

8

Referências bibliográficas

- [1] PETROBRAS. **Portal GIDES: Gerenciamento de Integridade de Dutos e Equipamentos Submarinos**. Banco de dados de inspeção de dutos e equipamentos submarinos da Petrobras. Acesso em: 25 nov. 2008;
- [2] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 1160: Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines**, 2001;
- [3] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RP 580: Recommended Practice for Risk-Based Inspection**, 2002;
- [4] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API RP 581: Recommended Practice for Risk-Based Inspection Technology**, 2008;
- [5] CARVAJALINO, J.J.L. **Desempenho das Ferramentas de Inspeção em Linha e sua Influência na Confiabilidade Estrutural de Dutos Corroídos**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004;
- [6] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B31-G: Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines**, 1991;
- [7] DET NORSKE VERITAS. **DNV RP F101: Corroded Pipelines**, 1999;
- [8] VIETH, P.H.; KIEFNER, J.F. **A Modified Criterion for Evaluating the Remaining Strength of Corroded Pipe**. Contract PR-3-805, Pipeline Research Council International, Inc, American Gas Association, Catalog No. L51688Be, dec.1989;
- [9] BENJAMIN, A.C.; ANDRADE, E.Q. **Modified Method for the Assessment of the Remaining Strength of Corroded Pipelines**. Rio Pipeline Conference & Exposition, pp. 13, IBP413-03, 2003;
- [10] KASTNER, W.; ROHRICH, E.; SCHMITT, W.; STEINBUCH, R. **Critical crack sizes in ductile piping**. International Journal of Pressure Vessels and Piping, v.9, p.197-219, May 1981;
- [11] MUHLBAUER, W. K. **Pipeline Risk Management Manual: A tested and Proven System to Prevent Loss and Assess Risk**. 2.ed. Gulf Publishing Company, 1996;
- [12] FREIRE, J.L.F. **Manual de Avaliação de Integridade**. Notas de Aula do Curso de Integridade Estrutural. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006;
- [13] MUHLBAUER, W. K. **Pipeline Risk Management Manual: Ideas, Techniques, and Resources**. 3.ed. Gulf Publishing Company, 2004;
- [14] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B31.8S: Managing System Integrity of Gas Pipelines**, 2004;

- [15] COSHAM, A.; HOPKINS, P. **PDAM: The Pipeline Defect Assessment Manual**. A Report to the PDAM Joint Industry Project, Andrew Palmer and Associates. Draft Final Report, 2001;
- [16] KIEFNER, J.F.; MAXEY, W.A.; EIBER, R.J.; DUFFY, A.R. **The Failure Stress Levels of Flaws in Pressurized Cylinders**. ASTM STP 536, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 461-481, 1973;
- [17] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B31.4: Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids**, 2006;
- [18] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B31.8: Gas Transmission and Distribution Piping Systems**, 2007;
- [19] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B31.11: Slurry Transportation Piping Systems**, 2002;
- [20] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards 2004: sec.1 – Iron and steel products**. v.01.01 Steel: piping, tubing, fittings. West Conshohocken, Pa American Society for Testing and Materials, 2004;
- [21] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 5L: Specification for Linepipe**, 2001;
- [22] PETROBRAS. **Norma N-2786: Avaliação de Defeitos e Modos de Falha em Oleodutos e Gasodutos Terrestres e Submarinos Rígidos em Operação**, 2006;
- [23] DET NORSKE VERITAS. **DNV OS F101: Submarine Pipelines**, 2007;
- [24] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS8010: Code of Practice for Pipelines**, 1993;
- [25] IGE. **Steel pipeline for high pressure gas transmission**. Recommendations on transmission and distribution practice IGE/TD/1 edition 3 (communication 1530). The Institution of Gas Engineers, London, UK, 1993;
- [26] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO13623: Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems**, 2000;
- [27] CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA Z662-94: Oil and Gas Pipeline Systems**, 1969;
- [28] LEWIS, E.E. **Introduction to Reliability Engineering**. 2.ed. John Wiley & Sons. 1996;
- [29] MEYER, P.L. **Probabilidade: Aplicações à estatística**. Rio de Janeiro, LTC, 2.ed. 1983.
- [30] TRASPETRO. **PLANPIG 3.0: Aplicativo para Avaliação de Integridade e Gerenciamento do Plano de Inspeção por PIG Instrumentado**. Manual de Operação, ago.2008;
- [31] PIPELINE OPERATORS' FORUM. **Specifications and requirements for intelligent pig inspection of pipelines**, Jan.2005;

- [32] CARVAJALINO, J.J.L.; MARANGONE, F.C.; FREIRE, J.L.F. **Performance of In-Line Inspection Tools and Their Influence on the Structural Reliability of Corroded Pipelines**. International Pipeline Conference. Calgary, Alberta, Canada, Sept.2006;
- [33] PRCI. **Pipeline Research Council International**. Homepage Institucional. Disponível em: <<http://www.prci.org/>>. Acesso em: 25 nov. 2008;
- [34] OPIS: **Optimized Pipeline Inspection Scheduling**. A User's Guide. Pipeline Research Council International, 2006;
- [35] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API 570: Inspection, Repair, Alteration, and Rerating of In-service Piping Systems**, 1998;

A

Métodos de avaliação de defeitos de corrosão conforme a Parte B da Prática Recomendada DNV-RP-F101

A.1.

Avaliação de defeito isolado com carregamento de pressão interna somente

Defeitos adjacentes podem interagir com o defeito avaliado produzindo uma pressão de falha inferior à pressão de falha calculada na condição de defeito isolado. Para um defeito de corrosão ser avaliado como um defeito isolado, o mesmo deve manter espaçamentos mínimos com relação aos defeitos adjacentes, nas direções longitudinais e circunferenciais, conforme apresentado nas expressões A.1 e A.2. Para os casos em que a interação é observada, a formulação para avaliação de defeito isolado não é mais válida, sendo necessário avaliar o(s) defeito(s) pelo critério da interação de defeitos.

$$f > 360\sqrt{\frac{t}{D}} \quad (\text{A.1})$$

$$s > 2.0\sqrt{Dt} \quad (\text{A.2})$$

Sendo,

$f \rightarrow$ Espaçamento circunferencial angular entre defeitos adjacentes, em graus;

$s \rightarrow$ Espaçamento longitudinal entre defeitos adjacentes;

$D \rightarrow$ Diâmetro externo do duto;

$t \rightarrow$ Espessura de parede nominal do duto;

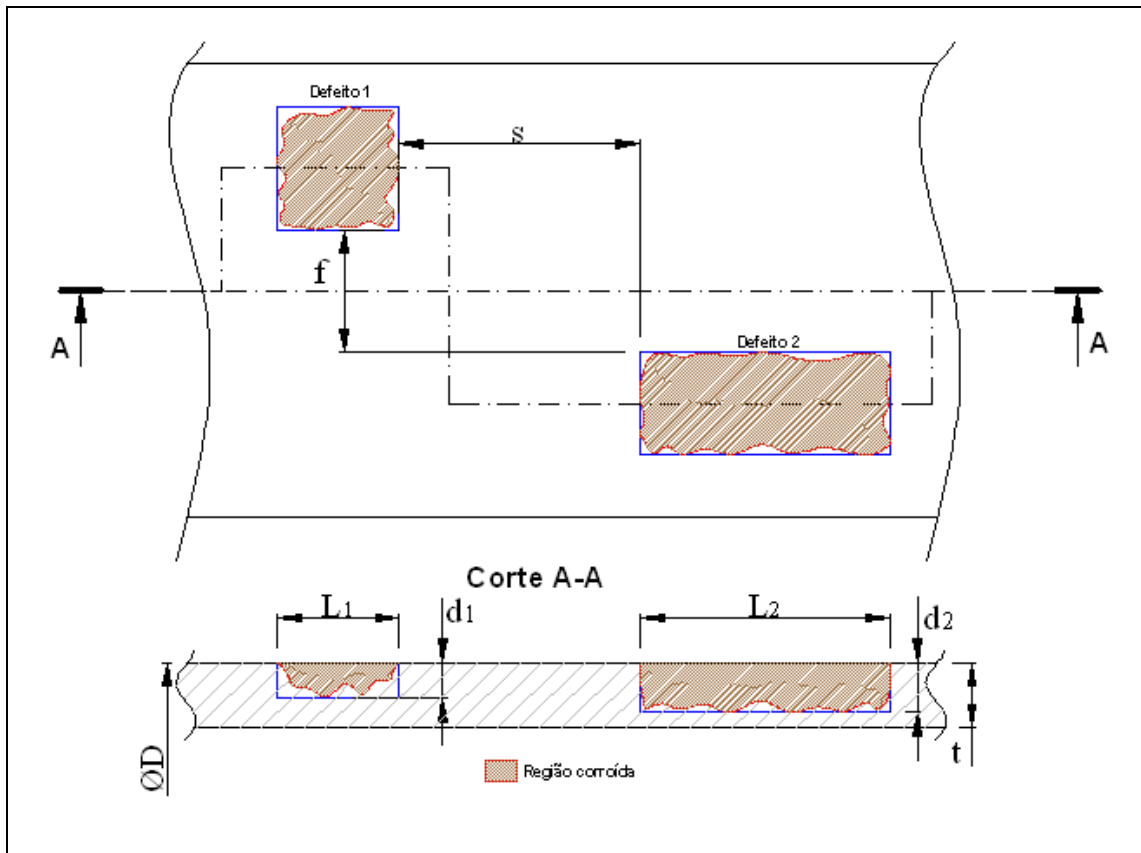


Figura A.1 - Dimensões para caracterização de um defeito isolado conforme DNV RP F101 [17]

Uma vez realizada a caracterização do defeito como isolado, a expressão para cálculo da pressão de falha, para carregamento de pressão interna somente, pode ser observada na Equação A.3.

$$P_f = \frac{2 \cdot t \cdot UTS}{(D - t)} \left[\frac{1 - \frac{d}{t}}{1 - \frac{d}{t \cdot Q}} \right] \quad (\text{A.3})$$

Onde,

$$Q = \sqrt{1 + 0,31 \left(\frac{L}{\sqrt{Dt}} \right)^2} \quad (\text{A.4})$$

Sendo,

$UTS \rightarrow$ Resistência à tração do material;

$d \rightarrow$ Profundidade do defeito;

$L \rightarrow$ Comprimento do defeito;

Para se definir a pressão de operação segura (P_{sw}), deve-se multiplicar a pressão de falha (P_f) pelo fator F , onde $F = F_1 \cdot F_2$.

Sendo,

$F \rightarrow$ “*Total Usage Factor*”

$F_1 \rightarrow 0,9$ (“*Modelling Factor*”)

$F_2 \rightarrow$ Fator de projeto

A.2.

Avaliação de defeito isolado com carregamento combinado de pressão interna com tensão longitudinal compressiva

A pressão operação segura de um defeito isolado, com carregamento combinado de pressão interna e compressão longitudinal, pode ser estimada utilizando o seguinte procedimento:

PASSO 1: Determinar a tensão longitudinal combinada (S_L), no local do defeito de corrosão, a partir de carregamentos externos, como carga axial, dobramento e temperatura no duto. Calcular a tensão longitudinal nominal elástica, aplicada sobre o duto, no local do defeito, baseado na espessura de parede nominal.

PASSO 2: Determinar se é necessário ou não considerar o efeito do carregamento longitudinal compressivo externo na pressão de falha de um defeito isolado. Se S_L for menor ou igual a S_1 , a tensão longitudinal combinada externa (S_L) deve ser considerada, onde S_1 é calculado conforme a Equação A.5. A Figura A.2 ilustra a influência de carregamentos externos no modo de falha de um duto rígido.

$$S_1 = -0,5 \cdot UTS \frac{\left(1 - \frac{d}{t}\right)}{\left(1 - \frac{d}{t \cdot Q}\right)} \quad (\text{A.5})$$

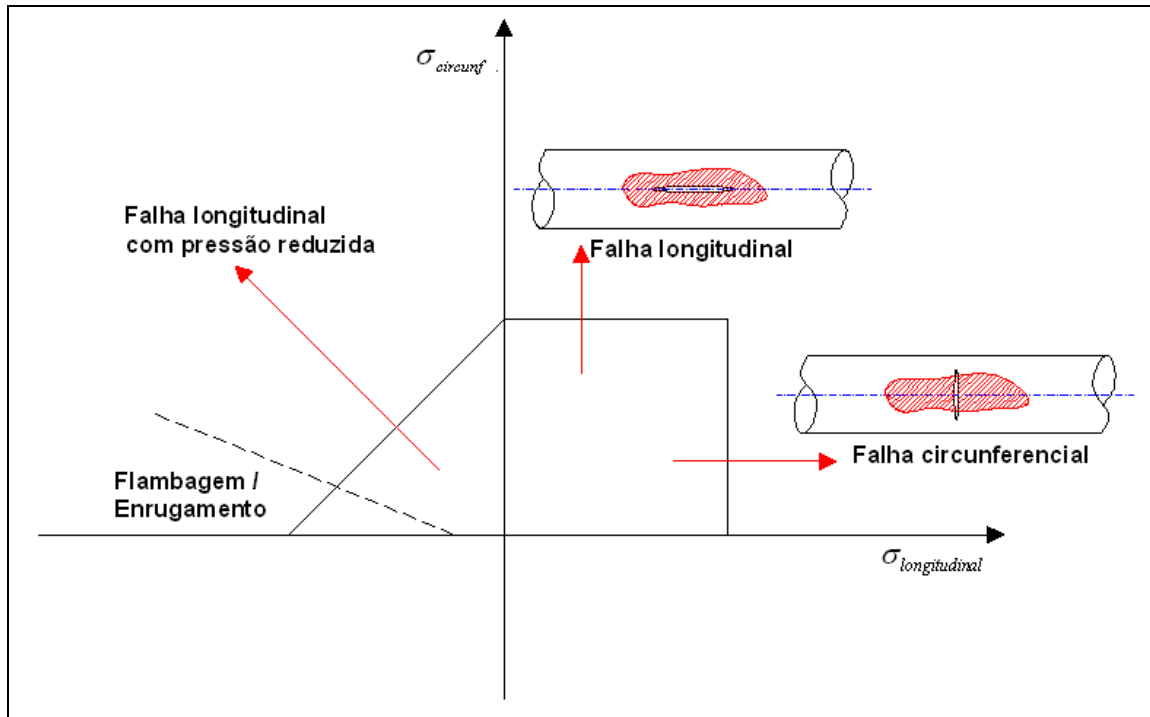


Figura A.2 - Influência dos carregamentos externos no modo de falha de um duto de aço conforme [17]

PASSO 3: Calcular a pressão de falha do defeito de corrosão isolado com carregamento de pressão interna somente, conforme a Equação A.6.

$$P_{press} = \frac{2 \cdot t \cdot UTS}{(D-t)} \left[\frac{1 - \frac{d}{t}}{1 - \frac{d}{t \cdot Q}} \right] \quad (\text{A.6})$$

Onde,

$$Q = \sqrt{1 + 0,31 \left(\frac{L}{\sqrt{Dt}} \right)^2} \quad (\text{A.7})$$

PASSO 4: Calcular a pressão de falha para uma ruptura longitudinal, incluindo a correção para a influência da tensão longitudinal compressiva externa, conforme Equação A.8.

$$P_{comp} = \frac{2 \cdot t \cdot UTS}{(D-t)} \left[\frac{1 - \frac{d}{t}}{1 - \frac{d}{t \cdot Q}} \right] \cdot H_1 \quad (A.8)$$

Onde,

$$H_1 = \frac{1 + \frac{S_L}{UTS} \frac{1}{A_r}}{1 - \frac{1}{2A_r} \left(\frac{1 - \frac{d}{t}}{1 - \frac{d}{t \cdot Q}} \right)} \quad (A.9)$$

$$A_r = \left(1 - \frac{d}{t} q \right) \quad (A.10)$$

PASSO 5: Determinar a pressão de falha para o defeito isolado sob carregamento combinado de pressão interna e carga longitudinal compressiva conforme a Equação A.11.

$$P_f = \min(P_{press}, P_{comp}) \quad (A.11)$$

PASSO 6: Calcular a pressão de operação segura (P_{sw}) conforme a Equação A.12.

$$P_{sw} = F_1 \cdot F_2 \cdot P_f \quad (A.12)$$

A.3.

Avaliação da interação de defeitos

As regras de interação de defeitos são estritamente válidas para dutos com defeitos de corrosão sujeitos a pressão interna somente. As regras podem ser utilizadas para determinar se defeitos adjacentes interagem, sob outras condições de carregamento, de acordo com o

julgamento do usuário. No entanto, usar essas regras de interação pode ser não conservativo para outras condições de carregamento. As informações mínimas requeridas são:

- a) A posição angular de cada defeito ao longo da circunferência do duto;
- b) O espaçamento longitudinal entre defeitos adjacentes;
- c) Se os defeitos são internos ou externos;
- d) O comprimento de cada defeito individual;
- e) A profundidade de cada defeito individual;
- f) A largura de cada defeito individual.

A pressão de operação segura pode ser estimada a partir do seguinte procedimento:

PASSO 1: Para regiões onde existe uma perda de metal de fundo uniforme (menor que 10% da espessura de parede), a espessura de parede local do tubo e profundidade do defeito na região podem ser usadas conforme Figura A.3.

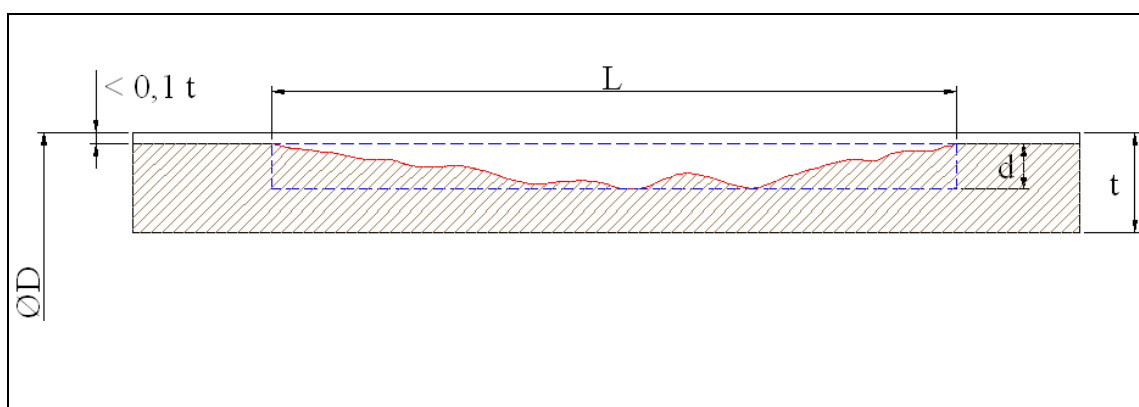


Figura A.3 - Ajustamento da profundidade de defeitos em regiões com corrosão de fundo conforme apresentado em [17]

PASSO 2: A seção corroída do duto deve ser dividida em seções de comprimento mínimo de $5,0\sqrt{Dt}$, com uma sobreposição mínima de $2,5\sqrt{Dt}$. Os PASSOS de 3 a 12 devem ser repetidos para cada comprimento seccionado de forma a avaliar todas as possíveis interações.

PASSO 3: Construir uma série de linhas orientadas longitudinalmente na circunferência do duto, com espaçamento angular circunferencial de Z , conforme se segue:

$$Z = 360\sqrt{\frac{t}{D}} \text{ (graus)} \quad (\text{A.13})$$

PASSO 4: Considerar cada linha projetada. Os defeitos existentes em uma região de $\pm Z$, no sentido circunferencial, devem ser projetados na linha considerada, conforme a Figura A.4.

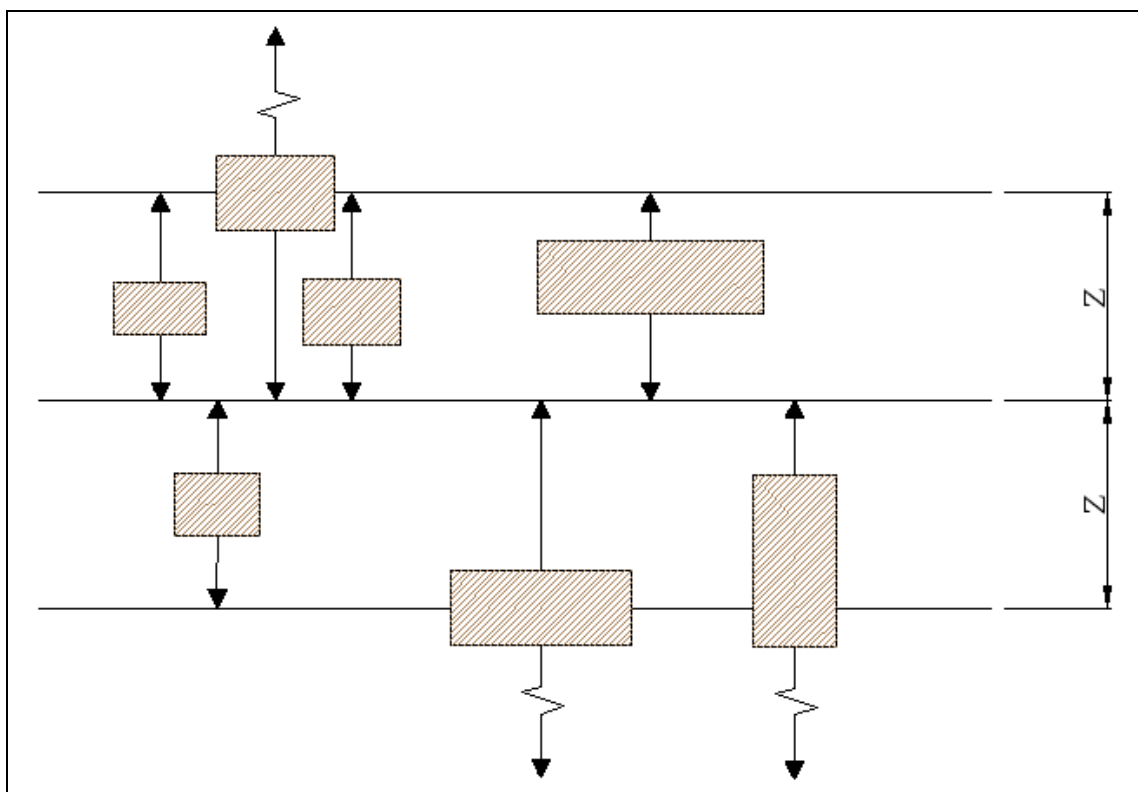


Figura A.4 - Projeção dos defeitos interagindo circunferencialmente, conforme apresentado em [17]

PASSO 5: Onde os defeitos se sobrepõem, eles devem ser combinados para formar um defeito composto na linha de projeção considerada. Este processo é executado pela combinação do comprimento, e a profundidade do defeito mais profundo, conforme Figura A.5. Se a projeção do defeito composto se formar a partir da sobreposição de defeitos internos e externos, então a profundidade do defeito composto é a soma das máximas profundidades, dos defeitos interno e externo, conforme Figura A.6.

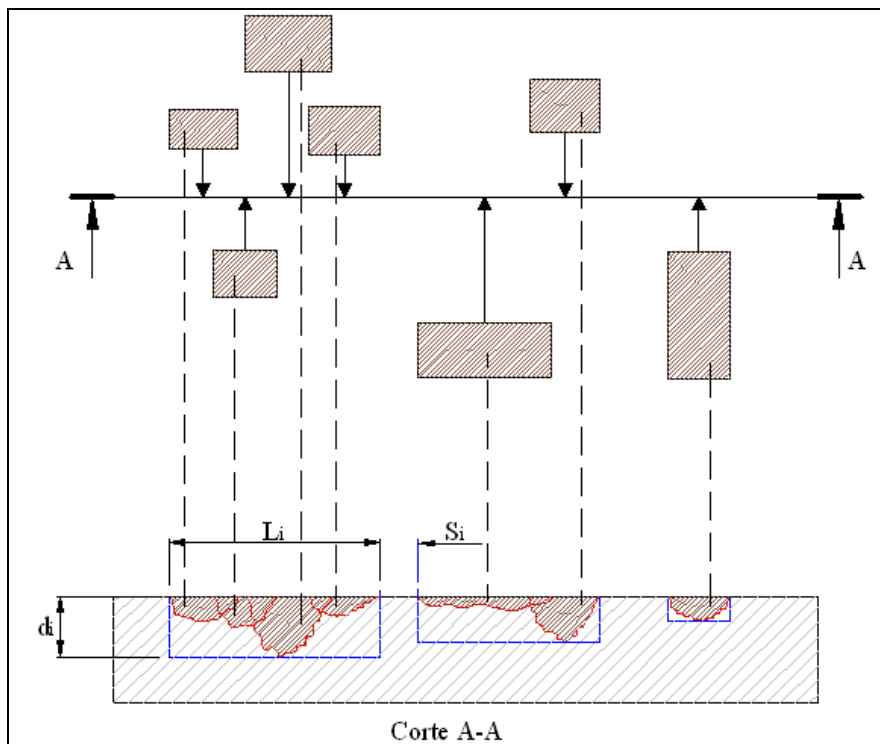


Figura A.5 - Projeção de sobreposição de defeitos em uma única linha de projeção com a formação de um defeito composto

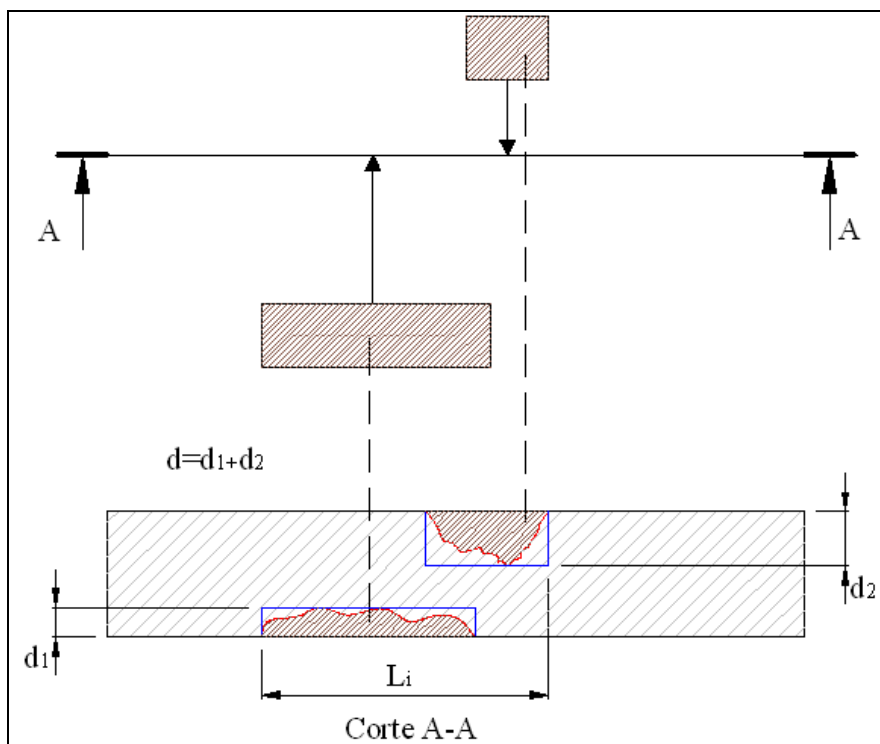


Figura A.6 - Projeção de defeitos internos e externos sobrepostos

PASSO 6: Calcular a pressão de falha ($P_1, P_2, \dots, P_n$) de cada defeito, para N defeitos, tratando cada defeito, ou composição de defeitos, como um único defeito, de acordo com a Equação A.14.

$$P_i = \frac{2 \cdot t \cdot UTS}{(D - t)} \left[\frac{1 - \frac{d_i}{t}}{1 - \frac{d_i}{t \cdot Q_i}} \right] \Rightarrow i = 1, \dots, N \quad (A.14)$$

Onde,

$$Q_i = \sqrt{1 + 0,31 \left(\frac{L_i}{\sqrt{D \cdot t}} \right)^2} \quad (A.15)$$

PASSO 7: Calcular o comprimento combinado para todas as combinações de defeitos adjacentes, conforme Figuras A.7 e A.8. Para defeitos de n para m , o comprimento total é calculado pela Equação A.16.

$$L_{nm} = L_m + \sum_{i=n}^{i=m-1} (L_i + s_i) \Rightarrow n, m = 1, \dots, N \quad (A.16)$$

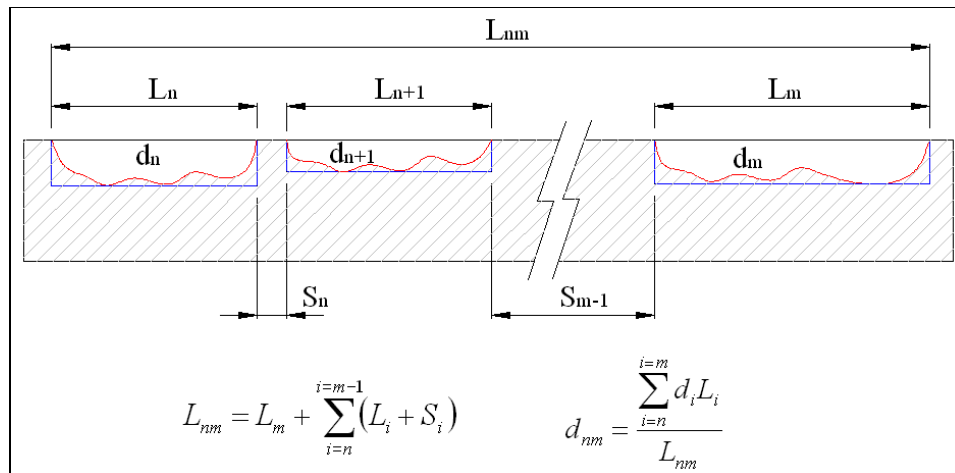


Figura A.7 - Combinação de interação de defeitos, conforme definido em [17]

