosão – Trecho: 0 a 4.0 km	116
Tabela 5.12 – Estudo de Caso III – Resultados da Estimativa da Taxa de Corrosão – Trecho: 0.0 a 2.0 km	117
Tabela 5.13 – Estudo de Caso III – Resultados da Estimativa da Taxa de Corrosão – Trecho: 2.0 a 4.0 km	117

Tabela 5.14 – Estudo de Caso IV – Dados das Inspeções Simuladas	119
Tabela 5.15 – Estudo de Caso IV – Resultados da Estimativa da Taxa de Corrosão – Trecho: 0.0 a 4.0 km	120
Tabela 5.16 – Probabilidade <i>a priori</i> [16]	122
Tabela 5.17 – Probabilidade condicional que define a eficiência da inspeção [16] [57]	122
Tabela 5.18 – Estudo de Caso V - Dados das Inspeções Simuladas	125
Tabela 5.19 – Estudo de Caso V – Resultados da Estimativa da Taxa de Corrosão – Corrosão Externa – Trecho: 0.0 a 11.0 km	127
Tabela 5.20 – Estudo de Caso V – Resultados da Estimativa da Taxa de Corrosão – Corrosão Externa – Trecho: 0.0 a 3.78 km	128
Tabela 5.21 – Estudo de Caso V – Resultados da Estimativa da Taxa de corrosão – Corrosão Externa – Trecho: 3.78 a 4.96 km	128
Tabela 5.22 – Estudo de Caso V – Resultados da Estimativa da Taxa de corrosão – Corrosão Externa – Trecho: 4.98 a 9.5 km	129
Tabela 5.23 – Estudo de Caso V – Resultados da Estimativa da Taxa de corrosão – Corrosão Externa – Trecho: 9.51 a 11.0 km	129
Tabela 5.24 – Resultados da Estimativa da Taxa de Corrosão – Corrosão Interna – Trecho: 0 a 11.0 km	130
Tabela 6.1 – Ações Mitigadoras Recomendadas pela ASME B31.8S [10] às corrosões sob tensão [10]	137
Tabela 6.2 – Aplicação Reparos segundo à forma de corrosão. [2,5,10,30]	138
Tabela 6.3- Critérios para determinar os intervalos de inspeção	140

## Lista de Símbolos

$\Phi^{-1}$  = Distribuição normal padrão inversa

$\bar{x}$  = Média da amostra

$\bar{d}_2$  = Média da profundidade da amostra 2

$\frac{d}{t}$  = Perda de metal reportada nos relatórios de inspeção por pig.

$\bar{d}_{2ji}$  = Profundidade média local

$\bar{r}$  = Taxa de corrosão média

$\Psi_{tr}$  = Espessura remanescente estimada (mm).

$\bar{d}_1$  = Média da profundidade da amostra 1

$\delta_d$  = Dispersão da profundidade

$d$  = Profundidade da anomalia reportada na inspeção por pig

$d_1$  = Profundidade da anomalia registrada na inspeção 01

$D_1$  = Variável aleatória referente às profundidades dos defeitos da inspeção 01

$D_2$  = Variável aleatória referente às profundidades dos defeitos da inspeção 02

$d_2$  = Profundidade da anomalia registrada na inspeção 02

$d_{2j}$  = Perda de metal registrada na inspeção mais recente

$d_i$  = Profundidade da anomalia medida pelo pig

$d_{m1}$  = Média das profundidades das anomalias registradas na inspeção 01

$d_{m2}$  = Média das profundidades das anomalias registradas na inspeção 02

$d_{mtr1}$  = Média de profundidade do trecho na inspeção 01

$d_{m_{tre2}}$  = Média de profundidade do trecho na inspeção 02

$D_{tre1}$  = Variável aleatória referente às profundidades dos defeitos da inspeção 01

$d_{tre1}$  = Profundidade do trecho na inspeção 01

$D_{tre2}$  = Variável aleatória referente às profundidades dos defeitos da inspeção 02

$d_{tre2}$  = Profundidade do trecho na inspeção 02

$E_p$  = Erro de medição do pig

$F(d)$  = Parâmetro obtido através de métodos de ordenação (Posto médio ou Posto Mediano) para as profundidades das anomalias

$F(rd)$  = Parâmetro obtido através de métodos de ordenação (Posto médio ou Posto Mediano) para as taxas de corrosão individuais

$F(t_r)$  = Parâmetro obtido através de métodos de ordenação (Posto médio ou Posto Mediano) para as espessuras remanescentes

$f_{D1}$  = Função densidade de probabilidade que rege a variável  $D_1$  referente às profundidades dos defeitos da inspeção 01.

$f_{D2}$  = Função densidade de probabilidade que rege a variável  $D_2$  referente às profundidades dos defeitos da inspeção 02.