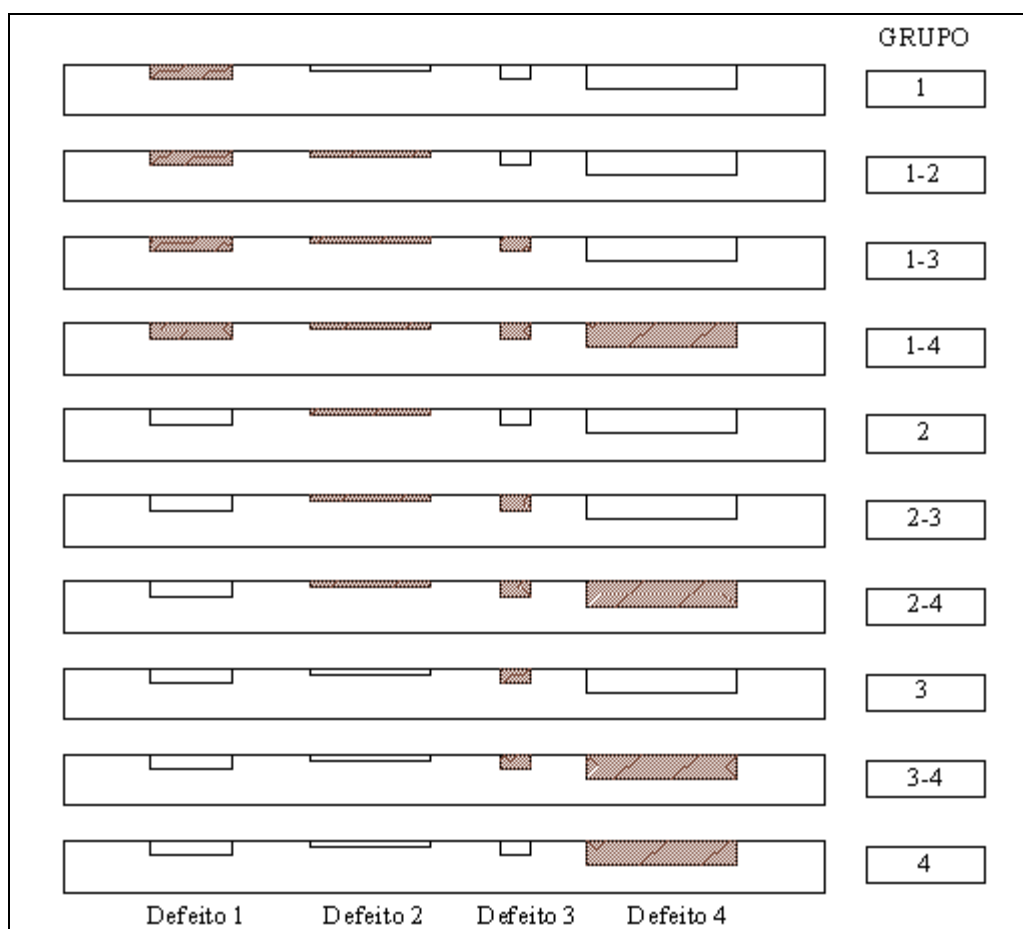


Figura A.8 - Exemplo de agrupamento de defeitos adjacentes para encontrar o grupamento que fornece o menor valor de pressão estimada de ruptura, adaptado de [17]

PASSO 8: Calcular a profundidade efetiva para todas as combinações de defeitos adjacentes, conforme Figuras A.7 e A.8. Para defeitos de n para m , a profundidade efetiva é calculada pela Equação A.17.

$$d_{nm} = \frac{\sum_{i=n}^{i=m} d_i L_i}{L_{nm}} \quad (\text{A.17})$$

PASSO 9: Calcular a pressão de falha para todas as combinações de defeitos adjacentes de n até m (P_{nm}), usando os valores L_{nm} e d_{nm} calculados, conforme Equação A.18.

$$P_{nm} = \frac{2 \cdot t \cdot UTS}{(D-t)} \left[\frac{1 - \frac{d_{nm}}{t}}{1 - \frac{d_{nm}}{t \cdot Q_{nm}}} \right] \quad (A.18)$$

Onde,

$$Q_{nm} = \sqrt{1 + 0,31 \left(\frac{L_{nm}}{\sqrt{Dt}} \right)^2} \quad (A.19)$$

PASSO 10: A pressão de falha para a linha longitudinal projetada considerada é obtida pelo mínimo valor entre as pressões de falha calculadas de todos os defeitos individuais (P_1 até P_n), e todas as combinações de defeitos individuais (P_{nm}), na linha longitudinal projetada considerada, conforme Equação A.20.

$$P_f = \min(P_1, P_2, \dots, P_N, P_{nm}) \quad (A.20)$$

PASSO 11: Calcular a pressão de operação segura (P_{sw}) conforme a Equação 6.41.

$$P_{sw} = F_1 \cdot F_2 \cdot P_f \quad (A.21)$$

PASSO 12: A pressão de operação segura para uma seção do duto é obtida pelo mínimo valor das pressões de operação seguras calculadas para cada linha longitudinal projetada ao redor da circunferência.

PASSO 13: Repetir os passos de 3 a 12 para a próxima seção do duto corroído.

A.4.

Avaliação de defeitos de forma complexa

Este método deve ser somente aplicado em defeitos sujeitos a carregamento de pressão interna somente. As informações mínimas requeridas são:

- 1) Um perfil de comprimento e profundidade para a forma complexa. O comprimento deve ser o comprimento longitudinal do defeito ao longo do duto. A profundidade, a um dado comprimento longitudinal ao longo do defeito, deve ser a máxima profundidade ao redor da circunferência para o dado comprimento longitudinal (i.e. um perfil de fundo de rio para cada defeito);

- 2) O comprimento do perfil deve incluir todo material entre o início e o fim do defeito de forma complexa.

O princípio básico deste método é determinar se o defeito se comporta como um irregular “*patch*” ou se os “*pits*” localizados dentro de um “*patch*” dominam a falha.

Este método realiza uma progressiva análise em função da profundidade, onde a corrosão é dividida em um número de incrementos baseados na profundidade (d_j). Em cada incremento de profundidade, o defeito de corrosão é modelado de forma a ser representado por um “*patch*” contendo um número de “*pits*”. A figura A.9 define bem o que é uma área de “*patch*” e uma área de “*pit*”.

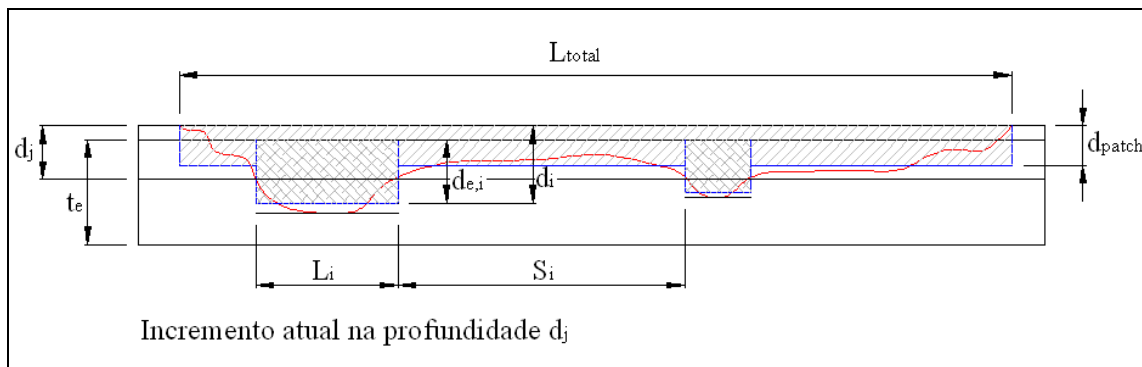


Figura A.9 - Subdivisão dos defeitos complexos em “*patch*” e “*pits*” idealizados

A pressão de operação segura para um defeito de forma complexa pode ser estimada a partir do seguinte procedimento:

PASSO 1: Calcular a profundidade média (d_{ave}) do defeito de forma complexa como

$$d_{ave} = \frac{A}{L_{total}}, \text{ sendo } A = A_{patch} + A_{pit}.$$

PASSO 2: Calcular a pressão de falha do perfil total (P_{total}), usando d_{ave} e L_{total} na Equação A.22 para defeito isolado.

$$P_{total} = \frac{2 \cdot t \cdot UTS}{(D - t)} \left[\frac{1 - \frac{d_{ave}}{t}}{1 - \frac{d_{ave}}{t \cdot Q_{total}}} \right] \quad (A.22)$$

Onde,

$$Q_{total} = \sqrt{1 + 0,31 \left(\frac{L_{total}}{\sqrt{Dt}} \right)^2} \quad (A.23)$$

PASSO 3: Dividir a máxima profundidade em incrementos, e realizar os cálculos abaixo para todos os incrementos (d_j), conforme Figura A.9. Cada subdivisão do perfil separa o perfil em idealizadas porções de “*patch*”, mais rasas que a subdivisão de profundidade, e em “*pits*” que são mais profundos que a subdivisão, conforme observado na Figura A.10. O número recomendado de incrementos é entre 10 e 50.

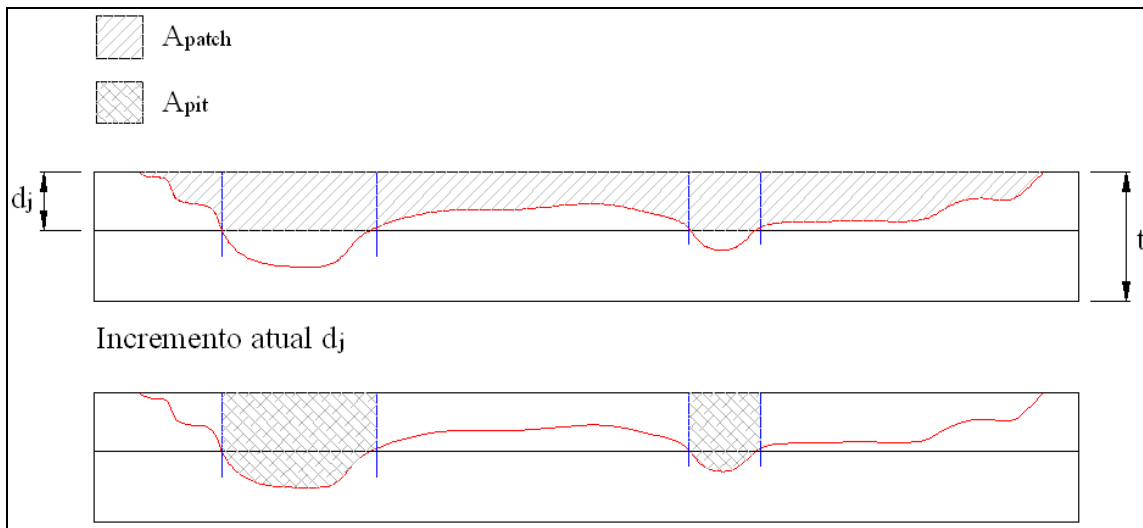


Figura A.10 - Definição das áreas de “*patch*” e de “*pit*”

PASSO 4: Calcular a profundidade média para um “*patch*” (d_{patch}) idealizado conforme Figura A.24, sendo:

$$d_{patch} = \frac{A_{patch}}{L_{total}} \quad (A.24)$$

PASSO 5: Calcular a pressão de falha de um “*patch*” idealizado, usando L_{total} e d_{patch} na equação de defeito isolado.

$$P_{patch} = \frac{2 \cdot t \cdot UTS}{(D-t)} \left[\frac{1 - \frac{d_{patch}}{t}}{1 - \frac{d_{patch}}{t \cdot Q_{total}}} \right] \quad (A.25)$$

Onde,

$$Q_{total} = \sqrt{1 + 0,31 \left(\frac{L_{total}}{\sqrt{D \cdot t}} \right)^2} \quad (A.26)$$

PASSO 6: Para cada “pit” idealizado, calcular a área perdida no cilindro de espessura nominal, como apresentado na Figura A.27, para o intervalo de profundidade considerado, e estimar a profundidade média de cada “pit” idealizado como:

$$d_i = \frac{A_{i,pit}}{L_i} \Rightarrow i = 1, \dots, N \quad (A.27)$$

PASSO 7: Conforme a Equação A.28, estimar a espessura efetiva de um tubo “equivalente” com a mesma pressão de falha para o “patch”, (P_{patch}), como calculada no PASSO 5.

$$t_e = \frac{P_{patch} \cdot D}{(2 \cdot UTS + P_{patch})} \quad (A.28)$$

PASSO 8: A profundidade média de cada “pit” é corrigida para a espessura efetiva (t_e) usando:

$$d_{ei} = d_i - (t - t_e) \quad (A.29)$$

PASSO 9: Calcular a pressão de falha de todos os “pits” idealizados individuais ($P_1, P_2, \dots, P_n$) como defeitos isolados, usando a profundidade média “correta” (d_{ei}) e o comprimento longitudinal de cada “pit” idealizado (l_i) na equação de defeito isolado:

$$P_i = \frac{2 \cdot t_e \cdot UTS}{(D - t_e)} \left[\frac{1 - \frac{d_{ei}}{t_e}}{1 - \frac{d_{ei}}{t_e \cdot Q_i}} \right] \quad (\text{A.30})$$

Onde,

$$Q_i = \sqrt{1 + 0,31 \left(\frac{L_i}{\sqrt{D \cdot t_e}} \right)^2} \quad (\text{A.31})$$

PASSO 10: Calcular o comprimento combinado de todas as combinações de defeitos adjacentes (ver Figuras A.7 e A.8). Para defeitos de n para m , o comprimento total é obtido por:

$$L_{nm} = L_m + \sum_{i=n}^{i=m-1} (L_i + s_i)_{n,m} \Rightarrow 1, \dots, N \quad (\text{A.32})$$

PASSO 11: Calcular a profundidade efetiva do defeito combinado, para todos os “pits” idealizados individuais, de n até m , como se segue:

$$d_{e,nm} = \frac{\sum_{i=n}^{i=m} d_{ei} L_i}{L_{nm}} \quad (\text{A.33})$$

PASSO 12: Calcular a pressão de falha dos defeitos combinados de n até m (P_{nm}) (ver Figura A.8), usando L_{nm} , t_e e $d_{e,nm}$ na equação de defeitos isolados:

$$P_{nm} = \frac{2 \cdot t_e \cdot UTS}{(D - t_e)} \left[\frac{1 - \frac{d_{e,nm}}{t_e}}{1 - \frac{d_{e,nm}}{t_e \cdot Q_{nm}}} \right] \quad (\text{A.34})$$

Onde,

$$Q_{nm} = \sqrt{1 + 0,31 \left(\frac{L_{nm}}{\sqrt{D \cdot t_e}} \right)^2} \quad (\text{A.35})$$

PASSO 13: A pressão de falha para um dado incremento na profundidade é obtida pelo mínimo valor de todas as pressões de ruptura como se segue:

$$P_f^j = \min(P_1, P_2, \dots, P_N, P_{nm}, P_{patch}, P_{total}) \quad (A.36)$$

PASSO 14: Repetir os PASSOS de 4 a 13 para o próximo intervalo de incremento na profundidade (d_j) até a máxima profundidade do perfil de corrosão tenha sido alcançada.

PASSO 15: Calcular a pressão de falha de acordo com a equação de defeito isolado, usando a máxima profundidade e o comprimento total do defeito.

PASSO 16: A pressão de falha de um defeito de forma complexa (P_f) deve ser obtida como o mínimo valor de pressão de ruptura calculada para todos os incrementos de profundidade, mas não menor que a pressão de ruptura para calculada para um defeito simples isolado.

PASSO 17: Calcular a pressão de operação segura (P_{sw}) de um defeito complexo como:

$$P_{sw} = F_1 \cdot F_2 \cdot P_{rup} \quad (A.37)$$

B

Sensibilidade dos programas OPIS e CONFIABILIDADE à severidade dos defeitos no cálculo da POF para os dutos avaliados no Capítulo 6

B.1.

Avaliação Imediata

B.1.1.

Duto 1

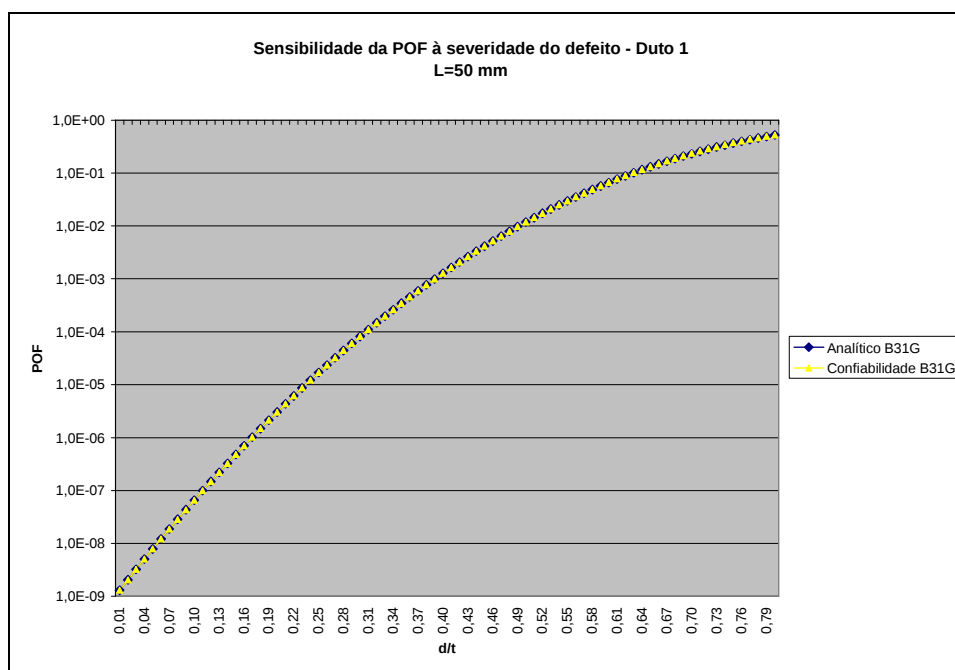


Figura B.1 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 1 na opção ASME B31G

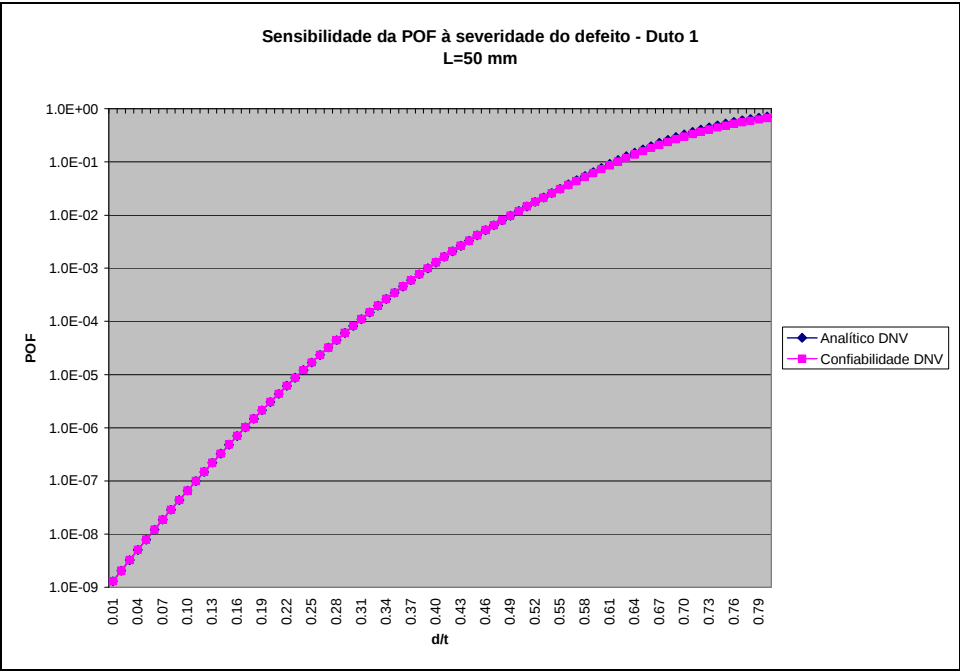


Figura B.2 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 1 na opção DNV RP F101

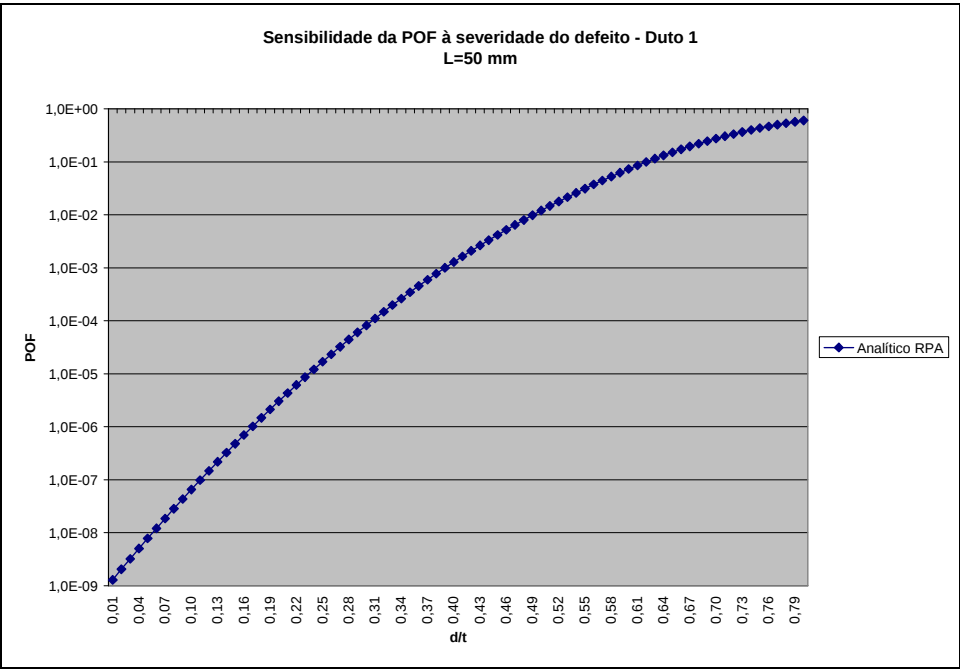


Figura B.3 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 1 na opção RPA

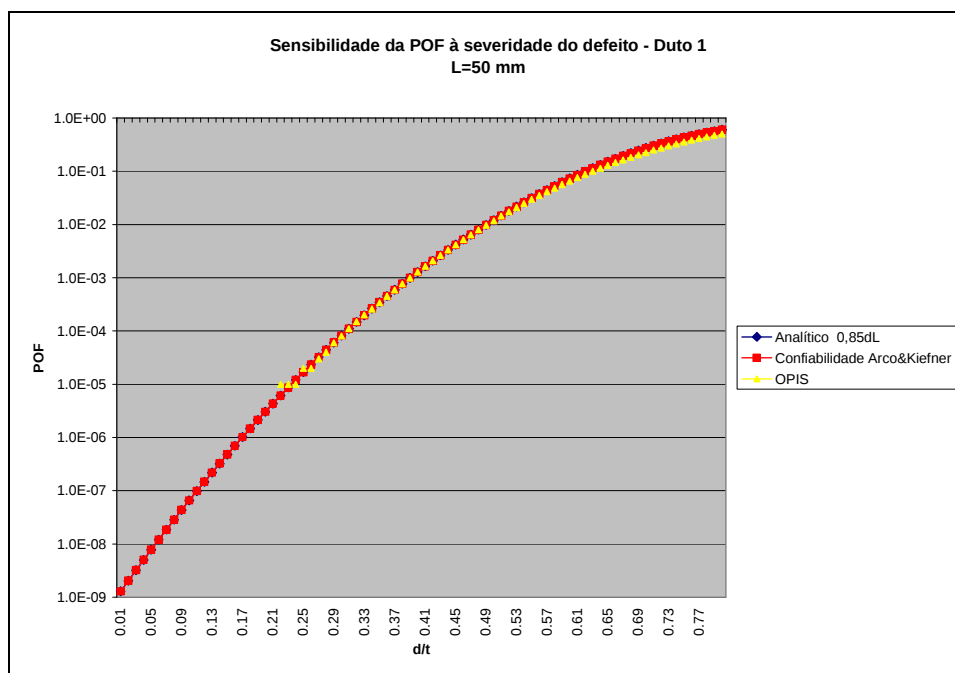


Figura B.4 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 1 na opção RStreng 0,85dL

B.1.2. Duto 2

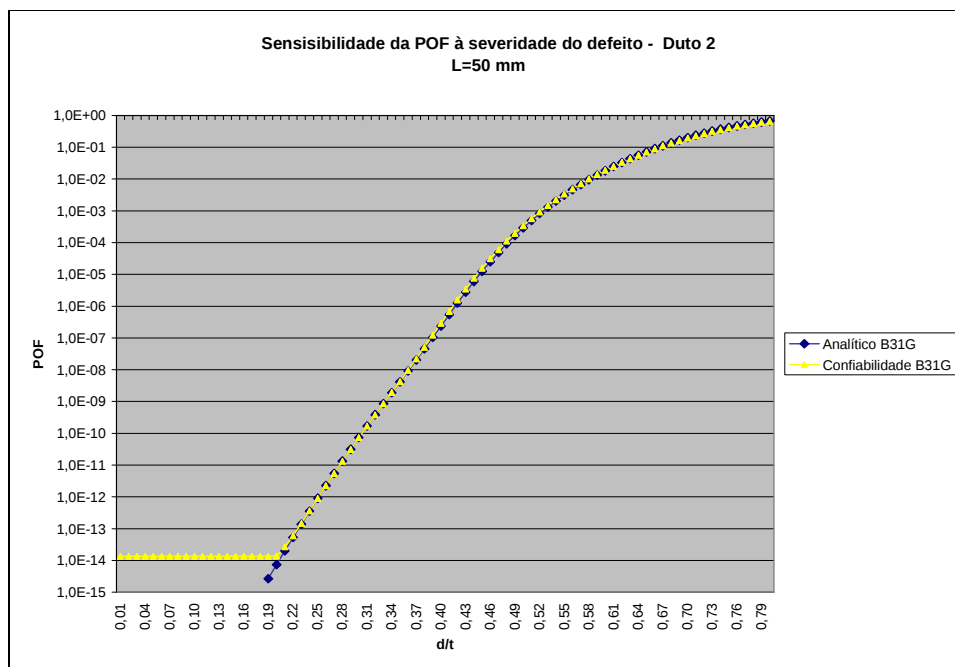


Figura B.5 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 2 na opção ASME B31G

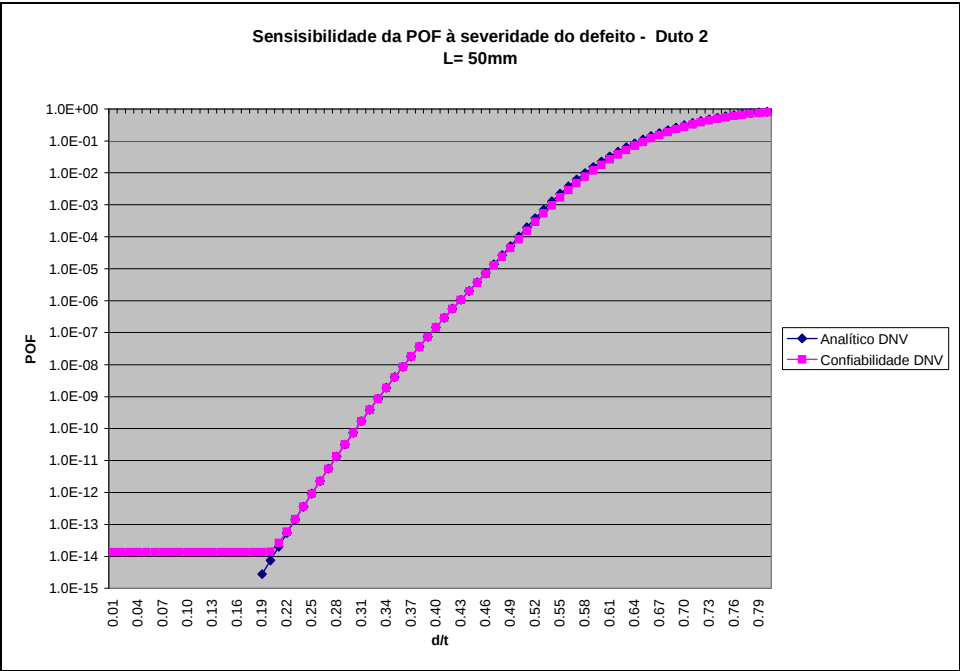


Figura B.6 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 2 na opção DNV RP F101

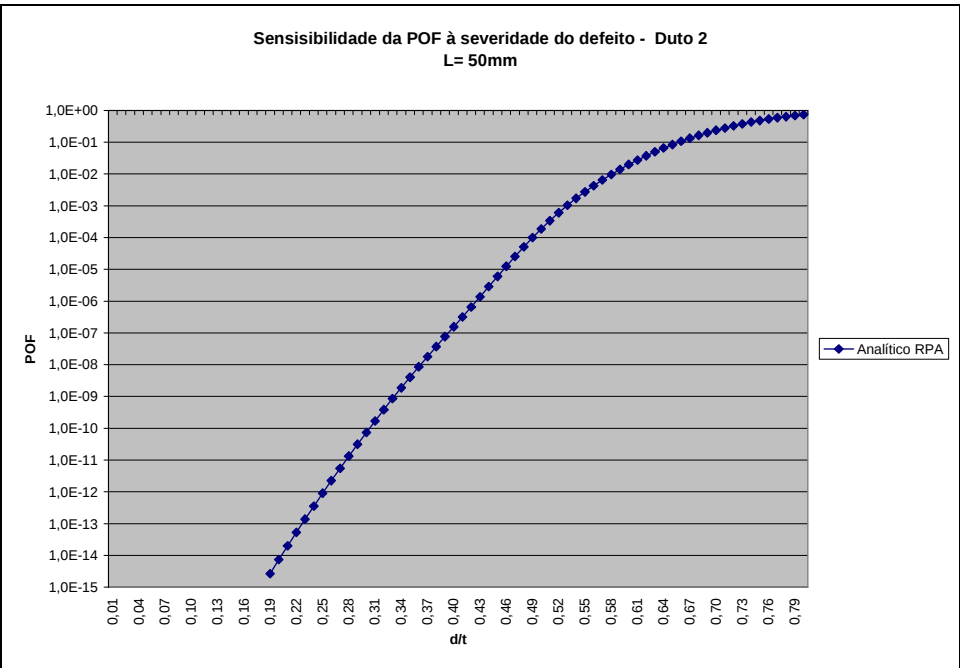


Figura B.7 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 2 na opção RPA

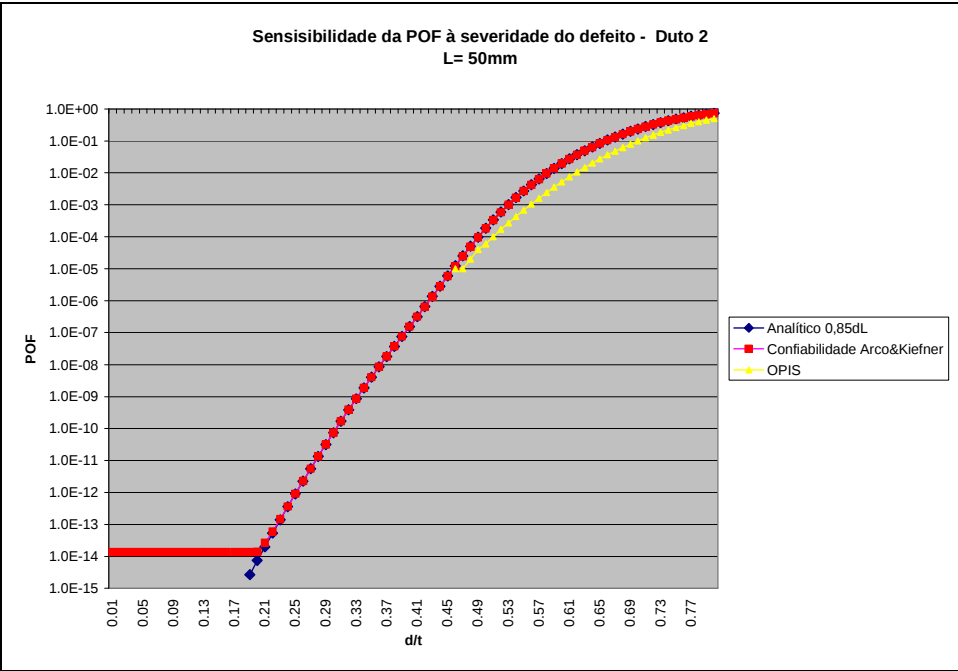


Figura B.8 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 2 na opção RSteng 0,85dL

**B.1.3.
Duto 3**

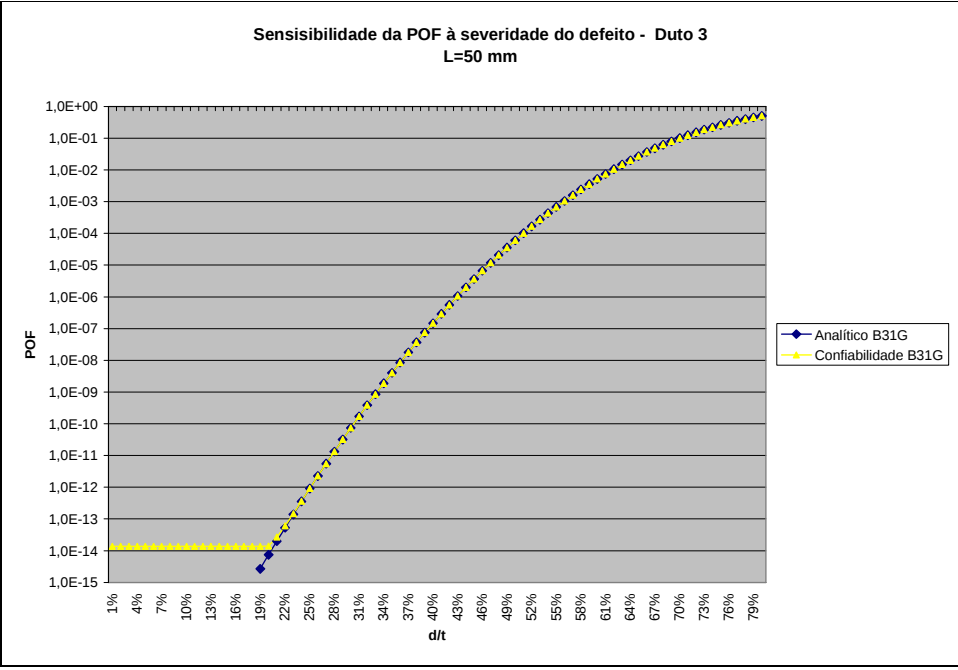


Figura B.9 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 3 na opção ASME B31G

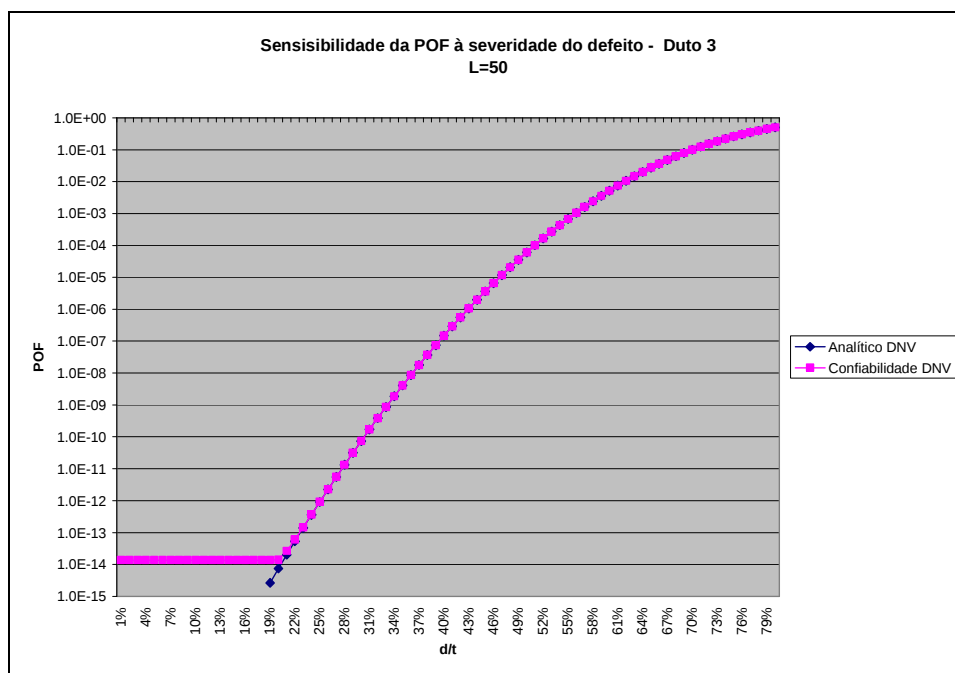


Figura B.10 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 3 na opção DNV RP F101

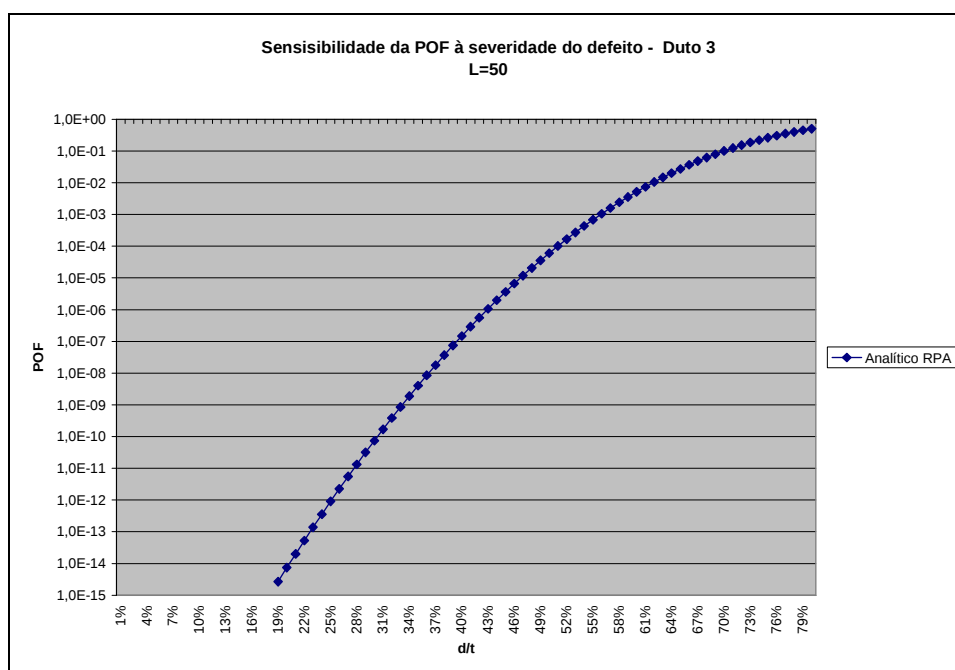


Figura B.11 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 3 na opção RPA

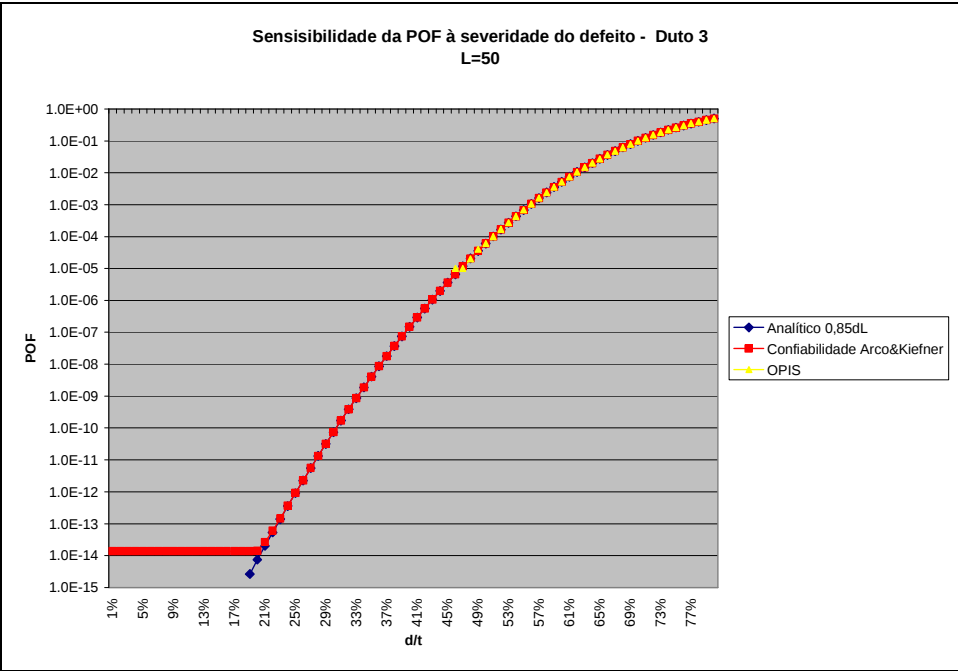


Figura B.12 - Sensibilidade da POF imediata em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 3 na opção RStreng 0,85dL

B.2.
Avaliação Futura

B.2.1.
Duto 1

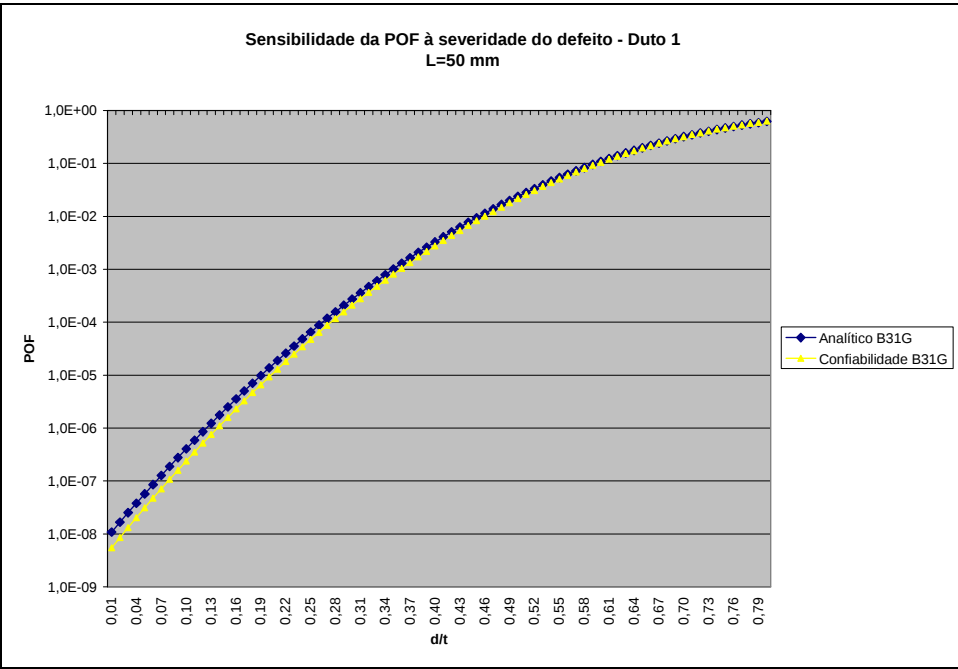


Figura B.13 - Sensibilidade da POF em 10 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 1 na opção ASME B31G

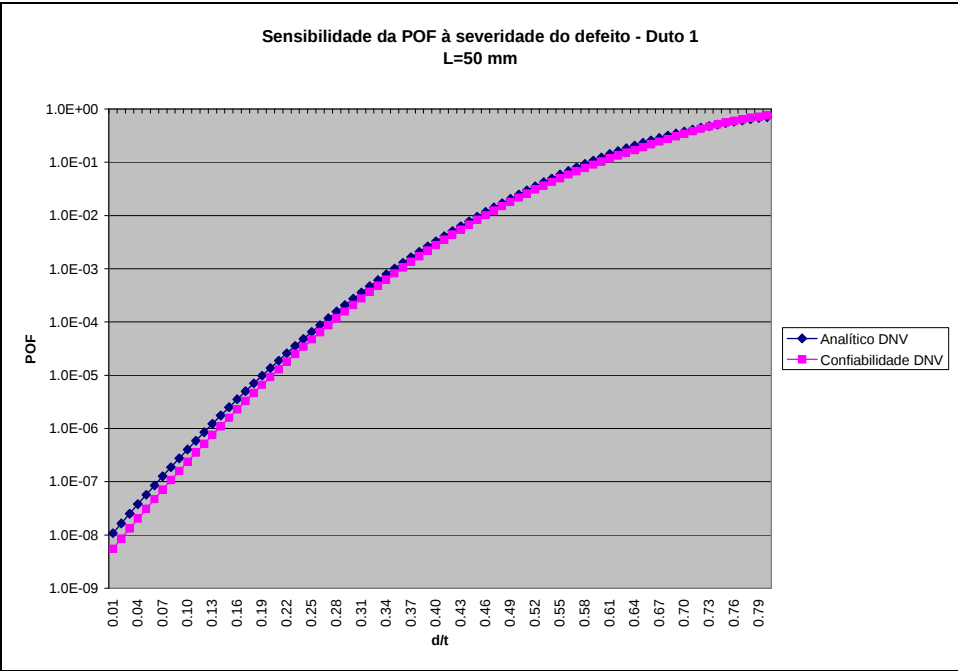


Figura B.14 - Sensibilidade da POF em 10 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 1 na opção DNV RP F101

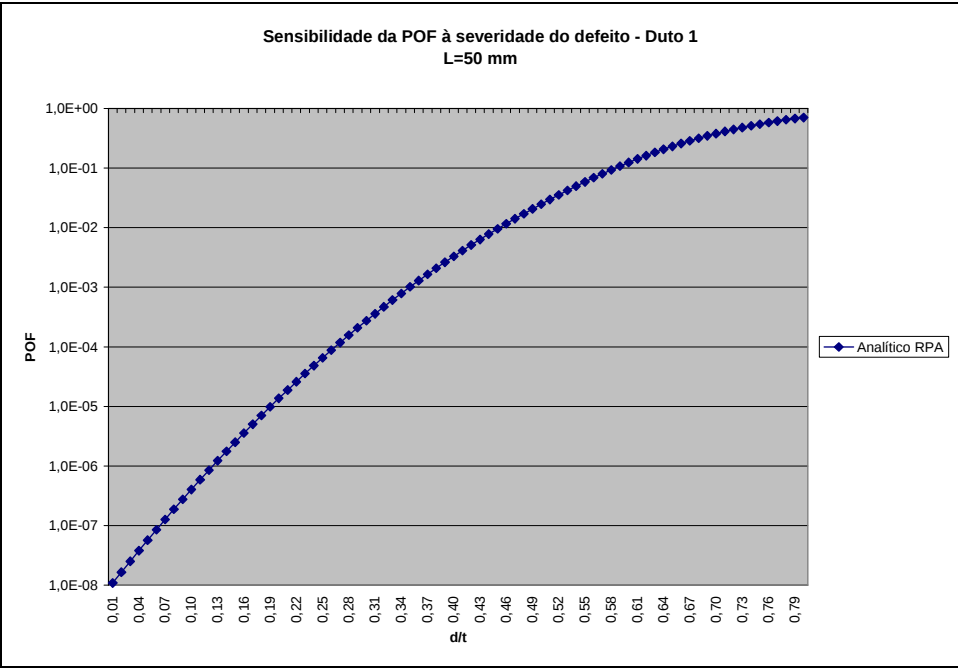


Figura B.15 - Sensibilidade da POF em 10 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 1 na opção RPA

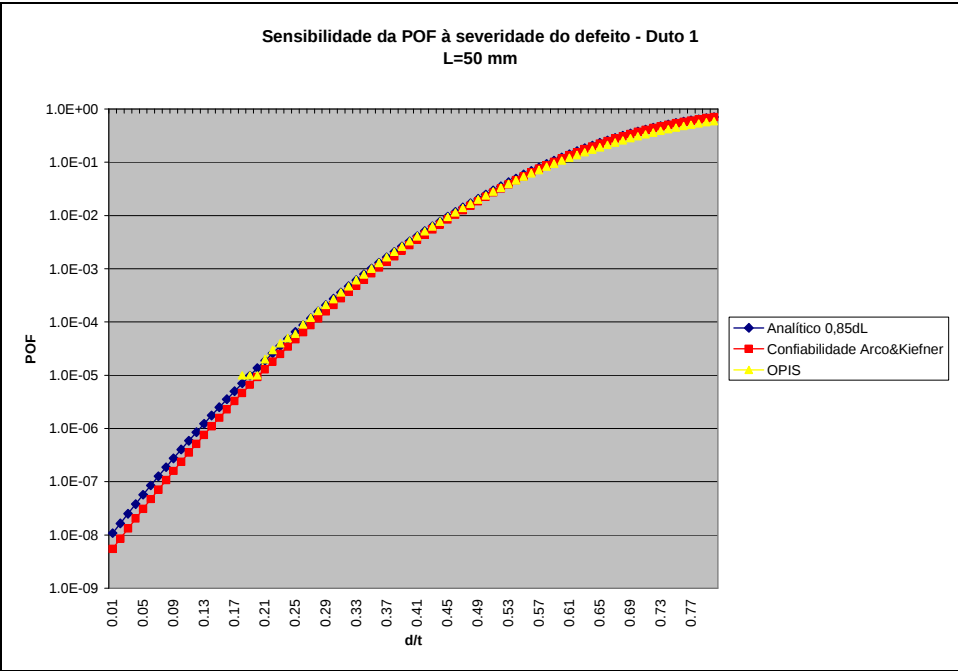


Figura B.16 - Sensibilidade da POF em 10 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 1 na opção RStreng 0,85dL

**B.2.2.
Duto 2**

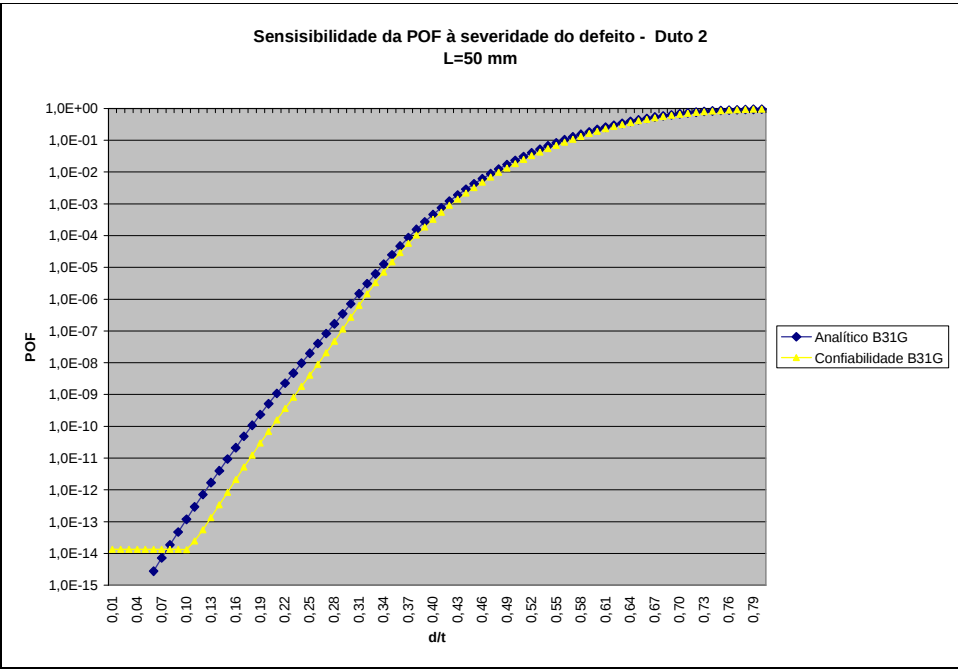


Figura B.17 - Sensibilidade da POF em 10 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 2 na opção ASME B31G

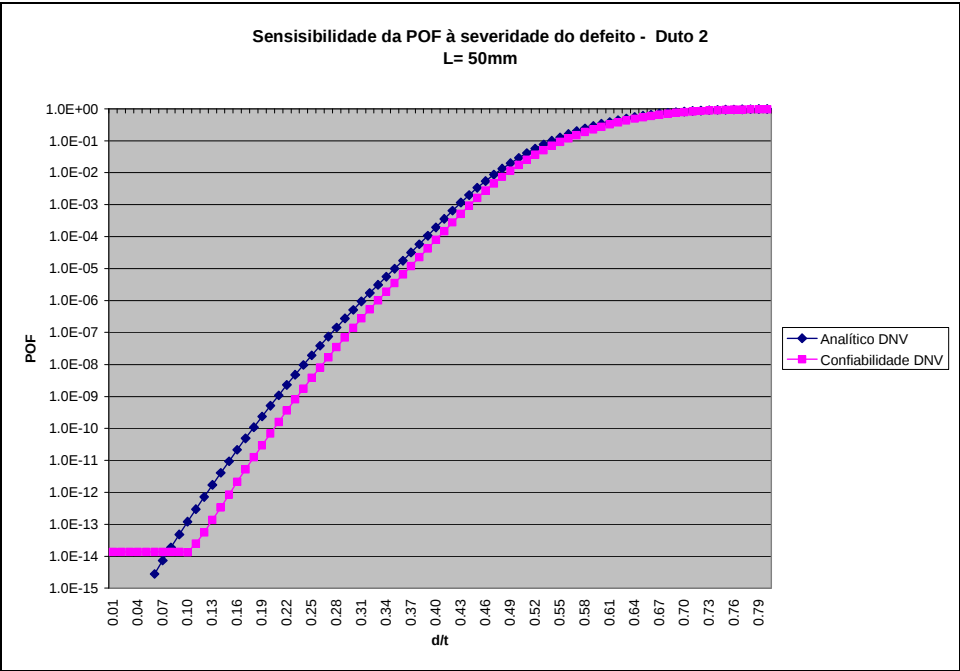


Figura B.18 - Sensibilidade da POF em 10 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 2 na opção DNV RP F101

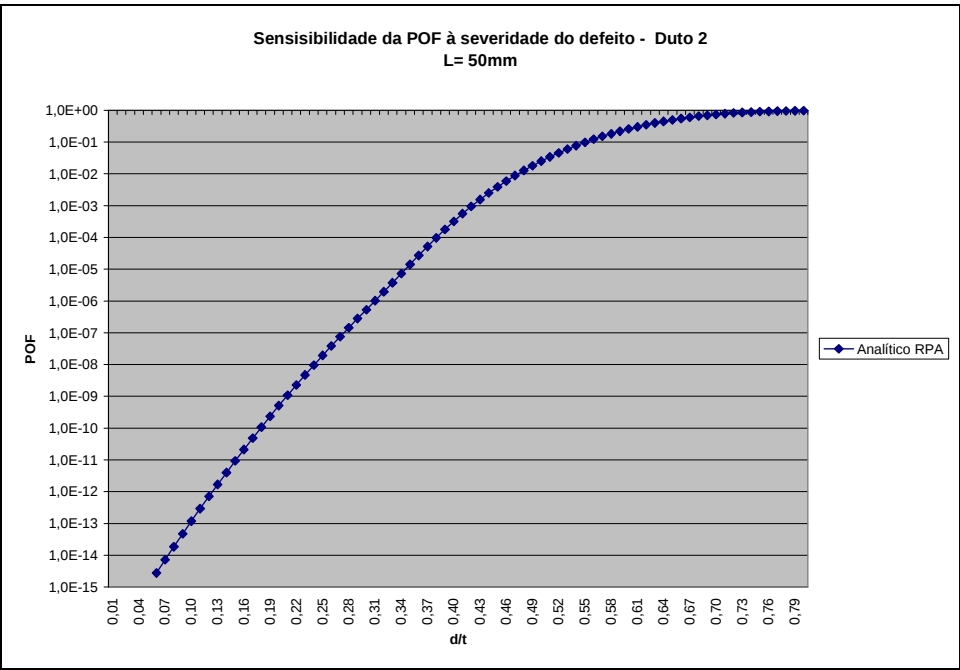


Figura B.19 - Sensibilidade da POF em 10 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 2 na opção RPA

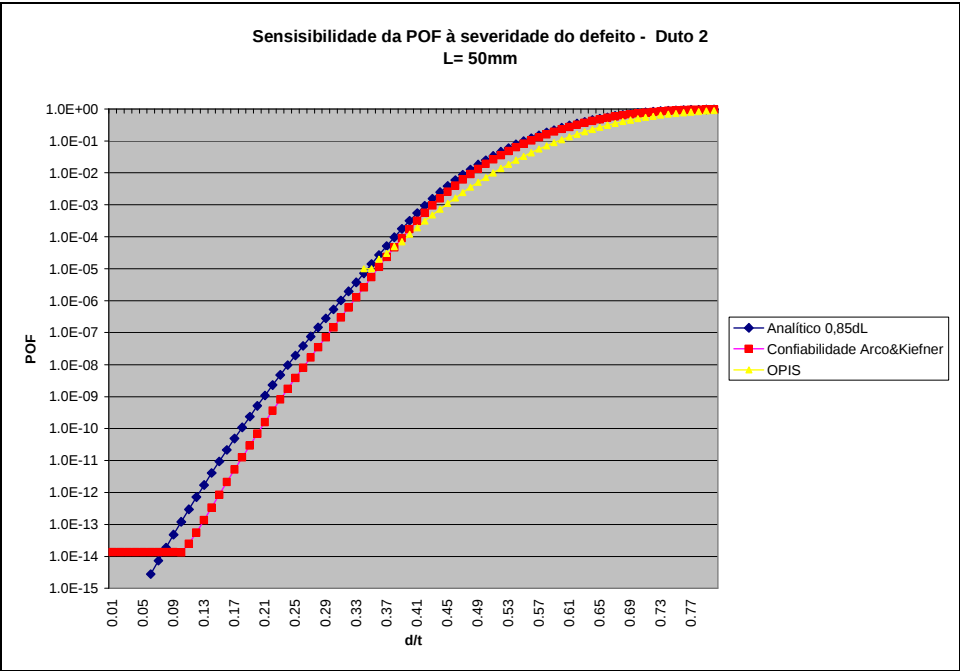


Figura B.20 - Sensibilidade da POF em 10 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 2 na opção RStreng 0,85dL