$f_{D_{tre1}}$  = Função densidade de probabilidade que rege a variável  $D_{tre1}$  referente à média de profundidades do trecho na inspeção 01.

$f_{D_{tre2}}$  = Função densidade de probabilidade que rege a variável  $D_{tre2}$  referente à média de profundidades do trecho na inspeção 02.

$F_i$  = Coeficiente de atividade local

$li$  = Limite inferior do intervalo de confiança

$ls$  = Limite superior do intervalo de confiança

$m$  = Número de defeitos considerados para calcular a profundidade média local

$n$  = Parâmetro de vizinhança

$n_1$  = Número de anomalias da inspeção 01 presentes no trecho selecionado

$n_2$  = Número de anomalias da inspeção 02 presentes no trecho selecionado

$n_a$  = Número de elementos da amostra.

NC = Nível de Confiança

$n_d$  = Número de defeitos utilizados para o cálculo da taxa de corrosão

$n_{std}$  = Número de desvios padrão

$n_t$  = Número total de dados

$P_f$  = Pressão de falha

$Pr(r_n)$  = Probabilidades a priori

$Pr(r_n|Ef_{inspeção})$  = Probabilidades da taxa de corrosão dada uma eficiência da inspeção.

$r$  = Taxa de corrosão

$r_{calculada}$  = Taxa de corrosão calculada

$r_{caminho\_medio}$  = Valor da taxa de corrosão que representa o caminho médio entre a taxa de corrosão real e a calculada.

$r_{corrigida}$  = Valor da taxa de corrosão corrigido

$\delta_{rd}$  = Dispersão da taxa de corrosão

$r_d$  = Taxa de cada perda de metal

$r_{esperada}$  = Valor real da taxa de corrosão

$r_i$  = Taxa de corrosão da anomalia

$r_{tre}$  = Taxa de corrosão média do trecho

$s$  = Desvio padrão da amostra.

$s_{(d/t)}$  = Desvio padrão da ferramenta

$t$  = Espessura do tubo

$\delta_{tr}$  = Dispersão da espessura remanescente

$t_r$  = Espessura remanescente

$z_{\alpha/2}$  = Número de desvios padrões de uma distribuição

$\alpha$  = Parâmetro que representa a confiabilidade da taxa de corrosão

$\alpha_{\text{local}}$  = Parâmetro que representa a confiabilidade da taxa de corrosão local

$\alpha_s$  = Nível de significância

$\alpha_{\text{tre}}$  = Parâmetro que representa a confiabilidade da taxa de corrosão por trecho

$\Delta T$  = Intervalo entre as inspeções

$\Delta T_{\text{ope\_insp}}$  = intervalo de tempo entre a entrada de operação do duto e a realização da inspeção

$\mu$  = Média da população

$\mu_r$  = Taxa de corrosão estimada

$\sigma_{\text{pig}}$  = Desvio padrão do pig

$\sigma$  = Desvio padrão da taxa de corrosão

$\sigma_1$  = Desvio padrão do pig utilizado na inspeção 01

$\sigma_2$  = Desvio padrão do pig utilizado na inspeção 02

$\sigma_{2li}$  = Desvio padrão da profundidade média local

$\sigma_{\text{local}}$  = Incerteza da taxa de corrosão local

$\sigma_{\text{rm}}$  = Desvio padrão das diferenças das médias de profundidades

$\sigma_{\text{tre}}$  = Incerteza da taxa de corrosão por trecho

$\psi_d$  = Profundidade estimada

$\Psi_{\text{tr\_inspeção 01}}$  = Espessura remanescente estimada pelo ajuste dos dados da inspeção 01 à distribuição de valor extremo

$\Psi_{\text{tr\_inspeção 02}}$  = Espessura remanescente estimada pelo ajuste dos dados da inspeção 02 à distribuição de valor extremo

## Abreviatura

AAC = Área de Alta Consequência

CETESB = Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DOT = Department of Transportation

EGIG = European Gas Pipeline Incident Data Group

EMAT = Transdutor Acústico Eletromagnético

FBE = Fusion Bonded Epoxy

F.D.P = Função Densidade de Probabilidade

ILI = In-Line Inspection

MAOP = Maximum Allowable Operating Pressure

MFL = Magnetic Flux Leakage

MIC = Corrosão Induzida por Microorganismos

PDAM = Pipeline Defect Assessment Manual

PMO = Pressão Máxima de Operação

POF = Pipeline Operators Forum

PPTS = Pipeline Performance Tracking System

PRCI – Pipeline Research Council International

OPS = Office of Pipeline Safety

RTDT = Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural

SCADA=Sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados

SMYS = Specified Minimum Yield Strength

UT = Ultra-Som

W.T. = Wall Thickness

ZTA = Zona Termicamente Afetada