B.2.3.
Duto 3

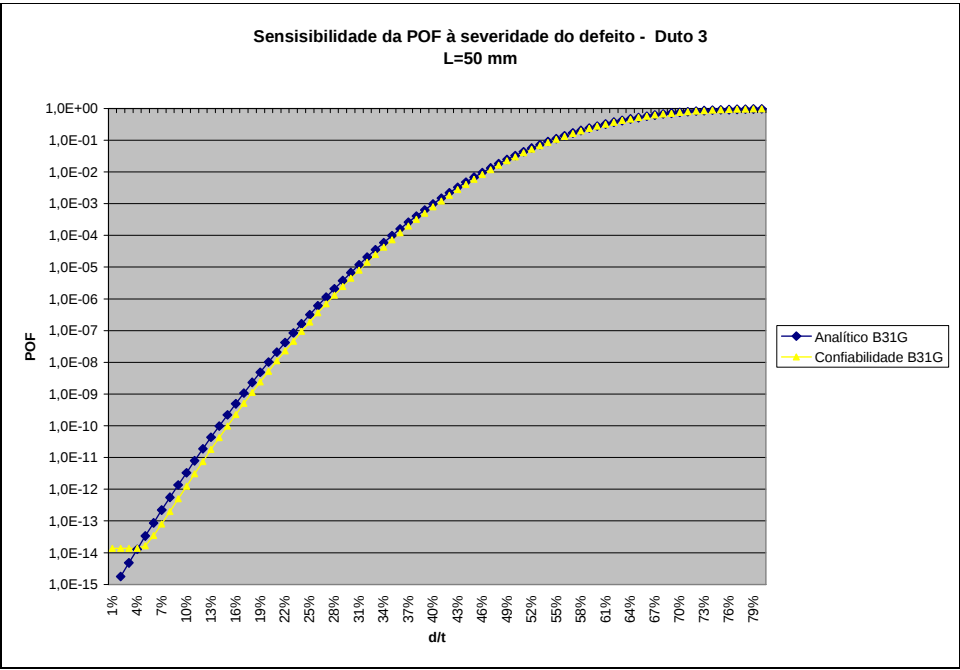


Figura B.21 - Sensibilidade da POF em 5 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 3 na opção ASME B31G

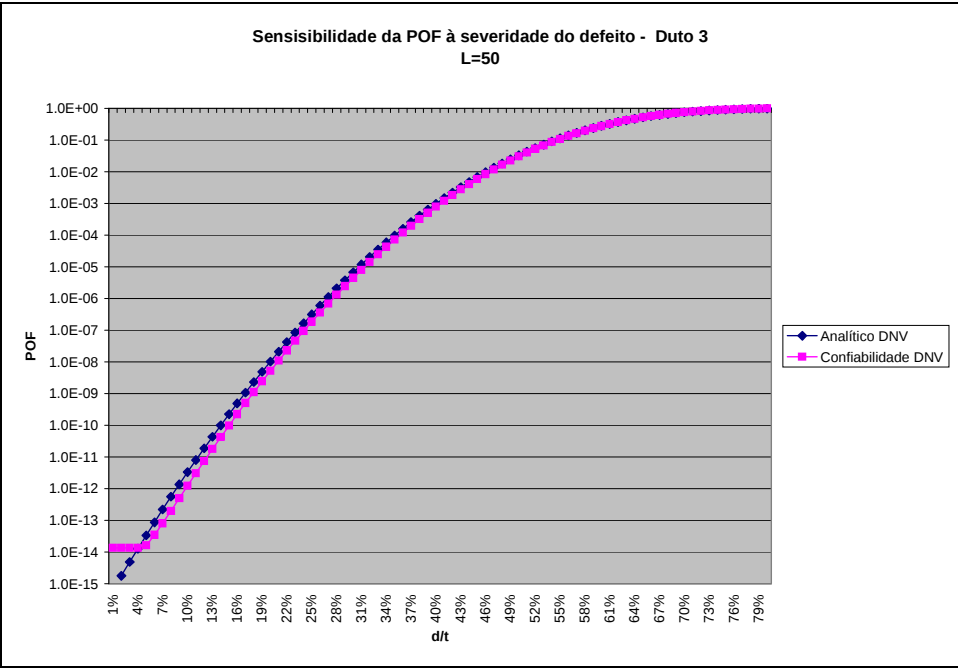


Figura B.22 - Sensibilidade da POF em 5 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 3 na opção DNV RP F101

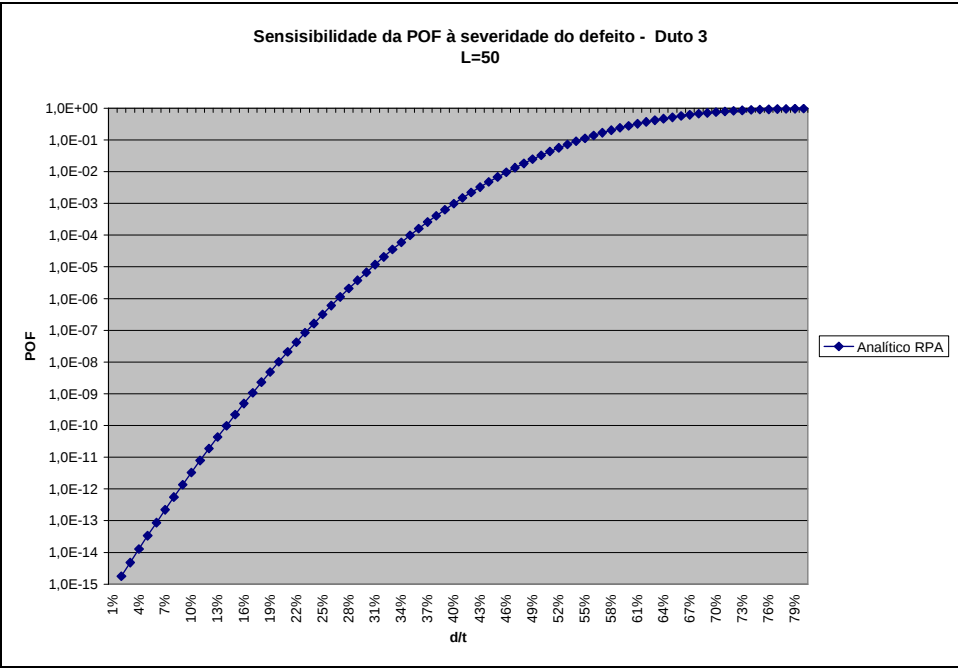


Figura B.23 - Sensibilidade da POF em 5 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 3 na opção RPA

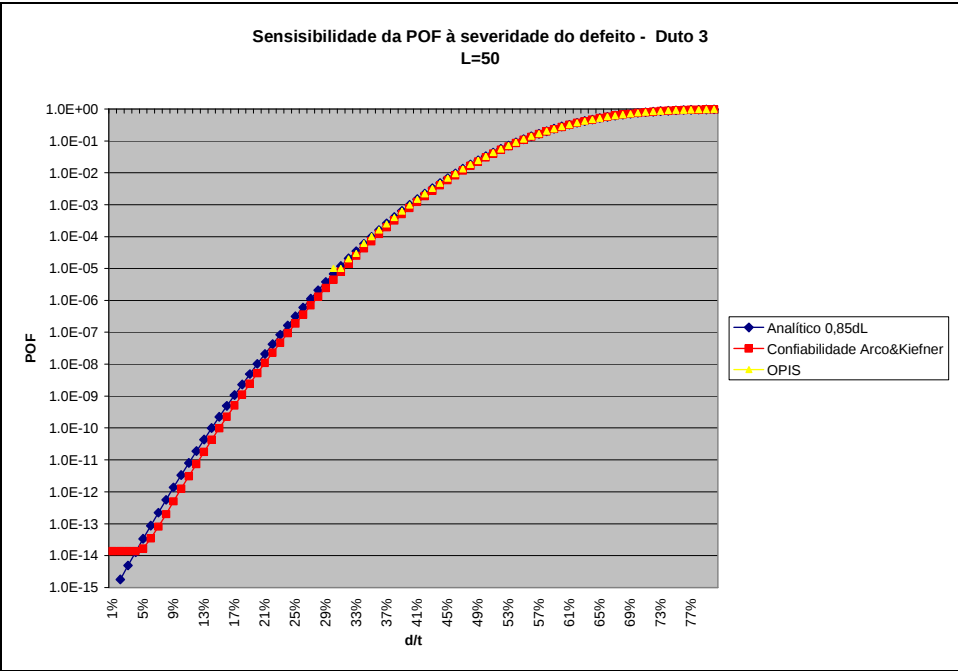
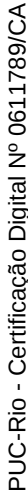


Figura B.24 - Sensibilidade da POF em 5 anos em função da severidade dos defeitos iniciais para o Duto 3 na opção RStreng 0,85dL



--

ÍNDICE DE REVISÕES

Rev.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0.0	Geração automática PLANPIG 3.0

	original	Rev. A	Rev. B	Rev. C	Rev. D	Rev. E	Rev. F	Rev. G	Rev. H
Data									
projeto									
execução									
verificação									
aprovação									

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS. SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

FORMULÁRIO PADRONIZADO PELA NORMA PETROBRAS N-381E

PLANPIG 3.0 - Duto Padrão

1 Introdução

Este relatório tem por objetivo apresentar os resultados da análise do duto Duto Padrão com a nova versão do Aplicativo para Avaliação de integridade e Gerenciamento do Plano de Inspeção de Dutos por PIG Instrumentado, PLANPIG-3.0.

O aplicativo em questão consta das seguintes etapas:

1. Leitura de dados de projeto, operação e inspeção de dutos a partir de planilha MS-Excel padronizada;
2. Classificação dos defeitos;
3. Elaboração de lista de defeitos de corrosão agrupados a partir de critérios de interação de defeitos do POF (opcional);
4. Avaliação dos defeitos de corrosão utilizando a norma ASME B-31G;
5. Avaliação dos defeitos de corrosão utilizando a metodologia RPA;
6. Avaliação dos defeitos de corrosão utilizando o método de Kastner;
7. Determinação do comprimento crítico para crescimento de trinca;
8. Cálculo do tempo previsto para a re-inspeção do duto para diferentes condições de reparo;
9. Indicação do momento recomendado para re-inspeção do duto e dos defeitos a serem reparados antes da próxima inspeção;
10. Apresentação dos resultados referentes a intervalo de inspeção e recomendação de reparos
11. Apresentação gráfica dos resultados de inspeção.

2 - Relatório de Avaliação de Integridade e Cálculo do Tempo de Re-inspeção

Tabela 1 - Identificação do Duto

DUTO	Duto Padrão
Data da Inspeção	30/01/2009
CI/CV	0.01000
Tipo do PIG	MFL
Data da Análise	30/01/2009
PMO (kgf/cm2)	20.4 a 20.4

Tabela 2 - Principais Parâmetros de Análise

Margem de Erro do PIG (%)	10.00 (%) a 10.00 (%)
Probabilidade de Detecção do PIG	1
Custo de Inspeção	R\$ 1.000.000,00
Custo de Reparo (por defeito)	R\$ 10.000,00

Tabela 3 - Resultados Principais

3.1 - Opção Mínima de Reparo – B31G

CRITÉRIO	B31G
Tempo de Re-inspeção Mínimo (anos)	13.50
PV (probabilidade de vazamento)	0.2741E-02
MTBF (Tempo médio esperado entre falhas) (anos)	4925.14

3.2 - Opção Mais Econômica – B31G

CRITÉRIO	B31G
Núm. de Defeitos adicionais recomendados a serem reparados	23
Num. Total de defeitos a serem reparados (imediato+recomendado)	23
Tempo de Re-inspeção Recomendado (anos)	25.00
PV (probabilidade de vazamento)	0.1789E-02
MTBF (Tempo médio esperado entre falhas) (anos)	13976.53

3.3 - Opção Mínima de Reparo - RPA

CRITÉRIO	RPA
Tempo de Re-inspeção Mínimo (anos)	13.50
PV (probabilidade de vazamento)	0.2660E-02
MTBF (Tempo médio esperado entre falhas) (anos)	5074.76

3.4 - Opção Mais Econômica - RPA

CRITÉRIO	RPA
Núm. de Defeitos adicionais recomendados a serem reparados	23
Num. Total de defeitos a serem reparados (imediato+recomendado)	23
Tempo de Re-inspeção Recomendado (anos)	25.00
PV (probabilidade de vazamento)	0.4539E-03
MTBF (Tempo médio esperado entre falhas) (anos)	55078.69

Tabela 4 - Defeitos para Reparo Imediato - B31G

Distância(m)	Pos.(H)	L(mm)	W(mm)	d/t	ERF	I/E
--------------	---------	-------	-------	-----	-----	-----

Tabela 5 - Defeitos para Reparo Imediato - RPA

Distância(m)	Pos.(H)	L(mm)	W(mm)	d/t	ERF	I/E
--------------	---------	-------	-------	-----	-----	-----

Tabela 5a - Defeitos para Reparo Imediato - RPA - PLLC

Distância(m)	Pos.(H)	L(mm)	W(mm)	d/t	ERF	I/E
--------------	---------	-------	-------	-----	-----	-----

Tabela 6 - Defeitos para Reparo Imediato - Kastner

Distância(m)	Pos.(H)	L(mm)	W(mm)	d/t	ERF	I/E
--------------	---------	-------	-------	-----	-----	-----

Tabela 7 - Resultados Complementares

Núm. de Defeitos com dist. à solda < 25.4 mm	0
Núm. de Defeitos com L>Lcrítico	84

Tabela 8.1 - Opções de Reparo - B31G

Opção	Núm.de Defeitos	Odômetro	Tempo P/ Re-inspeção(Anos)	Custo Anual (R\$)
1	23	2020	25	49200
2	24	2940	25	49600
3	25	2410	25	50000
4	26	1660	25	50400
5	27	2160	25	50800
6	22	530	24	50833.33
7	20	940	23.5	51063.83
8	28	1520	25	51200
9	21	620	23.5	51489.36
10	29	1530	25	51600
11	19	170	23	51739.13
12	14	910	22	51818.18
13	30	2040	25	52000
14	15	780	22	52272.73
15	31	570	25	52400
16	18	960	22.5	52444.44
17	16	480	22	52727.27
18	32	2930	25	52800
19	9	990	20.5	53170.73
20	17	80	22	53181.82

Tabela 8.2 - Opções de Reparo - RPA

Opção	Núm.de Defeitos	Odômetro	Tempo P/ Re-inspeção(Anos)	Custo Anual (R\$)
1	23	2070	25	49200
2	24	2410	25	49600
3	25	1660	25	50000
4	26	2020	25	50400
5	27	2160	25	50800
6	22	530	24	50833.33

7	20	620	23.5	51063.83
8	28	1530	25	51200
9	21	940	23.5	51489.36
10	29	2940	25	51600
11	19	170	23	51739.13
12	14	80	22	51818.18
13	30	940	25	52000
14	15	480	22	52272.73
15	31	1520	25	52400
16	18	960	22.5	52444.44
17	16	780	22	52727.27
18	32	1100	25	52800
19	9	990	20.5	53170.73
20	17	910	22	53181.82

Tabela 9.1 - Defeitos Reprovados pela Metodologia do Cálculo do Tempo de Re-Inspeção pela Formulação B31G

Dist. (m)	Pos.(H)	L(mm)	W(mm)	d/t	ERF	I/E
-----------	---------	-------	-------	-----	-----	-----

Tabela 9.2 - Defeitos Reprovados pela Metodologia do Cálculo do Tempo de Re-Inspeção pela Formulação RPA

Dist. (m)	Pos.(H)	L(mm)	W(mm)	d/t	ERF	I/E
-----------	---------	-------	-------	-----	-----	-----

Tabela 10.1 - Defeitos com Reparo Recomendado - B31G

Nu m.	Dist.(m)	Pos.(H)	L(mm)	W(mm)	d/t	ERF	I/E	Tempo (anos)	PV
1	490	6	586.5	20	0.41	0.55	I	13.5	2.741e-03
2	170	6	869.4	20	0.41	0.55	I	13.5	2.660e-03
3	620	6	549.1	20	0.39	0.53	I	14.5	2.447e-03
4	580	6	688.9	20	0.35	0.5	I	16.5	2.095e-03
5	590	6	159	20	0.35	0.38	I	17	3.203e-03
6	990	6	187.1	20	0.33	0.38	I	18	3.000e-03
7	600	6	439.1	20	0.32	0.48	I	19.5	2.818e-03

8	880	6	316.9	20	0.31	0.48	I	19.5	2.806e-03
9	180	6	667.3	20	0.29	0.46	I	20	1.691e-03
10	660	6	805.5	20	0.29	0.46	I	20.5	1.679e-03
11	220	6	509.4	20	0.29	0.46	I	20.5	2.620e-03
12	990	6	925.8	20	0.28	0.45	I	20.5	1.643e-03
13	180	6	473.3	20	0.28	0.46	I	21	2.558e-03
14	100	6	988.3	20	0.27	0.45	I	21	1.625e-03
15	480	6	362.1	20	0.27	0.45	I	22	2.448e-03
16	910	6	821.3	20	0.25	0.44	I	22	1.535e-03
17	80	6	386.3	20	0.27	0.44	I	22	2.423e-03
18	780	6	708.4	20	0.25	0.44	I	22	1.531e-03
19	960	6	683.1	20	0.24	0.43	I	22.5	1.487e-03
20	170	6	636.4	20	0.23	0.43	I	23	1.453e-03
21	940	6	391.8	20	0.24	0.43	I	23.5	2.283e-03
22	620	6	546.6	20	0.23	0.42	I	23.5	1.446e-03
23	530	6	205.4	20	0.23	0.36	I	24	2.203e-03

Tabela 10.2 - Defeitos com Reparo Recomendado - RPA

Nu m.	Dist.(m)	Pos.(H)	L(mm)	W(mm)	d/t	ERF	I/E	Tempo (anos)	PV
1	170	6	869.4	20	0.41	0.44	I	13.5	2.660e-03
2	490	6	586.5	20	0.41	0.43	I	13.5	2.741e-03
3	620	6	549.1	20	0.39	0.41	I	14.5	2.447e-03
4	580	6	688.9	20	0.35	0.4	I	16.5	2.095e-03
5	590	6	159	20	0.35	0.33	I	17	3.203e-03
6	990	6	187.1	20	0.33	0.33	I	18	3.000e-03
7	600	6	439.1	20	0.32	0.37	I	19.5	2.818e-03
8	880	6	316.9	20	0.31	0.34	I	19.5	2.806e-03
9	180	6	667.3	20	0.29	0.36	I	20	1.691e-03
10	220	6	509.4	20	0.29	0.36	I	20.5	2.620e-03
11	660	6	805.5	20	0.29	0.37	I	20.5	1.679e-03
12	990	6	925.8	20	0.28	0.37	I	20.5	1.643e-03
13	180	6	473.3	20	0.28	0.36	I	21	2.558e-03

14	100	6	988.3	20	0.27	0.36	I	21	1.625e-03
15	780	6	708.4	20	0.25	0.35	I	22	1.531e-03
16	80	6	386.3	20	0.27	0.34	I	22	2.423e-03
17	910	6	821.3	20	0.25	0.35	I	22	1.535e-03
18	480	6	362.1	20	0.27	0.34	I	22	2.448e-03
19	960	6	683.1	20	0.24	0.35	I	22.5	1.487e-03
20	170	6	636.4	20	0.23	0.34	I	23	1.453e-03
21	620	6	546.6	20	0.23	0.34	I	23.5	1.446e-03
22	940	6	391.8	20	0.24	0.33	I	23.5	2.283e-03
23	530	6	205.4	20	0.23	0.31	I	24	2.203e-03

Tabela 11 - Previsão de Reparos

T (Anos)	N.Def.
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	1
13	1
14	1
15	1
16	2
17	2
18	3
19	4

PLANPIG 3.0 - Duto Padrão

20	5
21	6
22	7
23	8
24	10
25	12

3.1 - Apresentação Gráfica dos Resultados da Análise de Integridade Imediata **sem a** **majoração das incertezas do PIG**

Gráfico ERF em função da distância - B31G

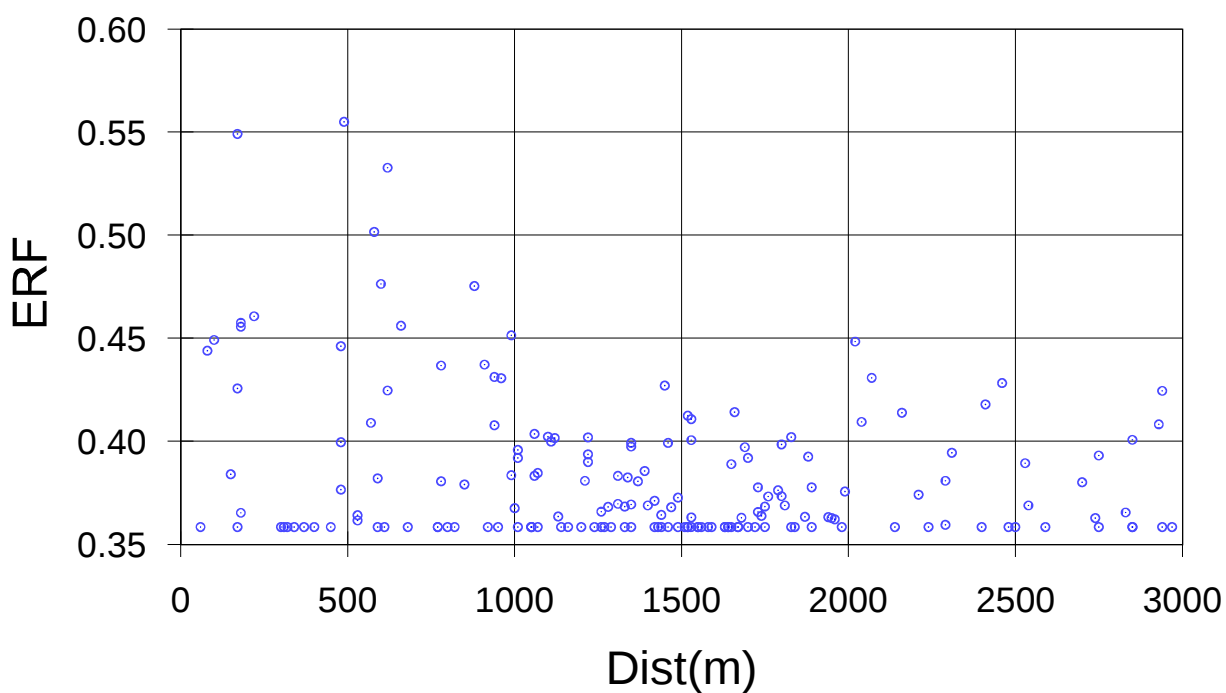


Gráfico ERF em função da distância - RPA

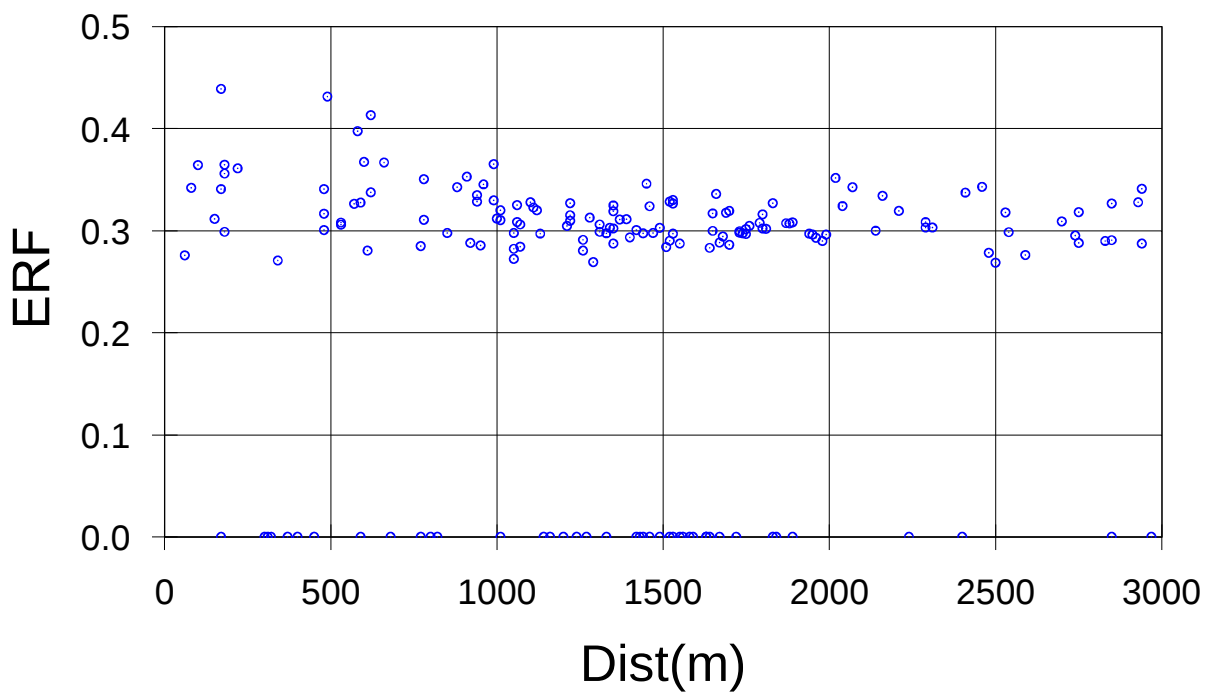


Gráfico ERF em função da distância - KASTNER

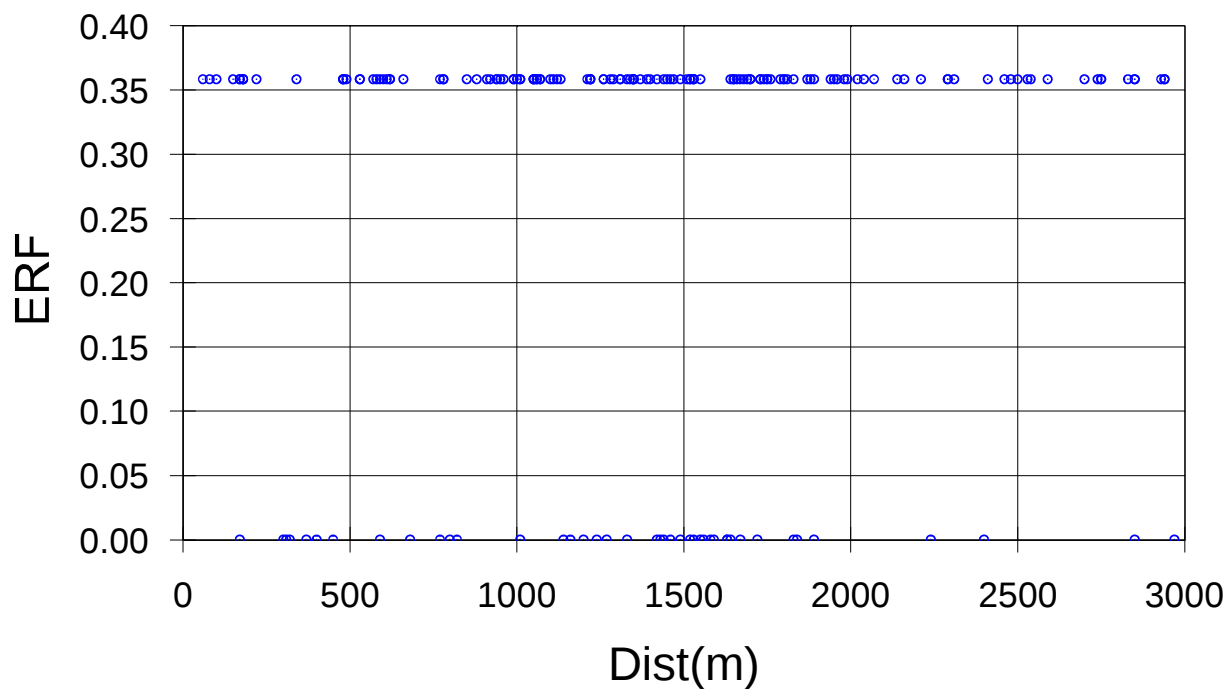
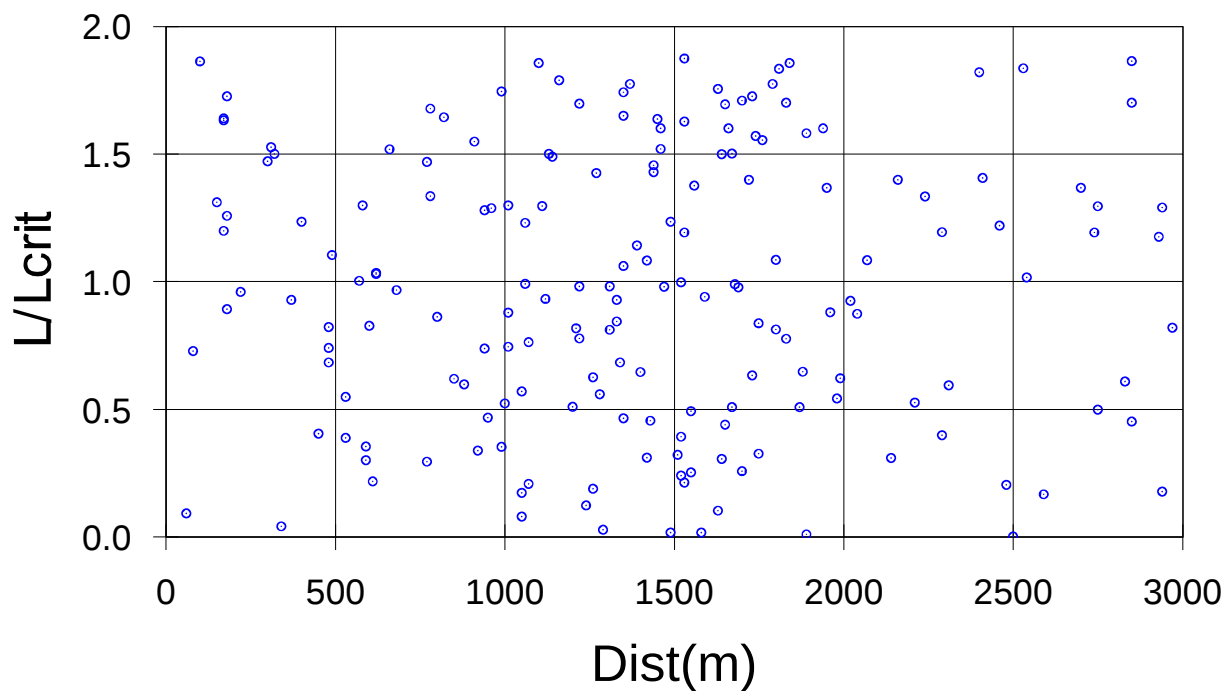


Gráfico L/Lcrit em função da distância - LCRITICO



3.2 - Apresentação Gráfica dos Resultados da Análise de Integridade Imediata **com a** **majoração das incertezas do PIG**

Gráfico ERF em função da distância - B31G

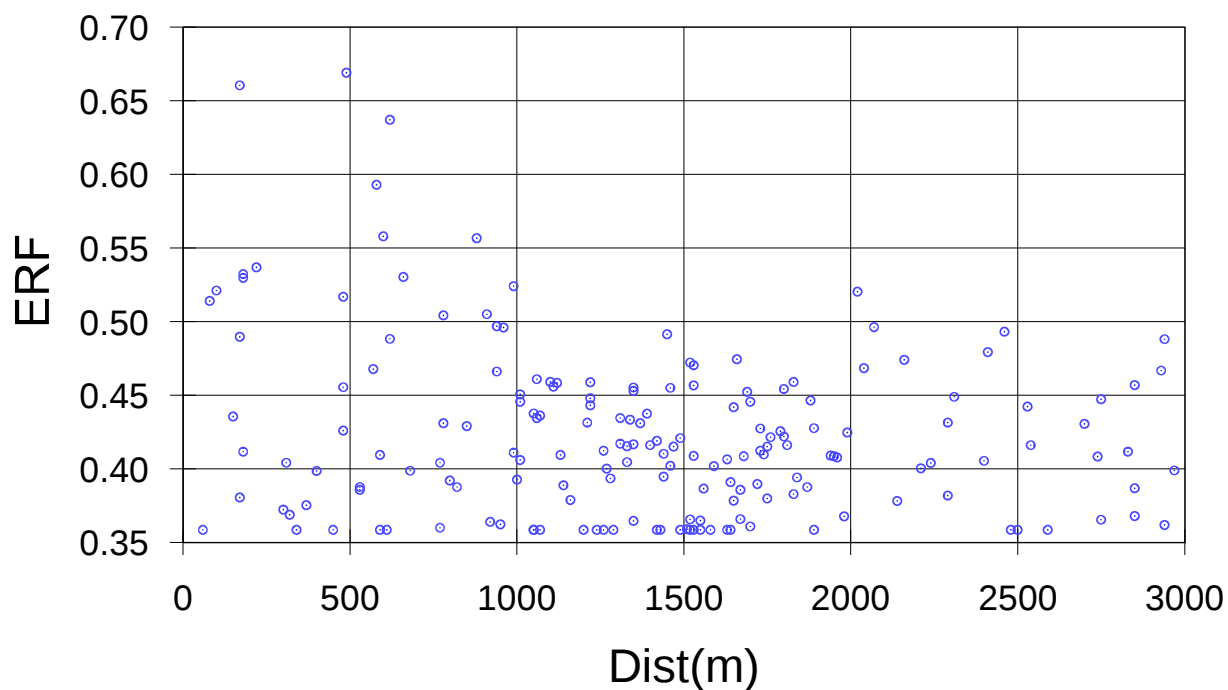


Gráfico ERF em função da distância - RPA

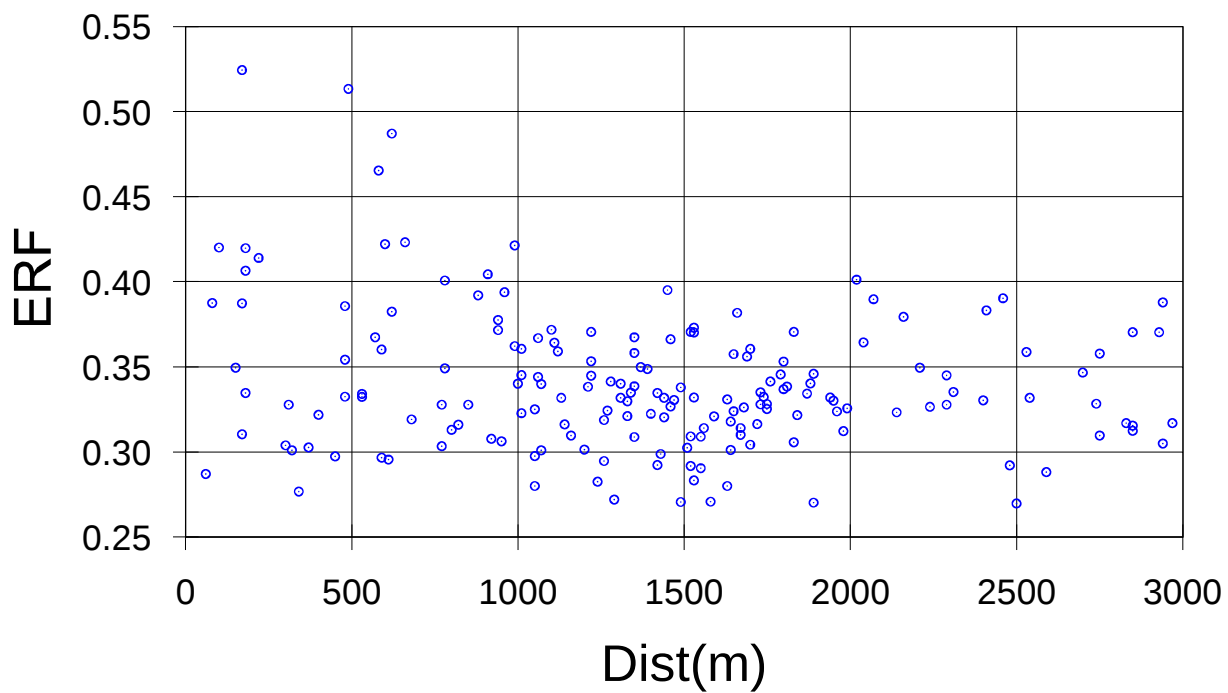


Gráfico ERF em função da distância - KASTNER

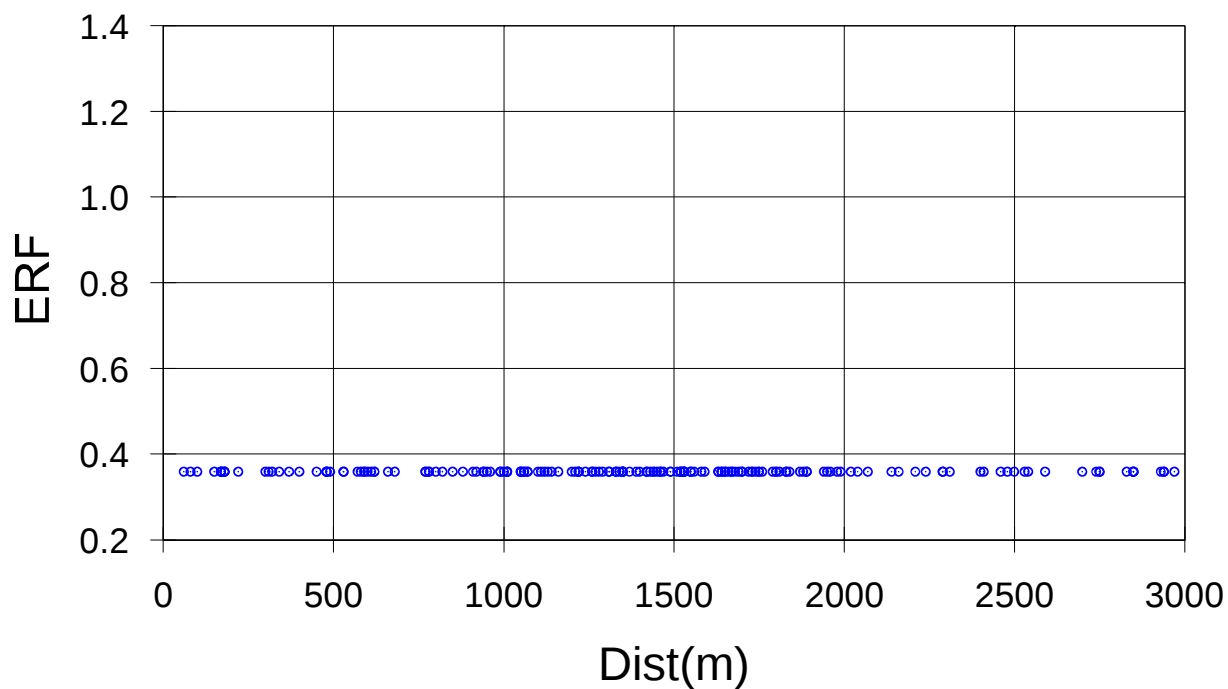
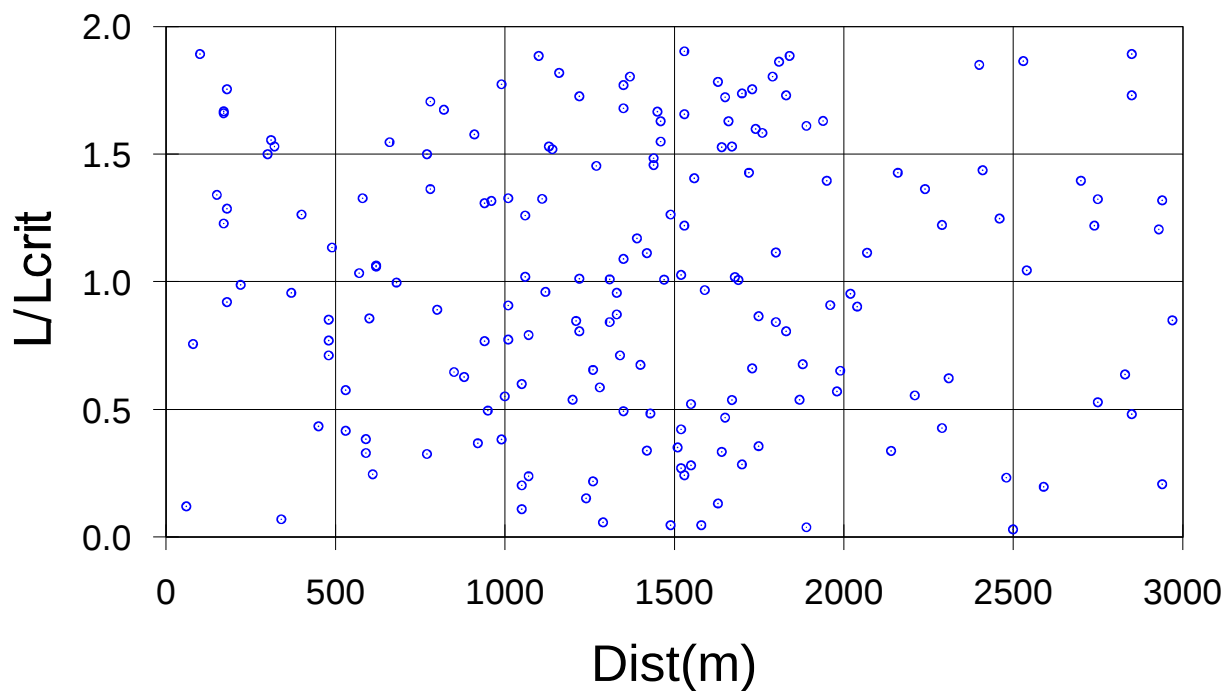


Gráfico L/Lcrit em função da distância - LCRITICO



4 - Apresentação Gráfica dos Resultados da Inspeção

Classificação de Defeitos pelo Critério POF

Classificação POF	Num.	Porcent. (%)
PIT	2	1.11%
UNIFORME	0	0.00%
RISCO AXIAL	174	96.67%
RISCO CIRCUNFERENCIAL	0	0.00%
CANAL AXIAL	0	0.00%
CANAL CIRCUNFERENCIAL	4	2.22%
CAVIDADE	0	0.00%

Classificação de Defeitos pelo Critério POF

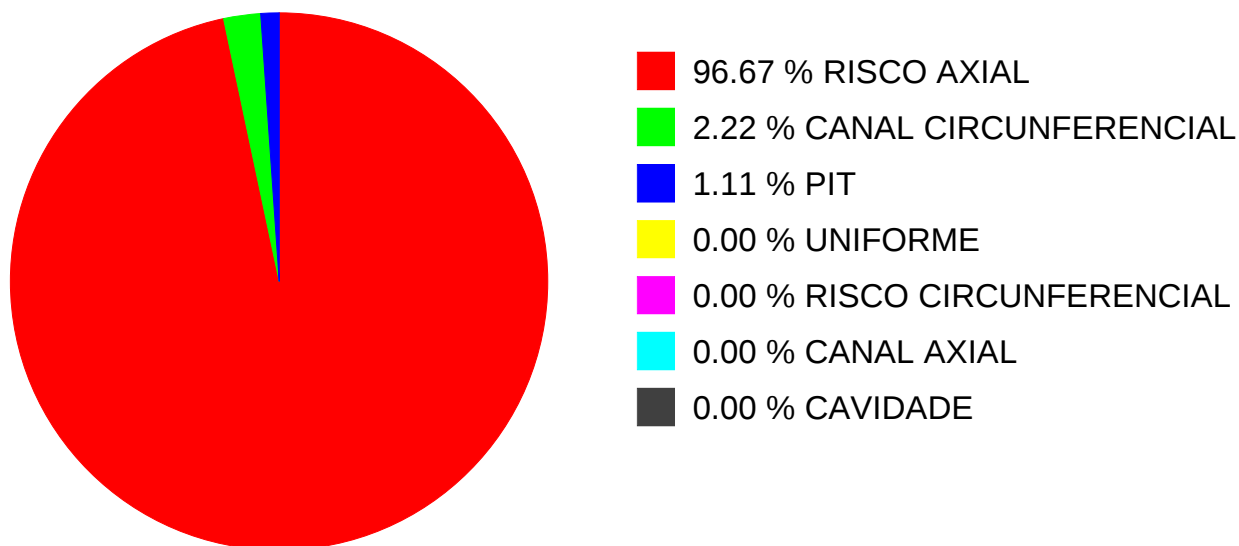


Gráfico Posição Horária em função da distância - CORR-INT

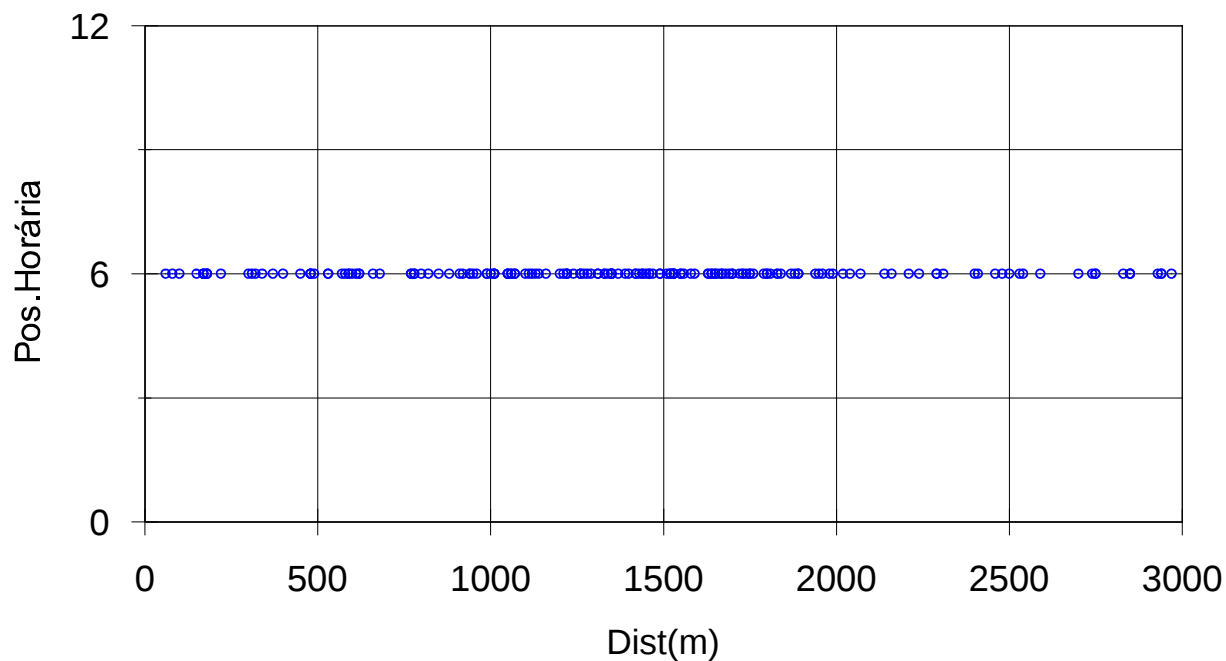


Gráfico d/t em função da distância - CORR-INT

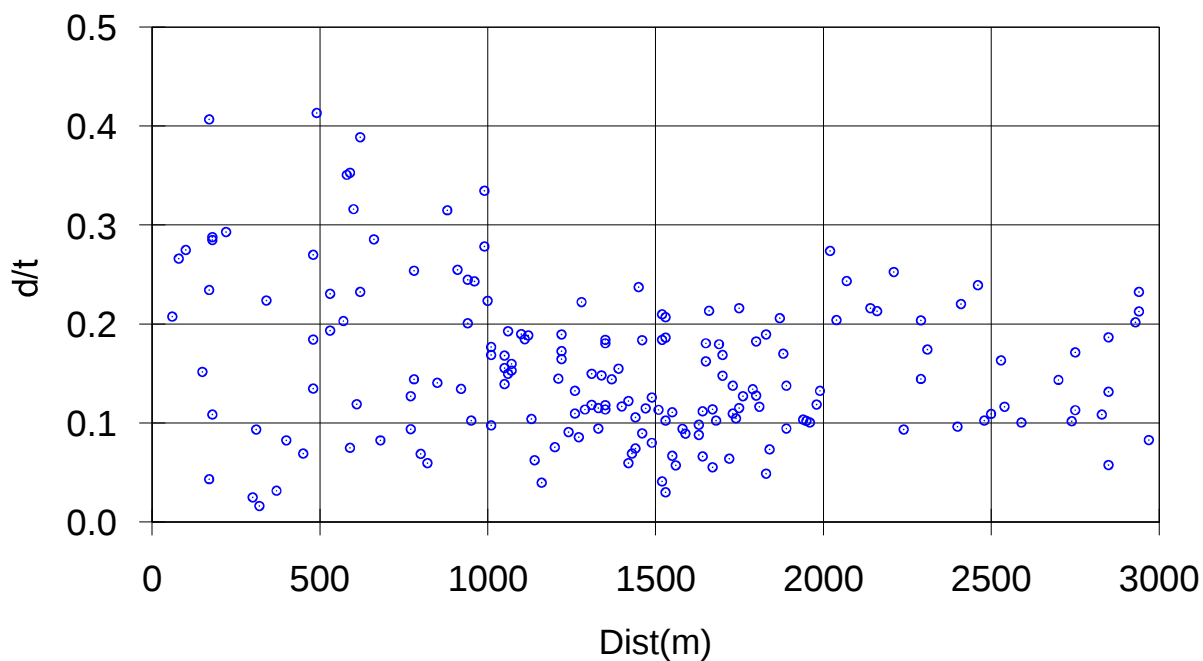


Gráfico Elevação em função da distância - CORR-INT

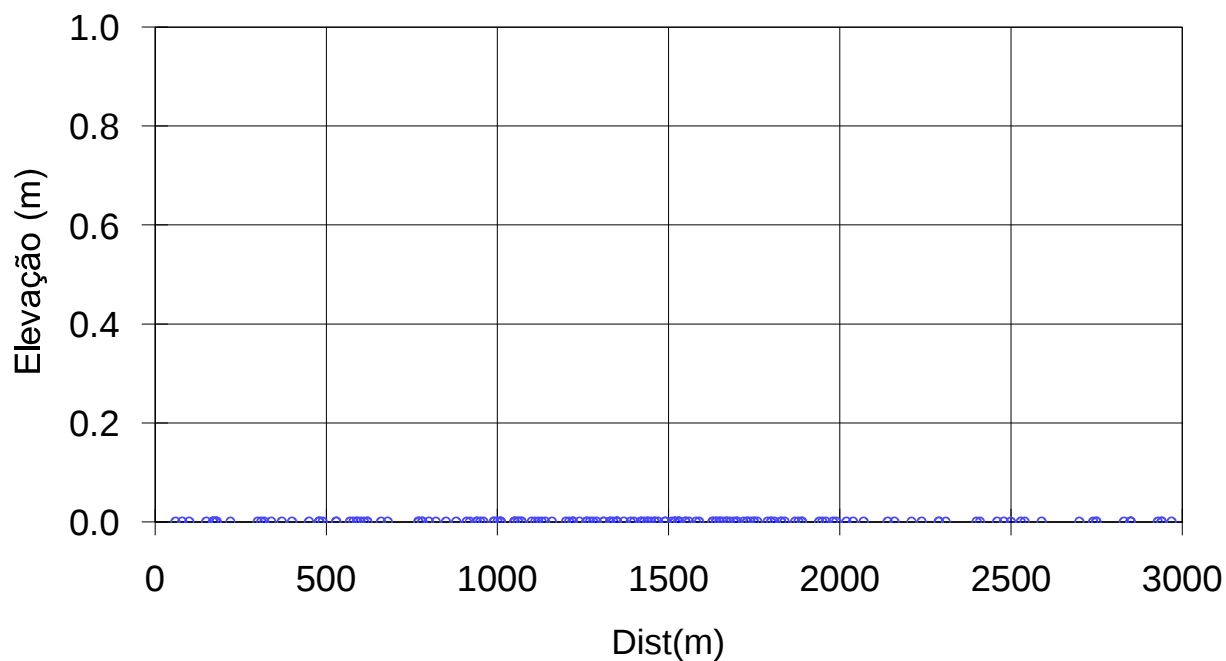
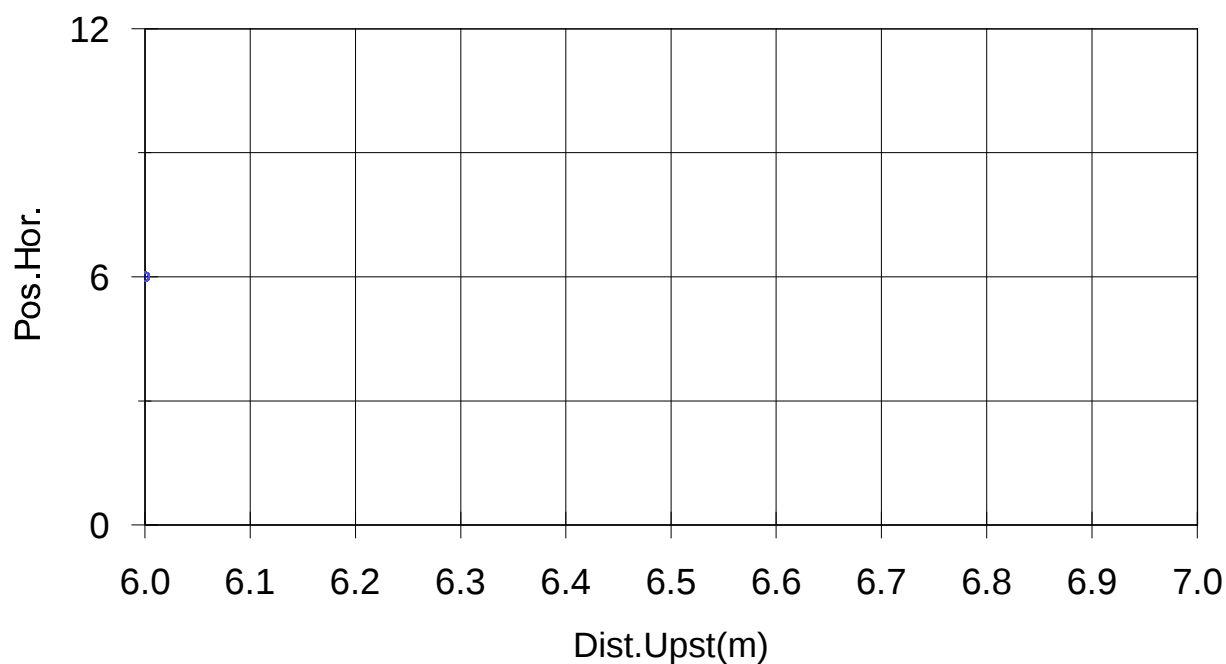
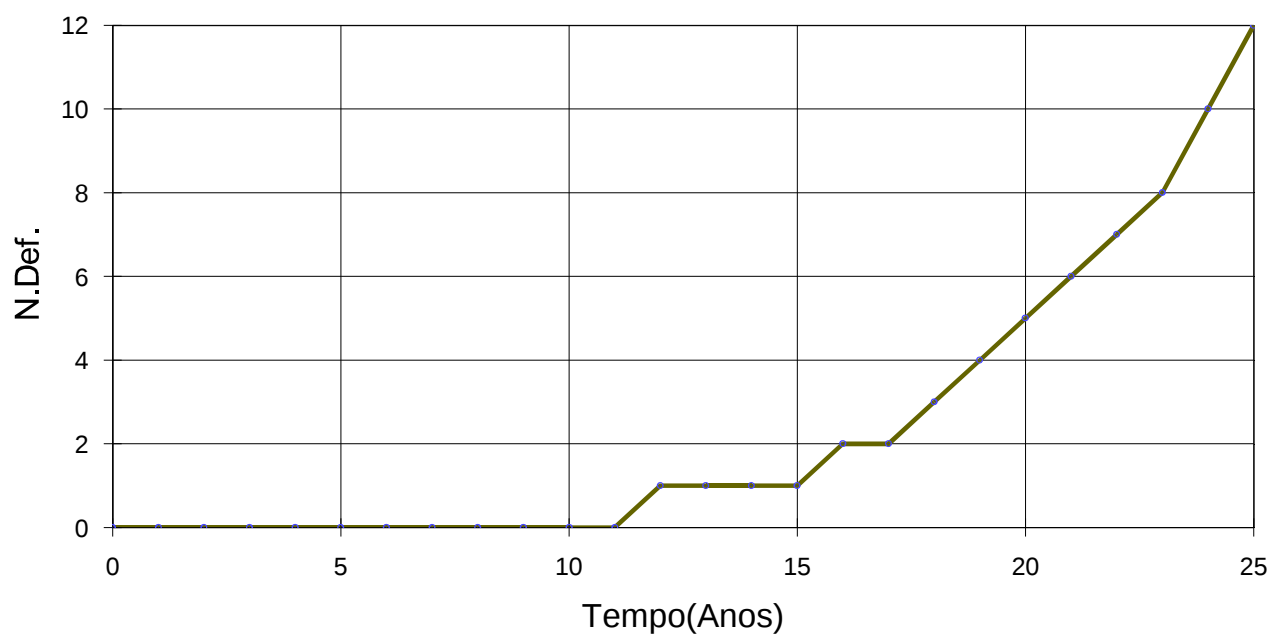


Gráfico Posição Horária em função da distância à solda - CORR-INT



5 - Apresentação Gráfica dos Resultados da Previsão de Reparos

Gráfico de Previsão de Reparos



D

Análise de Confiabilidade de um Duto Padrão pelo programa CONFIABILIDADE DE DUTOS

Usuário: Leandro Basílio

Data da análise: 30/01/2009

Arquivo original do PIG: Duto Padrão

Arquivo modificado do PIG: ILIData-Duto-Padrão.txt

Data da análise: 30/01/2009

Arquivo original do PIG: Duto Padrão

Arquivo modificado do PIG: ILIData-Duto-Padrão.txt

Dados do Duto utilizados na Análise

Comprimento do duto [m]: 3000

Idade do duto no ano da inspeção: 10 anos

Diâmetro [mm]: 508,0

Distribuição: Normal

Coeficiente de variação: 0.001

Espessura [mm]: 9,52

Distribuição: Normal

Coeficiente de variação: 0.001

SMYS [MPa]: 207,0

Distribuição: Normal

Coeficiente de variação: 0.001

SMTS [MPa]: 331,0

Distribuição: Normal

Coeficiente de variação: 0.001

Pressão [MPa]: 2,000

Distribuição: Normal

Coeficiente de variação: 0.001

MAOP [MPa]: 2,000

Distribuição: Normal

Coeficiente de variação: 0.001

Comprimento do defeito [mm]: arquivo PIG

Distribuição: Normal

Coeficiente de variação: 0.001

Dados do PIG

Tipo: MFL

Empresa: XPTO

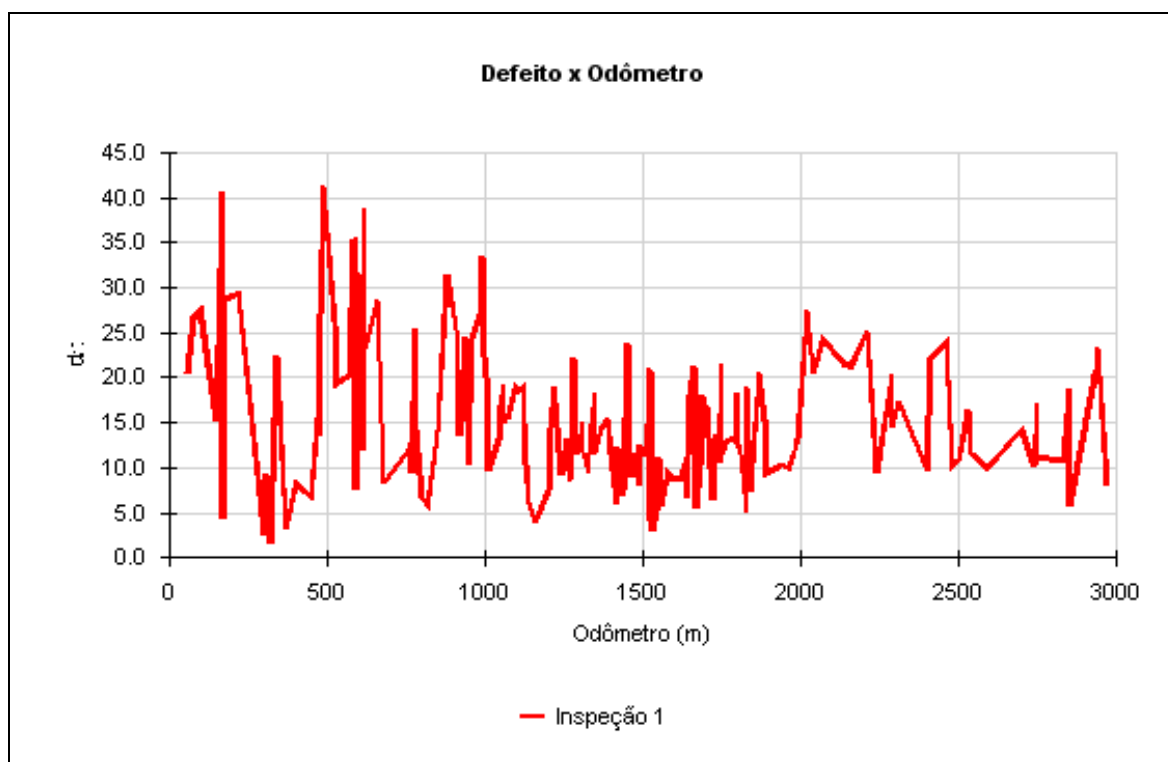
Data da Inspeção: 30/01/2009

Características do PIG fornecidas pela empresa operadora

Nível de confiança [%]: 80

Incerteza [%]: 10

Não há correlação PIG x Campo

Distribuição dos Defeitos**Taxas de Corrosão utilizadas na Análise**

Distribuição: Normal

Trecho	Início [m]	Fim [m]	Taxa [mm/ano]	Coef. Variação
1	0	1000	0.144	0.5459
2	1000	2000	0.103	0.3668
3	2000	3000	0.13	0.3774

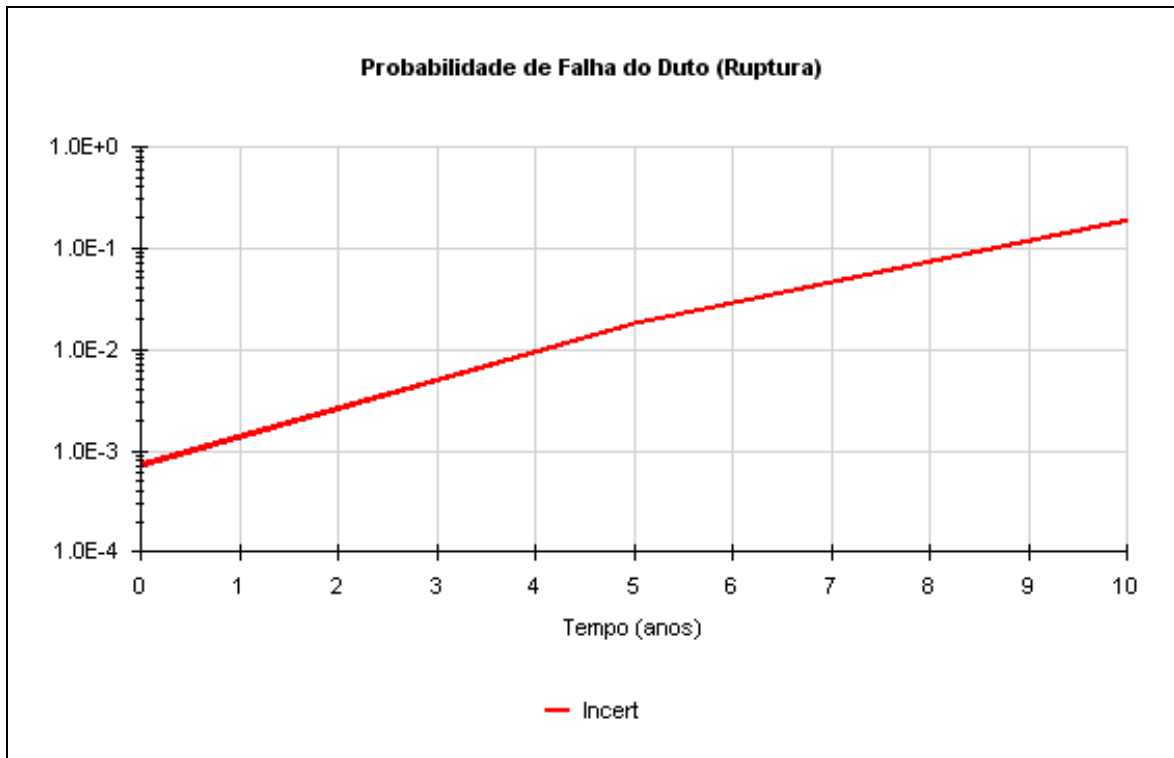
Obs: taxas calculadas através do ajuste dos dados de inspeção por uma distribuição valor extremo.

Resultados da Análise de Confiabilidade

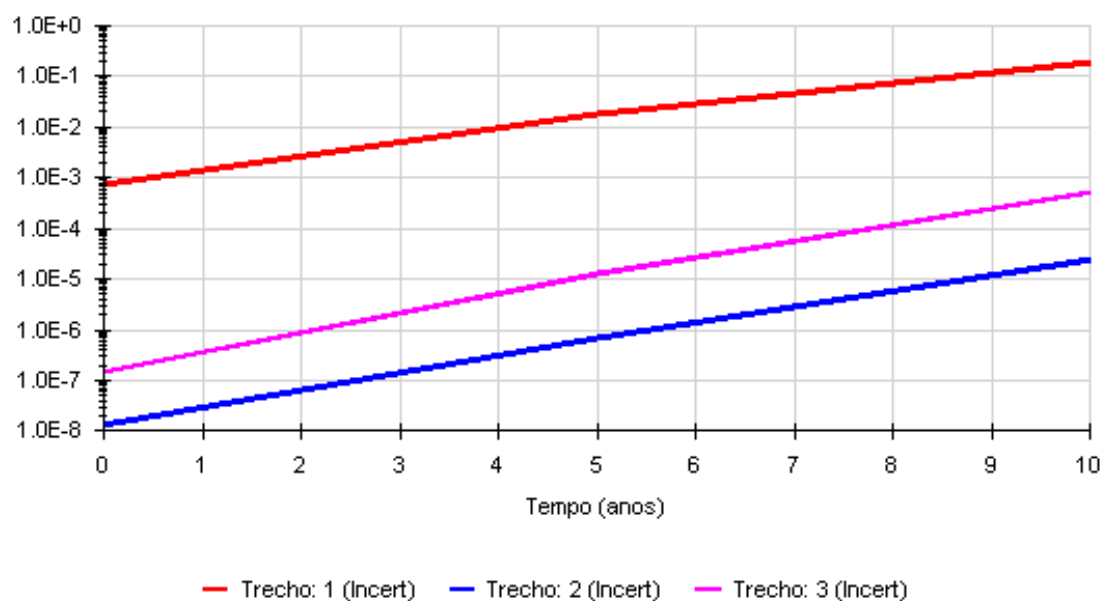
Modelo de pressão de falha (colapso plástico): B31G

Tempo inicial: 2009 Tempo final: 2019

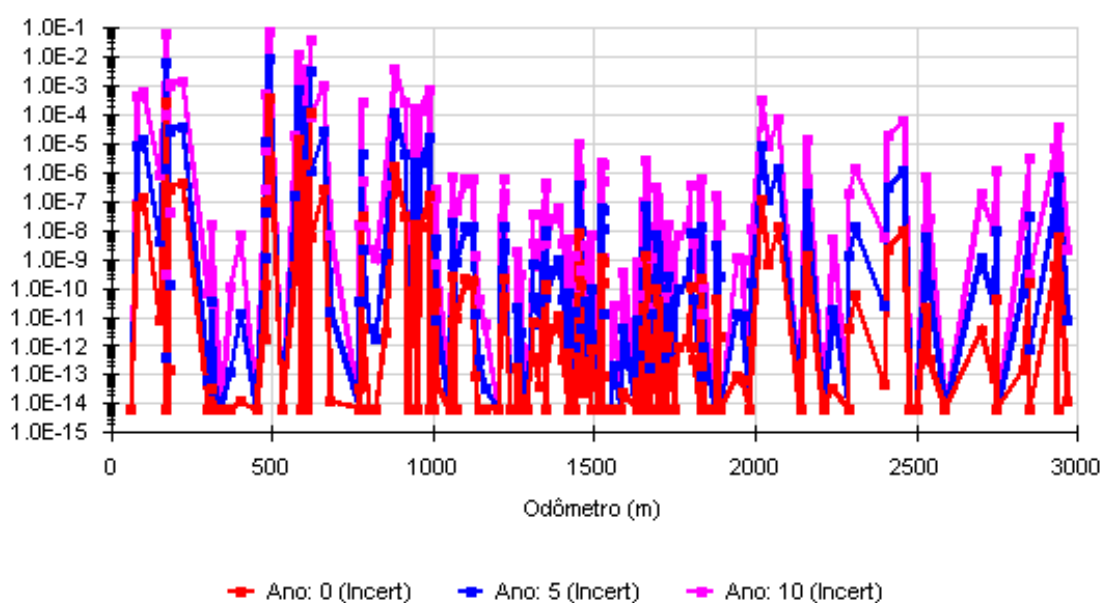
Probabilidade de Falha	ano 0	ano 5	ano 10
PoF Duto (Incertezas-Rup)	7.36E-04	1.80E-02	1.88E-01
PoF Duto (Incertezas-Vaz)	6.62E-07	6.69E-05	2.84E-03
PoF Duto (Incertezas-Comb)	7.37E-04	1.81E-02	1.90E-01
PoF Trecho 1 (Incertezas-Rup)	7.36E-04	1.80E-02	1.87E-01
PoF Trecho 1 (Incertezas-Vaz)	6.62E-07	6.69E-05	2.84E-03
PoF Trecho 1 (Incertezas-Comb)	7.37E-04	1.81E-02	1.90E-01
PoF Trecho 2 (Incertezas-Rup)	1.37E-08	7.02E-07	2.35E-05
PoF Trecho 2 (Incertezas-Vaz)	1.06E-12	6.79E-11	6.17E-09
PoF Trecho 2 (Incertezas-Comb)	1.37E-08	7.02E-07	2.35E-05
PoF Trecho 3 (Incertezas-Rup)	1.47E-07	1.24E-05	5.21E-04
PoF Trecho 3 (Incertezas-Vaz)	9.97E-12	3.07E-09	4.66E-07
PoF Trecho 3 (Incertezas-Comb)	1.47E-07	1.24E-05	5.22E-04



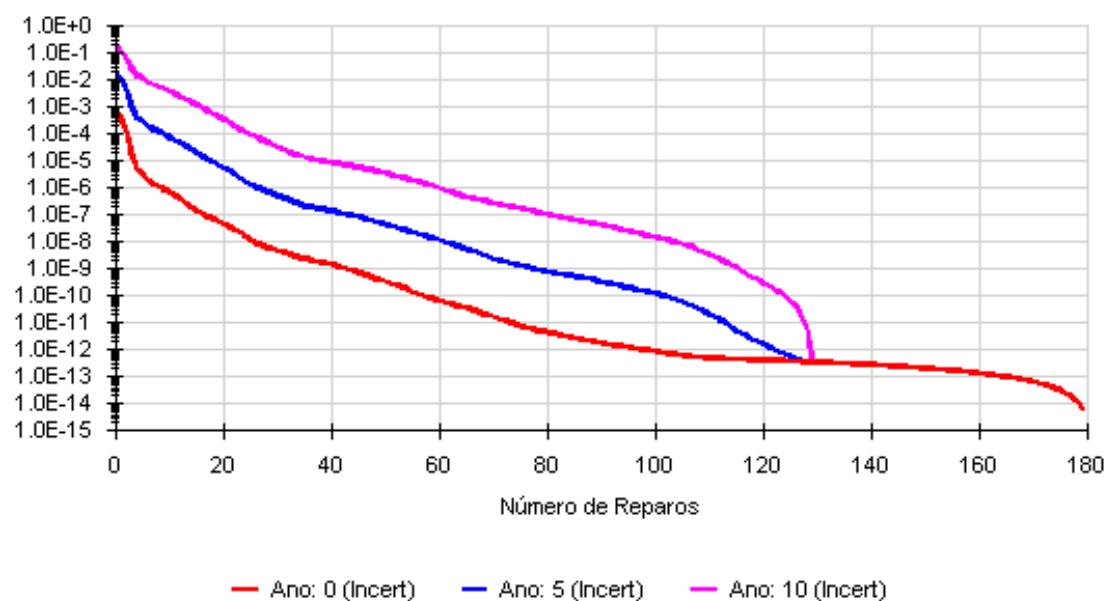
Probabilidade de Falha do Trecho (Ruptura)



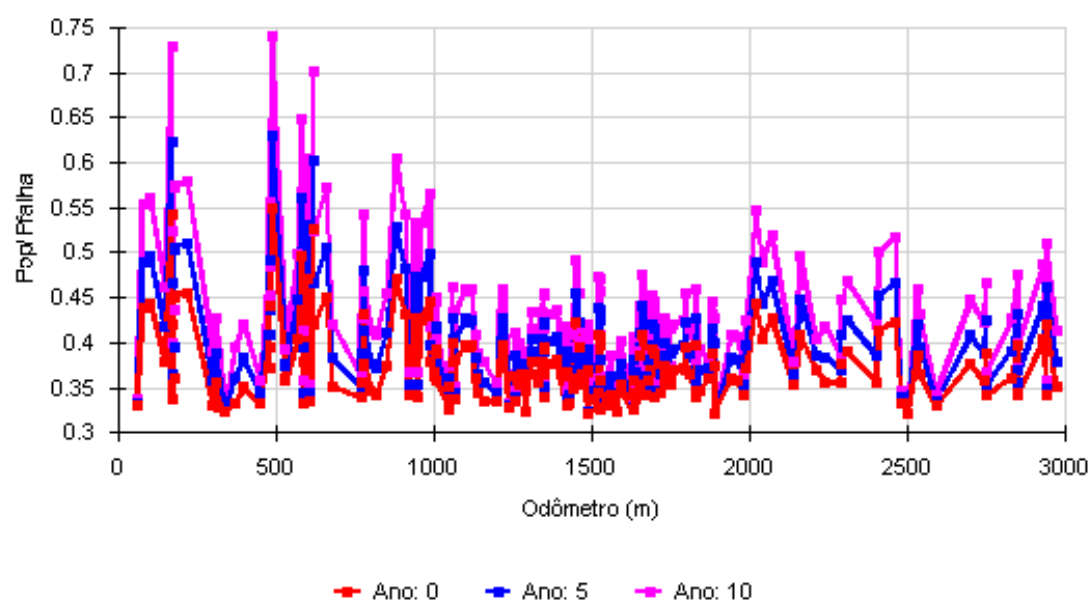
Probabilidade de Falha (Ruptura) do Defeito x Odômetro



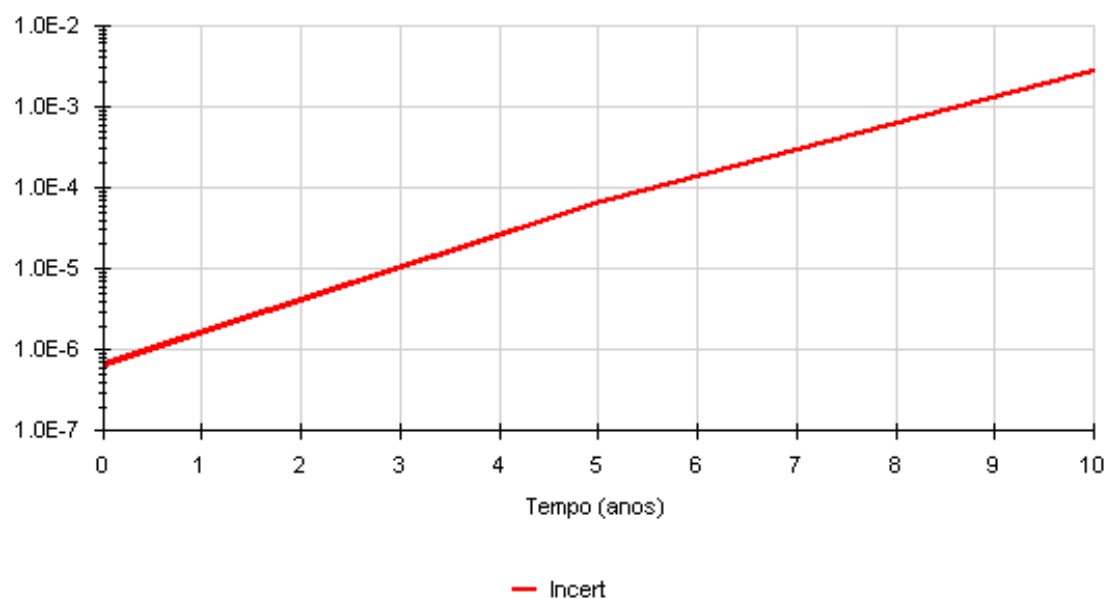
Probabilidade de Falha do Duto (Ruptura) x Número de Reparos



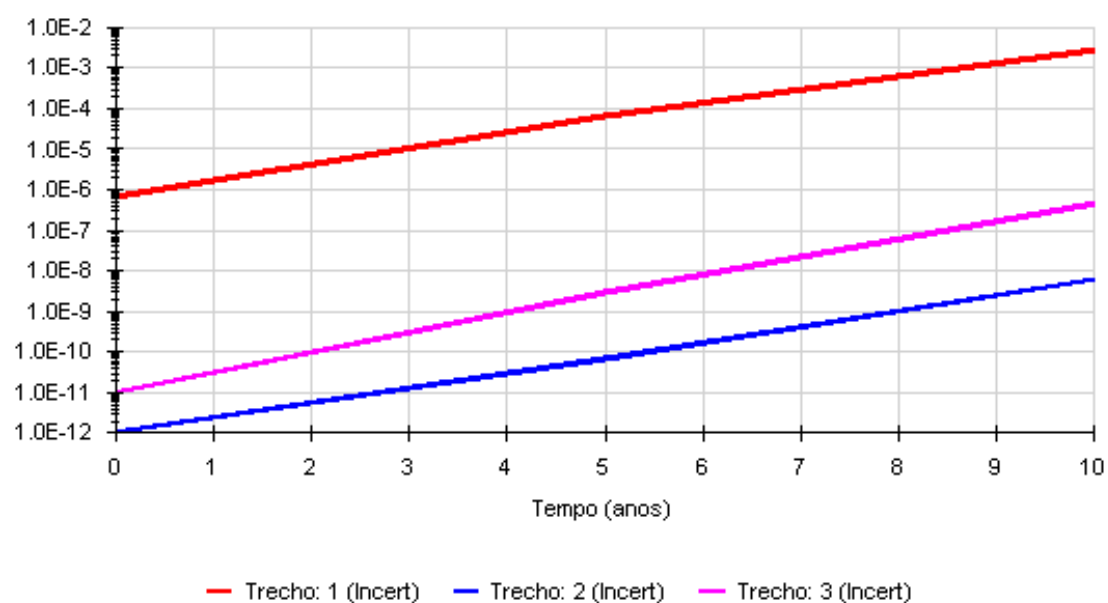
Pop/Pfalha x Odômetro



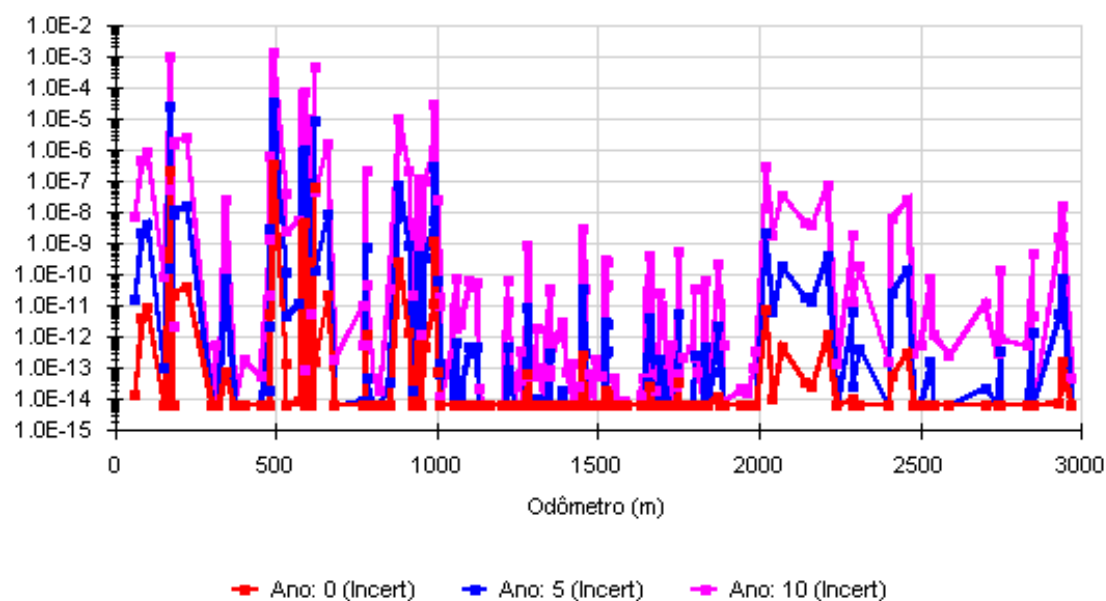
Probabilidade de Falha do Duto (Vazamento)



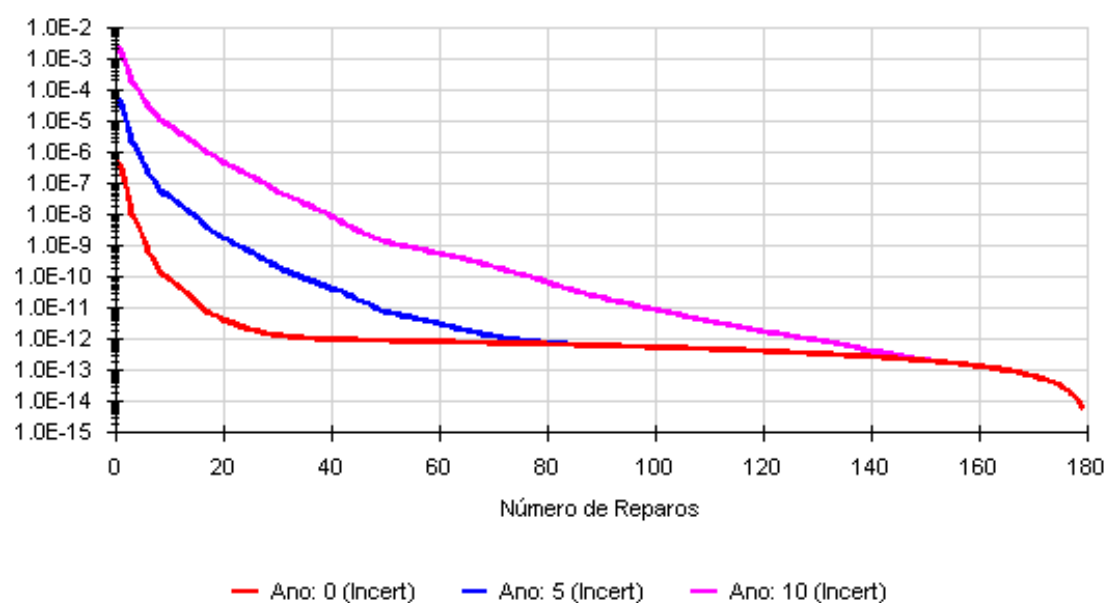
Probabilidade de Falha do Trecho (Vazamento)

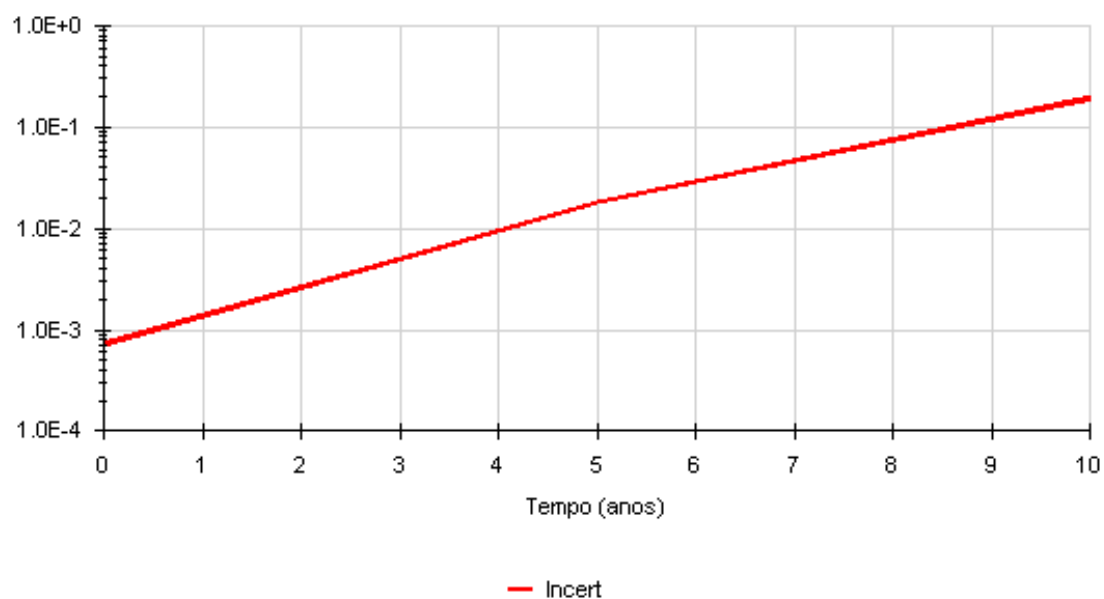
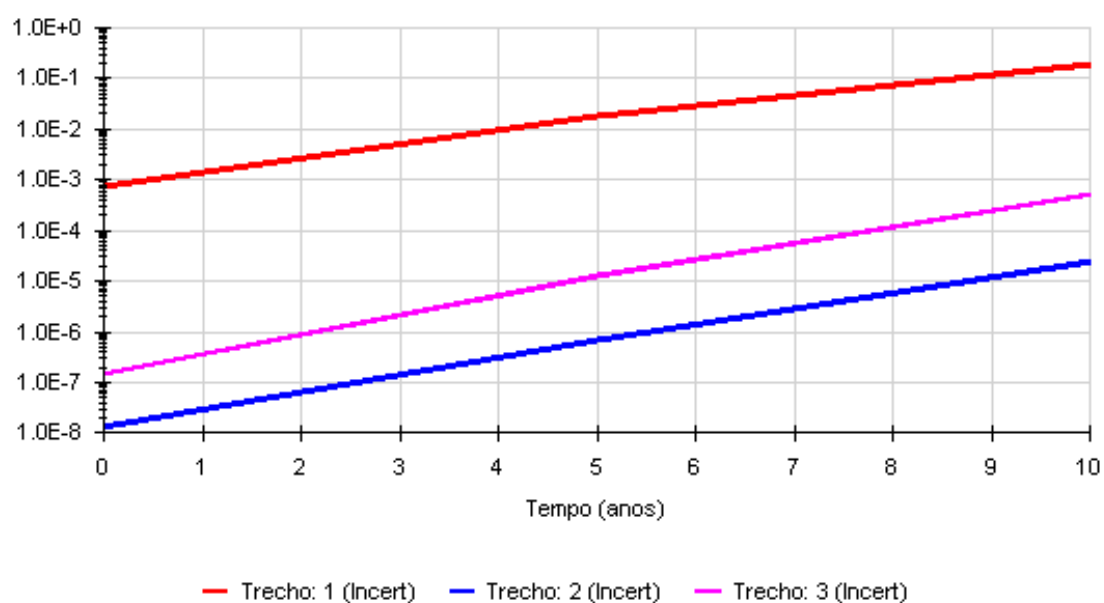


Probabilidade de Falha (Vazamento) do Defeito x Odômetro

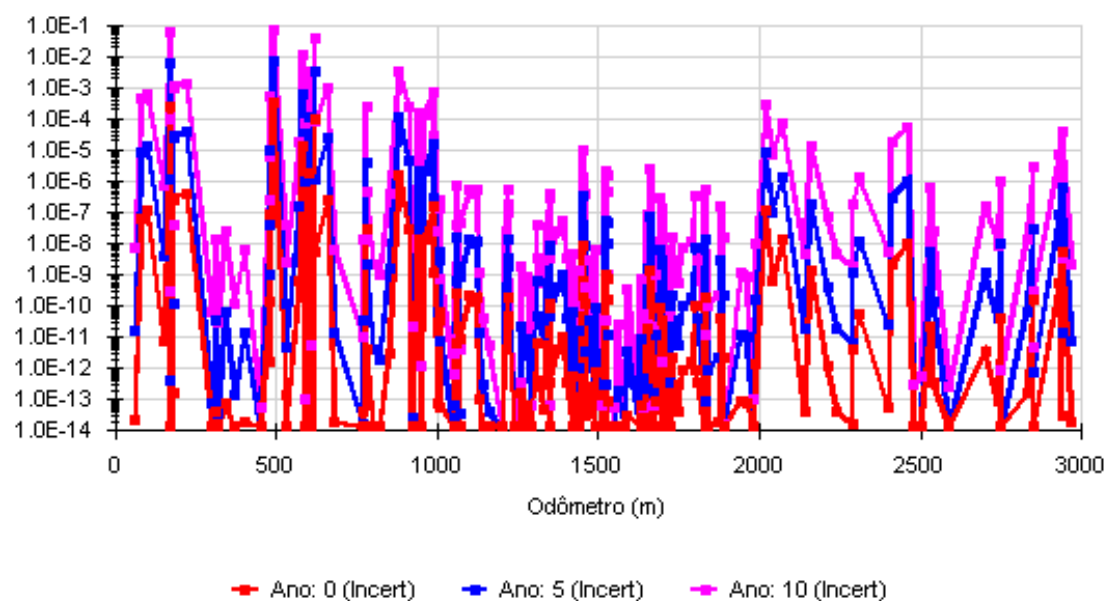


Probabilidade de Falha do Duto (Vazamento) x Número de Reparos

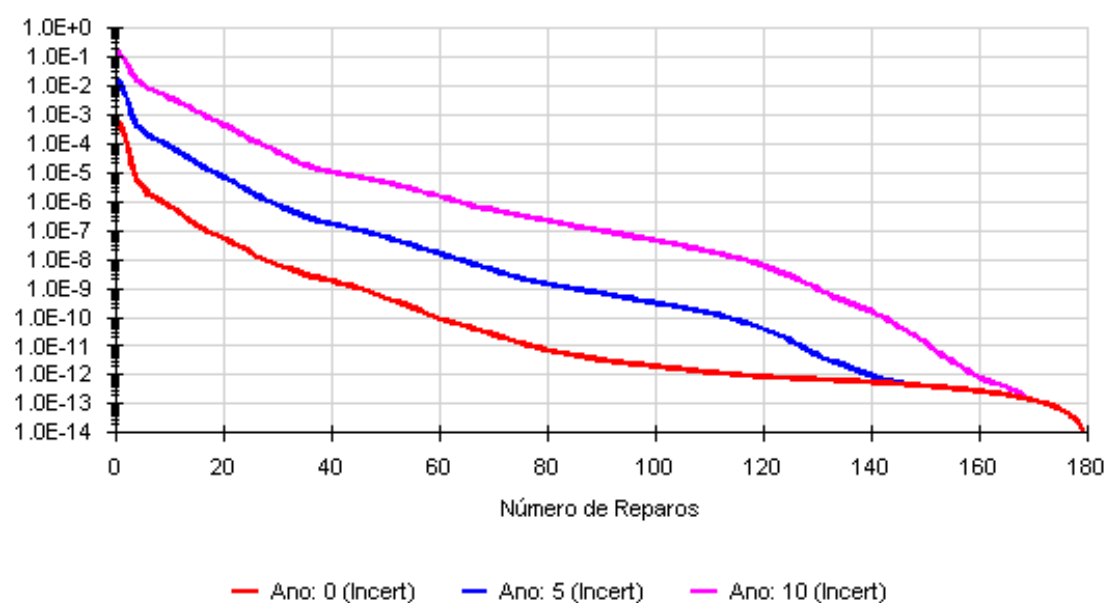


Probabilidade de Falha do Duto (Combinada)**Probabilidade de Falha do Trecho (Combinada)**

Probabilidade de Falha (Combinada) do Defeito x Odômetro



Probabilidade de Falha do Duto (Combinada) x Número de Reparos



Atendimento à ASME B31G – Ano 0

Ponto	Odômetro[m]	d/t [%]	L [mm]	d/t<=10%	d/t<80%	Lm<=Ladm	MOP<=MAOPadm	Atende	PNA
1	60	20.74	48.69	n	ok	ok		sim	
2	80	26.6	386.29	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
3	100	27.45	988.34	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
4	150	15.13	695.72	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
5	170	40.67	869.4	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
6	170	23.44	636.36	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
7	170	4.28	865.82	ok				sim	
8	180	28.49	473.34	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
9	180	10.8	915.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
10	180	28.78	667.27	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
11	220	29.28	509.37	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
12	300	2.46	780.43	ok				sim	
13	310	9.31	810.16	ok				sim	
14	320	1.59	796.44	ok				sim	
15	340	22.37	21.72	n	ok	ok		sim	
16	370	3.12	492.15	ok				sim	
17	400	8.21	655.33	ok				sim	
18	450	6.86	214.46	ok				sim	
19	480	18.42	436.33	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
20	480	13.44	392.95	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
21	480	26.97	362.12	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
22	490	41.29	586.5	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
23	530	23.05	205.38	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
24	530	19.32	290.13	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
25	570	20.3	532.89	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
26	580	35.05	688.93	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
27	590	35.26	159.04	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
28	590	7.43	187.89	ok				sim	
29	600	31.59	439.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
30	610	11.86	114.99	n	ok	ok		sim	
31	620	38.84	549.06	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
32	620	23.24	546.64	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
33	660	28.55	805.55	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
34	680	8.22	513.38	ok				sim	
35	770	12.66	156.66	n	ok	ok		sim	
36	770	9.35	780.11	ok				sim	
37	780	25.37	708.35	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
38	780	14.35	890.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
39	800	6.84	457.15	ok				sim	
40	820	5.91	872.43	ok				sim	
41	850	14.02	327.68	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
42	880	31.46	316.93	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
43	910	25.47	821.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
44	920	13.43	179.12	n	ok	ok		sim	
45	940	24.43	391.76	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
46	940	20.07	679.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
47	950	10.2	247.68	n	ok	ok		sim	
48	960	24.31	683.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
49	990	27.82	925.77	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
50	990	33.44	187.05	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
51	1000	22.34	276.9	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
52	1010	17.66	689.05	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
53	1010	16.85	395.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

54	1010	9.72	466.33	ok				sim	
55	1050	13.89	42.27	n	ok	ok		sim	
56	1050	15.52	302.3	n	ok	ok		sim	
57	1050	16.77	91.79	n	ok	ok		sim	
58	1060	19.26	653.02	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
59	1060	14.96	526.01	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
60	1070	15.93	110.5	n	ok	ok		sim	
61	1070	15.27	404.62	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
62	1100	18.98	984.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
63	1110	18.48	687.43	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
64	1120	18.86	494.51	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
65	1130	10.35	796.31	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
66	1140	6.19	790.73	ok				sim	
67	1160	3.92	948.89	ok				sim	
68	1200	7.5	270.06	ok				sim	
69	1210	14.43	434.04	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
70	1220	18.93	900.44	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
71	1220	16.42	412.82	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
72	1220	17.21	521.11	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
73	1240	9.07	65.05	ok				sim	
74	1260	13.23	99.9	n	ok	ok		sim	
75	1260	10.91	331.79	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
76	1270	8.53	756.65	ok				sim	
77	1280	22.2	296.08	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
78	1290	11.31	14.68	n	ok	ok		sim	
79	1310	14.96	430.94	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
80	1310	11.82	520.85	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
81	1330	9.43	447.74	ok				sim	
82	1330	11.5	492.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
83	1340	14.79	362.35	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
84	1350	18.38	875.61	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
85	1350	18.03	562.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
86	1350	11.31	246.08	n	ok	ok		sim	
87	1350	11.77	924.22	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
88	1370	14.36	941.59	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
89	1390	15.48	605.76	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
90	1400	11.64	342.22	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
91	1420	5.92	164.58	ok				sim	
92	1420	12.19	574.69	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
93	1430	6.88	241.27	ok				sim	
94	1440	10.53	757.92	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
95	1440	7.39	771.68	ok				sim	
96	1450	23.69	868.71	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
97	1460	18.36	806.6	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
98	1460	8.91	849.03	ok				sim	
99	1470	11.45	519.99	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
100	1490	7.98	8.9	ok				sim	
101	1490	12.53	655.12	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
102	1510	11.3	170.14	n	ok	ok		sim	
103	1520	18.39	127.58	n	ok	ok		sim	
104	1520	4.06	208.16	ok				sim	
105	1520	20.97	529.25	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
106	1530	18.62	994.36	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
107	1530	10.23	863.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
108	1530	20.67	632.51	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

109	1530	2.98	112.71	ok				sim	
110	1550	6.65	133.49	ok				sim	
111	1550	11.05	261.02	n	ok	ok		sim	
112	1560	5.68	730.25	ok				sim	
113	1580	9.38	9.19	ok				sim	
114	1590	8.88	498.71	ok				sim	
115	1630	8.76	54.55	ok				sim	
116	1630	9.79	930.96	ok				sim	
117	1640	11.14	161.65	n	ok	ok		sim	
118	1640	6.59	795.1	ok				sim	
119	1650	16.21	899.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
120	1650	18.03	232.83	n	ok	ok		sim	
121	1660	21.3	848.8	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
122	1670	11.36	269.38	n	ok	ok		sim	
123	1670	5.5	796.69	ok				sim	
124	1680	10.2	525.03	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
125	1690	17.92	519.29	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
126	1700	14.76	135.9	n	ok	ok		sim	
127	1700	16.85	906.68	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
128	1720	6.36	742.26	ok				sim	
129	1730	10.9	915.6	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
130	1730	13.72	335.06	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
131	1740	10.43	833.21	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
132	1750	21.6	173.12	n	ok	ok		sim	
133	1750	11.48	444.11	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
134	1760	12.67	824.94	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
135	1790	13.38	941.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
136	1800	18.22	431.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
137	1800	12.73	575.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
138	1810	11.63	972.83	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
139	1830	4.85	412.45	ok				sim	
140	1830	18.96	902.63	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
141	1840	7.29	984.43	ok				sim	
142	1870	20.58	269.64	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
143	1880	16.97	343.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
144	1890	13.73	839.2	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
145	1890	9.39	5.36	ok				sim	
146	1940	10.28	849.56	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
147	1950	10.17	725.82	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
148	1960	10.03	466.76	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
149	1980	11.85	287.46	n	ok	ok		sim	
150	1990	13.23	329.83	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
151	2020	27.35	490.61	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
152	2040	20.38	463.64	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
153	2070	24.33	575.29	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
154	2140	21.6	163.17	n	ok	ok		sim	
155	2160	21.27	742.19	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
156	2210	25.25	278.84	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
157	2240	9.3	707.67	ok				sim	
158	2290	20.35	211.02	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
159	2290	14.41	633.55	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
160	2310	17.39	314.51	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
161	2400	9.59	965.74	ok				sim	
162	2410	22	746.61	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
163	2460	23.9	647.28	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

164	2480	10.21	108.01	n	ok	ok		sim	
165	2500	10.89	0.38	n	ok	ok		sim	
166	2530	16.29	973.97	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
167	2540	11.63	539.24	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
168	2590	10.01	88.43	n	ok	ok		sim	
169	2700	14.28	725.63	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
170	2740	10.14	632.47	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
171	2750	17.1	687	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
172	2750	11.26	264.34	n	ok	ok		sim	
173	2830	10.81	322.35	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
174	2850	18.66	988.7	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
175	2850	13.13	239.86	n	ok	ok		sim	
176	2850	5.72	902.19	ok				sim	
177	2930	20.15	624.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
178	2940	21.23	94.23	n	ok	ok		sim	
179	2940	23.23	684.47	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
180	2970	8.26	435.17	ok				sim	

Atendimento à ASME B31G – Ano 5

Ponto	Odômetro [m]	d/t [%]	L [mm]	d/t<=10%	d/t<80%	Lm<=Ladm	MOP<=MAOPadm	Atende	PNA
1	60	20.74	48.69	n	ok	ok		sim	
2	80	26.6	386.29	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
3	100	27.45	988.34	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
4	150	15.13	695.72	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
5	170	40.67	869.4	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
6	170	23.44	636.36	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
7	170	4.28	865.82	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
8	180	28.49	473.34	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
9	180	10.8	915.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
10	180	28.78	667.27	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
11	220	29.28	509.37	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
12	300	2.46	780.43	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
13	310	9.31	810.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
14	320	1.59	796.44	ok				sim	
15	340	22.37	21.72	n	ok	ok		sim	
16	370	3.12	492.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
17	400	8.21	655.33	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
18	450	6.86	214.46	n	ok	ok		sim	
19	480	18.42	436.33	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
20	480	13.44	392.95	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
21	480	26.97	362.12	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
22	490	41.29	586.5	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
23	530	23.05	205.38	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
24	530	19.32	290.13	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
25	570	20.3	532.89	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
26	580	35.05	688.93	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
27	590	35.26	159.04	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
28	590	7.43	187.89	n	ok	ok		sim	
29	600	31.59	439.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
30	610	11.86	114.99	n	ok	ok		sim	
31	620	38.84	549.06	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
32	620	23.24	546.64	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
33	660	28.55	805.55	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
34	680	8.22	513.38	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
35	770	12.66	156.66	n	ok	ok		sim	
36	770	9.35	780.11	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
37	780	25.37	708.35	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
38	780	14.35	890.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
39	800	6.84	457.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
40	820	5.91	872.43	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
41	850	14.02	327.68	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
42	880	31.46	316.93	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
43	910	25.47	821.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
44	920	13.43	179.12	n	ok	ok		sim	
45	940	24.43	391.76	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
46	940	20.07	679.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
47	950	10.2	247.68	n	ok	ok		sim	
48	960	24.31	683.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
49	990	27.82	925.77	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
50	990	33.44	187.05	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
51	1000	22.34	276.9	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
52	1010	17.66	689.05	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

53	1010	16.85	395.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
54	1010	9.72	466.33	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
55	1050	13.89	42.27	n	ok	ok		sim	
56	1050	15.52	302.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
57	1050	16.77	91.79	n	ok	ok		sim	
58	1060	19.26	653.02	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
59	1060	14.96	526.01	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
60	1070	15.93	110.5	n	ok	ok		sim	
61	1070	15.27	404.62	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
62	1100	18.98	984.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
63	1110	18.48	687.43	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
64	1120	18.86	494.51	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
65	1130	10.35	796.31	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
66	1140	6.19	790.73	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
67	1160	3.92	948.89	ok				sim	
68	1200	7.5	270.06	n	ok	ok		sim	
69	1210	14.43	434.04	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
70	1220	18.93	900.44	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
71	1220	16.42	412.82	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
72	1220	17.21	521.11	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
73	1240	9.07	65.05	n	ok	ok		sim	
74	1260	13.23	99.9	n	ok	ok		sim	
75	1260	10.91	331.79	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
76	1270	8.53	756.65	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
77	1280	22.2	296.08	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
78	1290	11.31	14.68	n	ok	ok		sim	
79	1310	14.96	430.94	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
80	1310	11.82	520.85	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
81	1330	9.43	447.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
82	1330	11.5	492.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
83	1340	14.79	362.35	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
84	1350	18.38	875.61	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
85	1350	18.03	562.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
86	1350	11.31	246.08	n	ok	ok		sim	
87	1350	11.77	924.22	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
88	1370	14.36	941.59	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
89	1390	15.48	605.76	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
90	1400	11.64	342.22	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
91	1420	5.92	164.58	n	ok	ok		sim	
92	1420	12.19	574.69	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
93	1430	6.88	241.27	n	ok	ok		sim	
94	1440	10.53	757.92	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
95	1440	7.39	771.68	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
96	1450	23.69	868.71	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
97	1460	18.36	806.6	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
98	1460	8.91	849.03	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
99	1470	11.45	519.99	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
100	1490	7.98	8.9	n	ok	ok		sim	
101	1490	12.53	655.12	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
102	1510	11.3	170.14	n	ok	ok		sim	
103	1520	18.39	127.58	n	ok	ok		sim	
104	1520	4.06	208.16	ok				sim	
105	1520	20.97	529.25	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
106	1530	18.62	994.36	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

107	1530	10.23	863.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
108	1530	20.67	632.51	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
109	1530	2.98	112.71	ok				sim	
110	1550	6.65	133.49	n	ok	ok		sim	
111	1550	11.05	261.02	n	ok	ok		sim	
112	1560	5.68	730.25	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
113	1580	9.38	9.19	n	ok	ok		sim	
114	1590	8.88	498.71	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
115	1630	8.76	54.55	n	ok	ok		sim	
116	1630	9.79	930.96	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
117	1640	11.14	161.65	n	ok	ok		sim	
118	1640	6.59	795.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
119	1650	16.21	899.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
120	1650	18.03	232.83	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
121	1660	21.3	848.8	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
122	1670	11.36	269.38	n	ok	ok		sim	
123	1670	5.5	796.69	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
124	1680	10.2	525.03	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
125	1690	17.92	519.29	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
126	1700	14.76	135.9	n	ok	ok		sim	
127	1700	16.85	906.68	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
128	1720	6.36	742.26	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
129	1730	10.9	915.6	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
130	1730	13.72	335.06	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
131	1740	10.43	833.21	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
132	1750	21.6	173.12	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
133	1750	11.48	444.11	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
134	1760	12.67	824.94	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
135	1790	13.38	941.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
136	1800	18.22	431.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
137	1800	12.73	575.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
138	1810	11.63	972.83	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
139	1830	4.85	412.45	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
140	1830	18.96	902.63	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
141	1840	7.29	984.43	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
142	1870	20.58	269.64	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
143	1880	16.97	343.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
144	1890	13.73	839.2	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
145	1890	9.39	5.36	n	ok	ok		sim	
146	1940	10.28	849.56	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
147	1950	10.17	725.82	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
148	1960	10.03	466.76	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
149	1980	11.85	287.46	n	ok	ok		sim	
150	1990	13.23	329.83	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
151	2020	27.35	490.61	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
152	2040	20.38	463.64	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
153	2070	24.33	575.29	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
154	2140	21.6	163.17	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
155	2160	21.27	742.19	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
156	2210	25.25	278.84	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
157	2240	9.3	707.67	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
158	2290	20.35	211.02	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
159	2290	14.41	633.55	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
160	2310	17.39	314.51	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

161	2400	9.59	965.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
162	2410	22	746.61	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
163	2460	23.9	647.28	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
164	2480	10.21	108.01	n	ok	ok		sim	
165	2500	10.89	0.38	n	ok	ok		sim	
166	2530	16.29	973.97	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
167	2540	11.63	539.24	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
168	2590	10.01	88.43	n	ok	ok		sim	
169	2700	14.28	725.63	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
170	2740	10.14	632.47	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
171	2750	17.1	687	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
172	2750	11.26	264.34	n	ok	ok		sim	
173	2830	10.81	322.35	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
174	2850	18.66	988.7	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
175	2850	13.13	239.86	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
176	2850	5.72	902.19	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
177	2930	20.15	624.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
178	2940	21.23	94.23	n	ok	ok		sim	
179	2940	23.23	684.47	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
180	2970	8.26	435.17	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

Atendimento à ASME B31G – Ano 10

Ponto	Odômetro [m]	d/t [%]	L [mm]	d/t<=10%	d/t<80%	Lm<=Ladm	MOP<=MAOPadm	Atende	PNA
1	60	20.74	48.69	n	ok	ok		sim	
2	80	26.6	386.29	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
3	100	27.45	988.34	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
4	150	15.13	695.72	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
5	170	40.67	869.4	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
6	170	23.44	636.36	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
7	170	4.28	865.82	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
8	180	28.49	473.34	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
9	180	10.8	915.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
10	180	28.78	667.27	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
11	220	29.28	509.37	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
12	300	2.46	780.43	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
13	310	9.31	810.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
14	320	1.59	796.44	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
15	340	22.37	21.72	n	ok	ok		sim	
16	370	3.12	492.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
17	400	8.21	655.33	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
18	450	6.86	214.46	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
19	480	18.42	436.33	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
20	480	13.44	392.95	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
21	480	26.97	362.12	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
22	490	41.29	586.5	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
23	530	23.05	205.38	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
24	530	19.32	290.13	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
25	570	20.3	532.89	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
26	580	35.05	688.93	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
27	590	35.26	159.04	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
28	590	7.43	187.89	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
29	600	31.59	439.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
30	610	11.86	114.99	n	ok	ok		sim	
31	620	38.84	549.06	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
32	620	23.24	546.64	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
33	660	28.55	805.55	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
34	680	8.22	513.38	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
35	770	12.66	156.66	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
36	770	9.35	780.11	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
37	780	25.37	708.35	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
38	780	14.35	890.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
39	800	6.84	457.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
40	820	5.91	872.43	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
41	850	14.02	327.68	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
42	880	31.46	316.93	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
43	910	25.47	821.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
44	920	13.43	179.12	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
45	940	24.43	391.76	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
46	940	20.07	679.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
47	950	10.2	247.68	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
48	960	24.31	683.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
49	990	27.82	925.77	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
50	990	33.44	187.05	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
51	1000	22.34	276.9	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
52	1010	17.66	689.05	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

53	1010	16.85	395.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
54	1010	9.72	466.33	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
55	1050	13.89	42.27	n	ok	ok		sim	
56	1050	15.52	302.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
57	1050	16.77	91.79	n	ok	ok		sim	
58	1060	19.26	653.02	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
59	1060	14.96	526.01	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
60	1070	15.93	110.5	n	ok	ok		sim	
61	1070	15.27	404.62	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
62	1100	18.98	984.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
63	1110	18.48	687.43	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
64	1120	18.86	494.51	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
65	1130	10.35	796.31	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
66	1140	6.19	790.73	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
67	1160	3.92	948.89	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
68	1200	7.5	270.06	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
69	1210	14.43	434.04	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
70	1220	18.93	900.44	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
71	1220	16.42	412.82	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
72	1220	17.21	521.11	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
73	1240	9.07	65.05	n	ok	ok		sim	
74	1260	13.23	99.9	n	ok	ok		sim	
75	1260	10.91	331.79	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
76	1270	8.53	756.65	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
77	1280	22.2	296.08	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
78	1290	11.31	14.68	n	ok	ok		sim	
79	1310	14.96	430.94	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
80	1310	11.82	520.85	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
81	1330	9.43	447.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
82	1330	11.5	492.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
83	1340	14.79	362.35	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
84	1350	18.38	875.61	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
85	1350	18.03	562.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
86	1350	11.31	246.08	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
87	1350	11.77	924.22	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
88	1370	14.36	941.59	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
89	1390	15.48	605.76	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
90	1400	11.64	342.22	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
91	1420	5.92	164.58	n	ok	ok		sim	
92	1420	12.19	574.69	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
93	1430	6.88	241.27	n	ok	ok		sim	
94	1440	10.53	757.92	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
95	1440	7.39	771.68	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
96	1450	23.69	868.71	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
97	1460	18.36	806.6	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
98	1460	8.91	849.03	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
99	1470	11.45	519.99	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
100	1490	7.98	8.9	n	ok	ok		sim	
101	1490	12.53	655.12	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
102	1510	11.3	170.14	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
103	1520	18.39	127.58	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
104	1520	4.06	208.16	n	ok	ok		sim	
105	1520	20.97	529.25	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
106	1530	18.62	994.36	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

107	1530	10.23	863.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
108	1530	20.67	632.51	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
109	1530	2.98	112.71	n	ok	ok		sim	
110	1550	6.65	133.49	n	ok	ok		sim	
111	1550	11.05	261.02	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
112	1560	5.68	730.25	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
113	1580	9.38	9.19	n	ok	ok		sim	
114	1590	8.88	498.71	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
115	1630	8.76	54.55	n	ok	ok		sim	
116	1630	9.79	930.96	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
117	1640	11.14	161.65	n	ok	ok		sim	
118	1640	6.59	795.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
119	1650	16.21	899.3	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
120	1650	18.03	232.83	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
121	1660	21.3	848.8	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
122	1670	11.36	269.38	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
123	1670	5.5	796.69	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
124	1680	10.2	525.03	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
125	1690	17.92	519.29	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
126	1700	14.76	135.9	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
127	1700	16.85	906.68	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
128	1720	6.36	742.26	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
129	1730	10.9	915.6	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
130	1730	13.72	335.06	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
131	1740	10.43	833.21	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
132	1750	21.6	173.12	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
133	1750	11.48	444.11	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
134	1760	12.67	824.94	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
135	1790	13.38	941.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
136	1800	18.22	431.15	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
137	1800	12.73	575.78	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
138	1810	11.63	972.83	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
139	1830	4.85	412.45	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
140	1830	18.96	902.63	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
141	1840	7.29	984.43	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
142	1870	20.58	269.64	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
143	1880	16.97	343.1	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
144	1890	13.73	839.2	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
145	1890	9.39	5.36	n	ok	ok		sim	
146	1940	10.28	849.56	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
147	1950	10.17	725.82	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
148	1960	10.03	466.76	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
149	1980	11.85	287.46	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
150	1990	13.23	329.83	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
151	2020	27.35	490.61	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
152	2040	20.38	463.64	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
153	2070	24.33	575.29	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
154	2140	21.6	163.17	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
155	2160	21.27	742.19	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
156	2210	25.25	278.84	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
157	2240	9.3	707.67	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
158	2290	20.35	211.02	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
159	2290	14.41	633.55	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
160	2310	17.39	314.51	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

161	2400	9.59	965.74	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
162	2410	22	746.61	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
163	2460	23.9	647.28	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
164	2480	10.21	108.01	n	ok	ok		sim	
165	2500	10.89	0.38	n	ok	ok		sim	
166	2530	16.29	973.97	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
167	2540	11.63	539.24	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
168	2590	10.01	88.43	n	ok	ok		sim	
169	2700	14.28	725.63	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
170	2740	10.14	632.47	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
171	2750	17.1	687	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
172	2750	11.26	264.34	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
173	2830	10.81	322.35	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
174	2850	18.66	988.7	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
175	2850	13.13	239.86	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
176	2850	5.72	902.19	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
177	2930	20.15	624.16	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
178	2940	21.23	94.23	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
179	2940	23.23	684.47	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01
180	2970	8.26	435.17	n	ok	n	ok	sim	5.00E-01

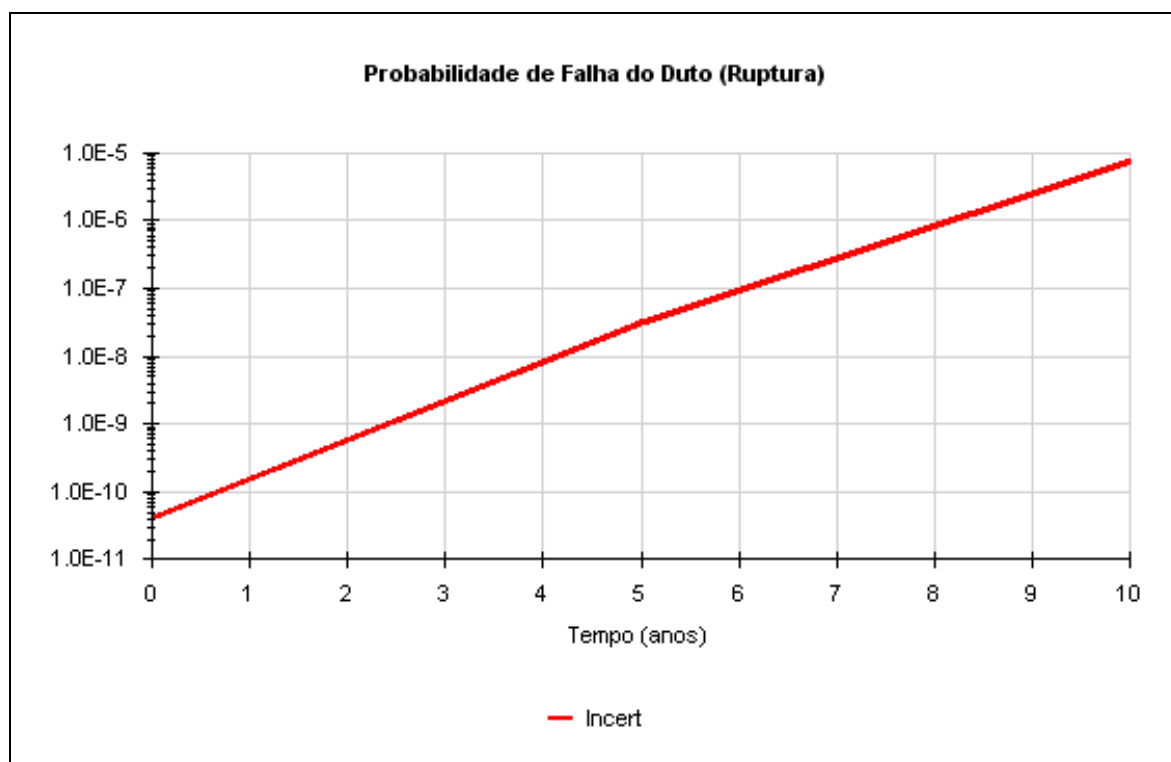
Resultados da Análise de Confiabilidade

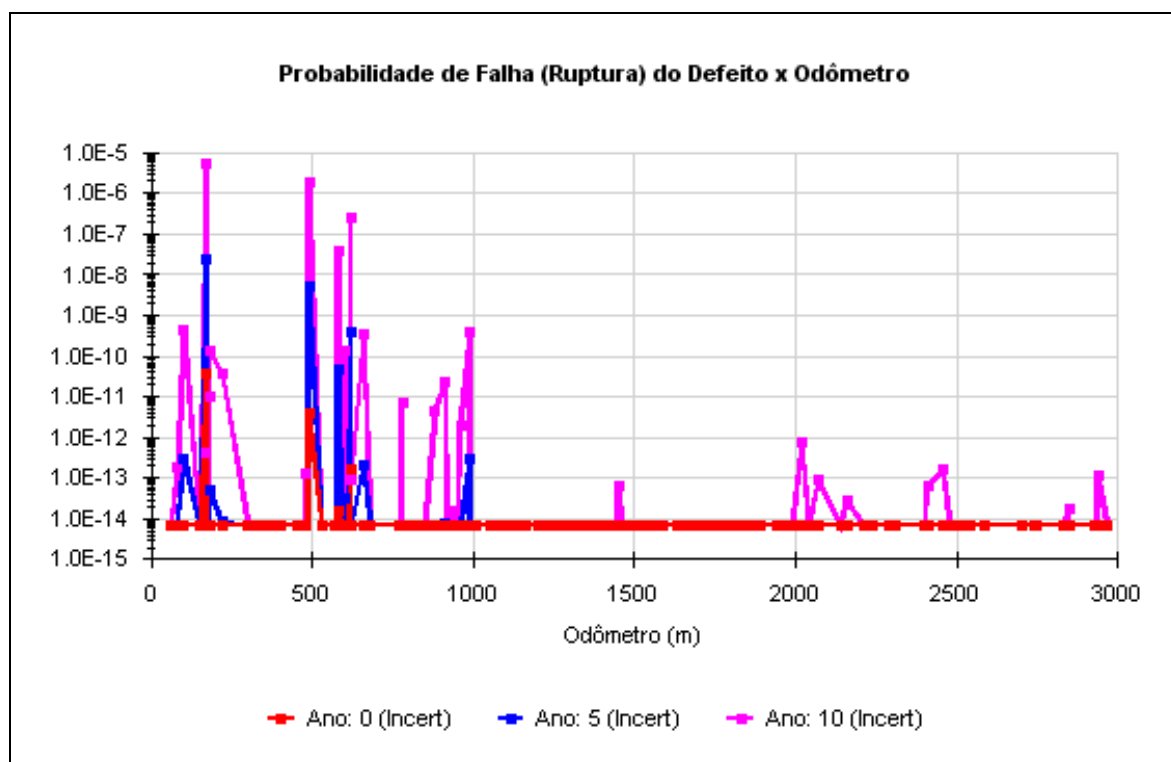
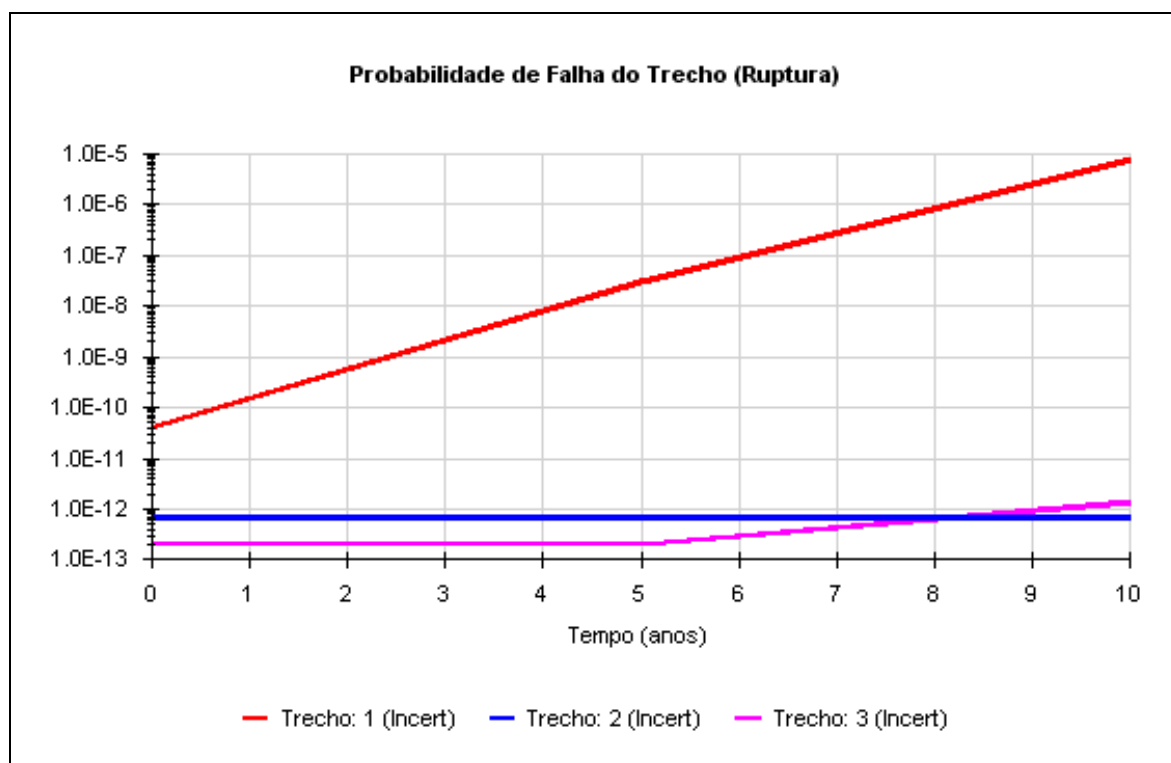
Modelo de pressão de falha (colapso plástico): Arco&Kiefner

Tempo inicial: 2009

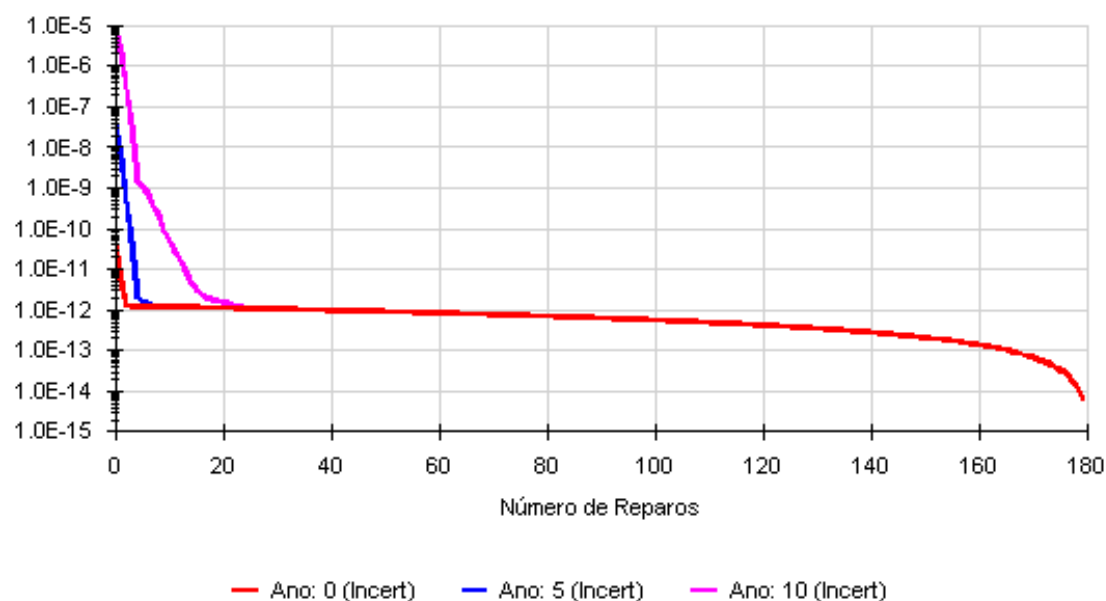
Tempo final: 2019

Probabilidade de Falha	ano 0	ano 5	ano 10
PoF Duto (Incertezas-Rup)	4.07E-11	3.07E-08	7.57E-06
PoF Duto (Incertezas-Vaz)	6.62E-07	6.69E-05	2.84E-03
PoF Duto (Incertezas-Comb)	6.62E-07	6.69E-05	2.85E-03
PoF Trecho 1 (Incertezas-Rup)	3.99E-11	3.07E-08	7.57E-06
PoF Trecho 1 (Incertezas-Vaz)	6.62E-07	6.69E-05	2.84E-03
PoF Trecho 1 (Incertezas-Comb)	6.62E-07	6.69E-05	2.85E-03
PoF Trecho 2 (Incertezas-Rup)	6.71E-13	6.71E-13	7.31E-13
PoF Trecho 2 (Incertezas-Vaz)	1.06E-12	6.79E-11	6.17E-09
PoF Trecho 2 (Incertezas-Comb)	1.75E-12	6.86E-11	6.17E-09
PoF Trecho 3 (Incertezas-Rup)	2.03E-13	2.03E-13	1.38E-12
PoF Trecho 3 (Incertezas-Vaz)	9.97E-12	3.07E-09	4.66E-07
PoF Trecho 3 (Incertezas-Comb)	1.02E-11	3.07E-09	4.66E-07

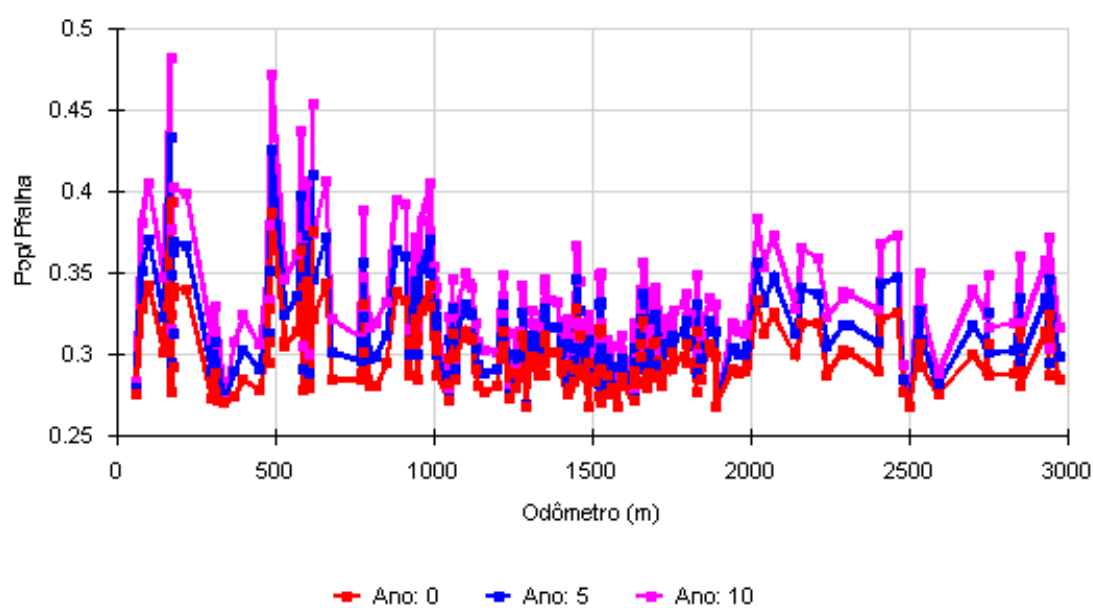




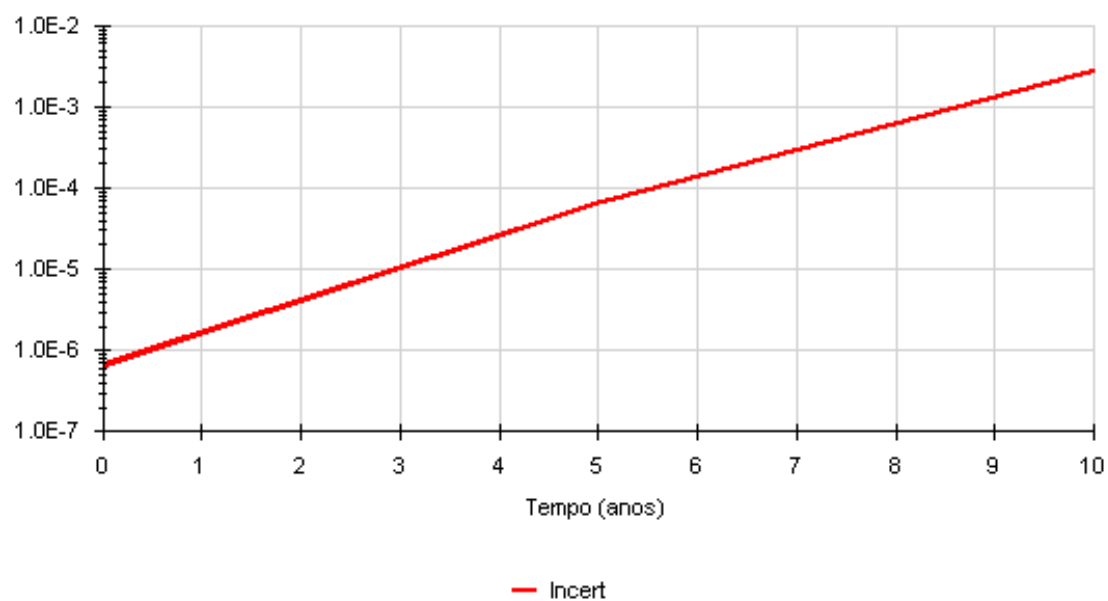
Probabilidade de Falha do Duto (Ruptura) x Número de Reparos



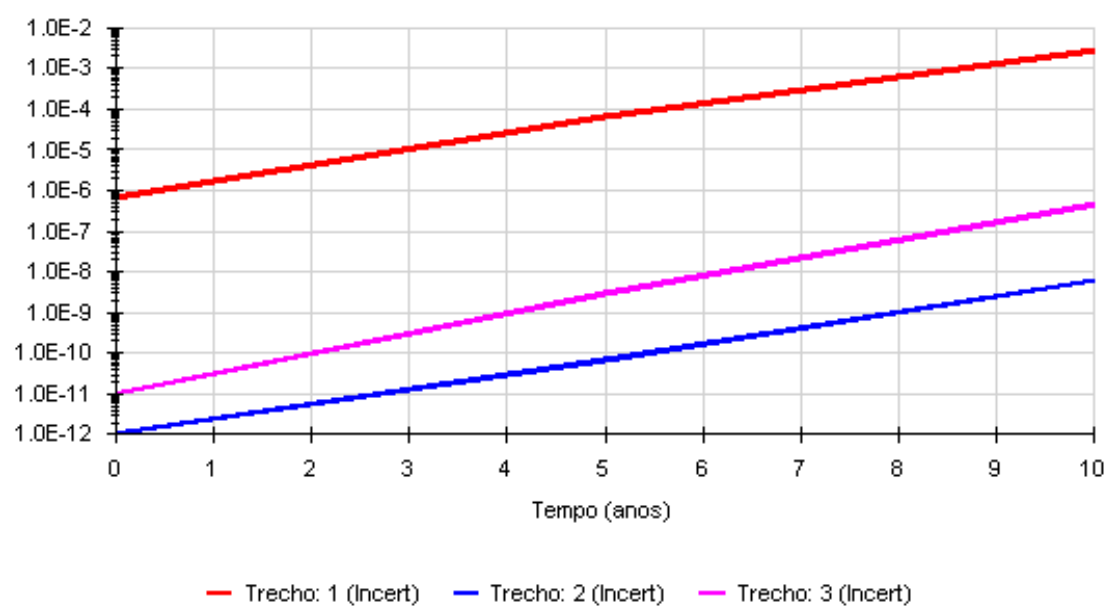
Pop/Pfalha x Odômetro



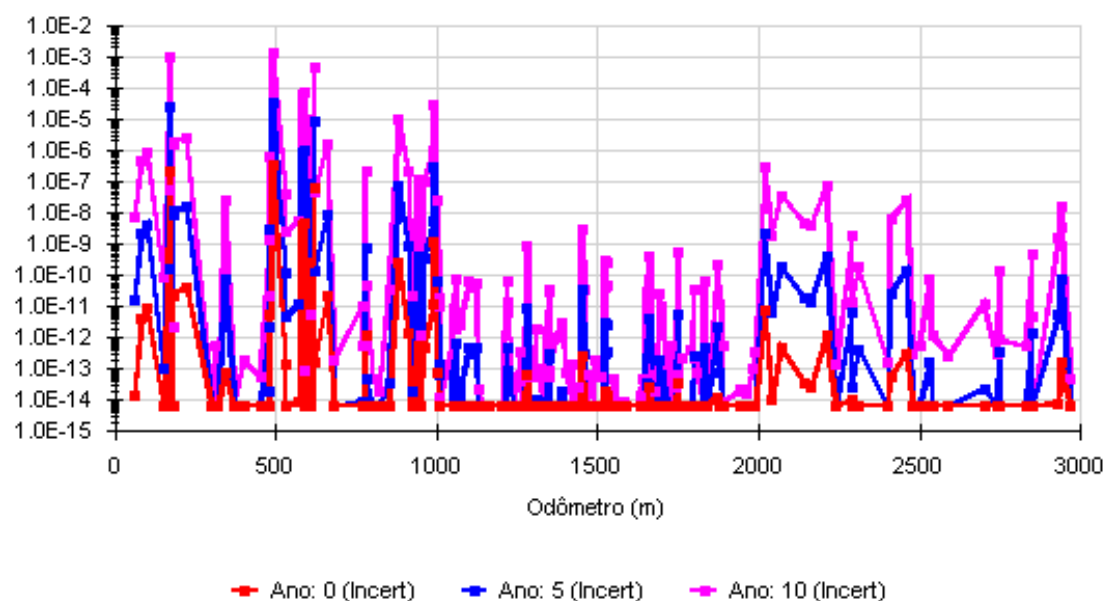
Probabilidade de Falha do Duto (Vazamento)



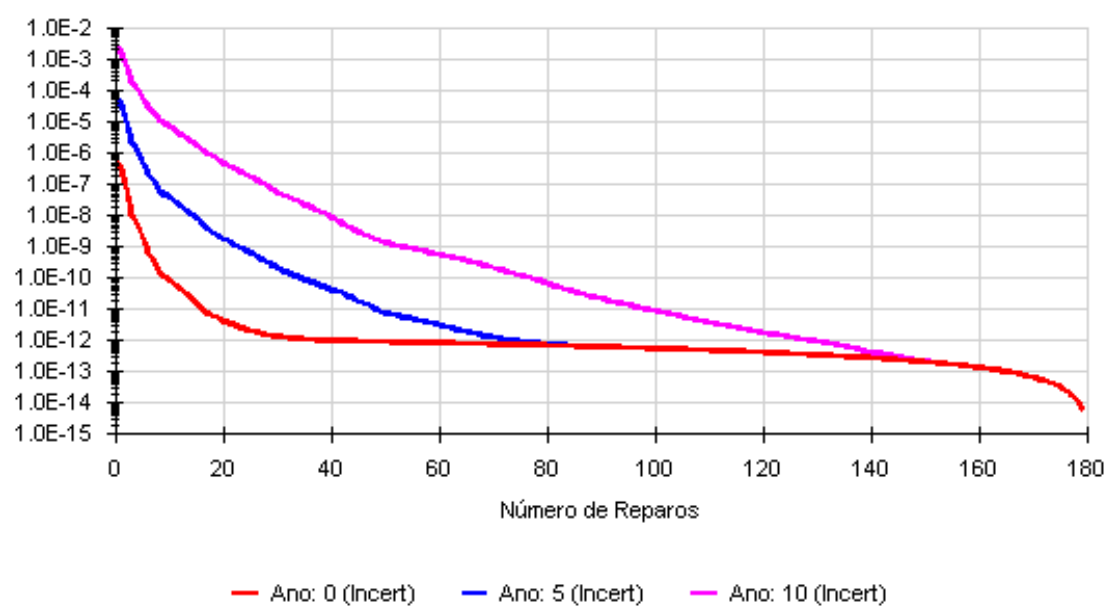
Probabilidade de Falha do Trecho (Vazamento)

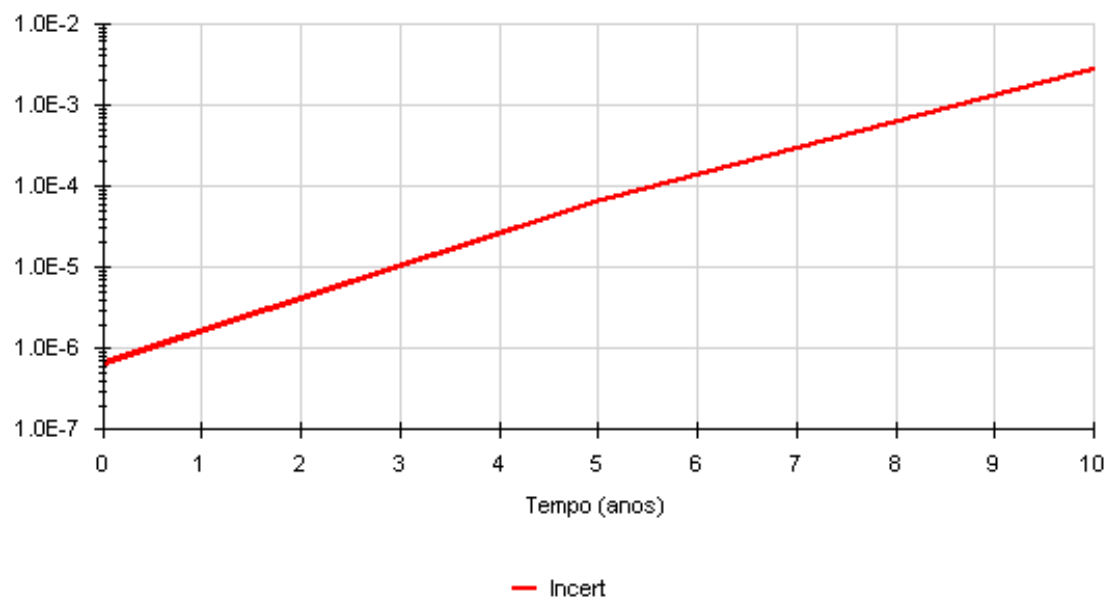
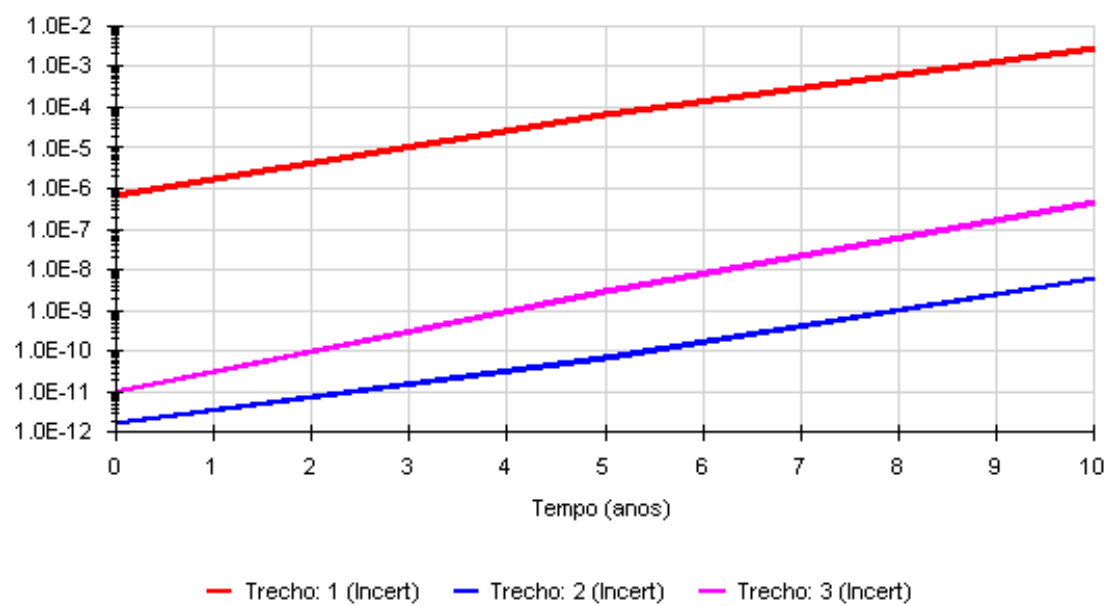


Probabilidade de Falha (Vazamento) do Defeito x Odômetro

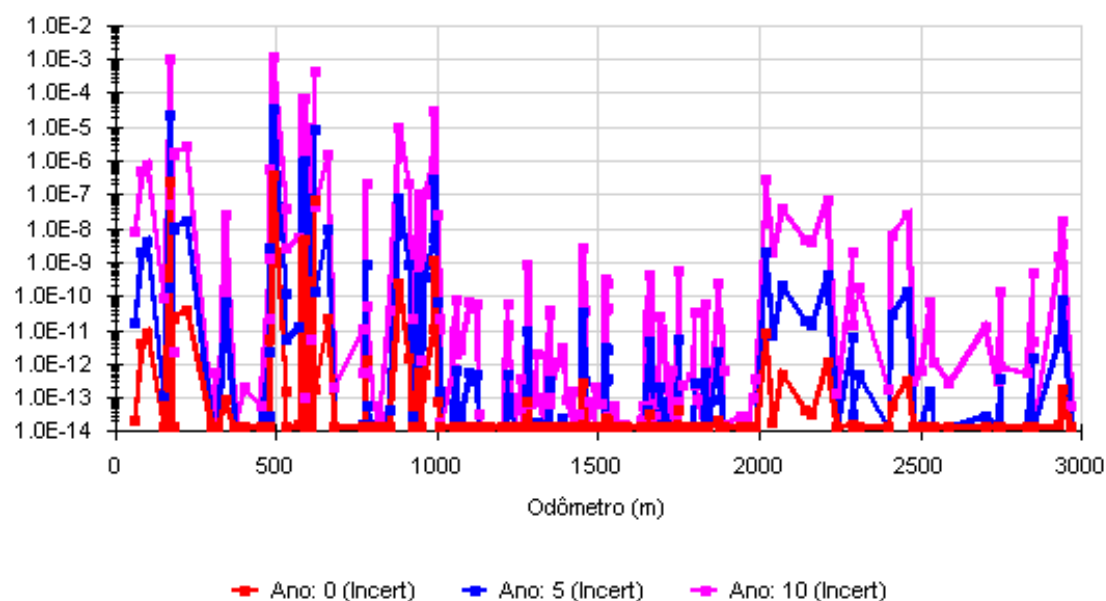


Probabilidade de Falha do Duto (Vazamento) x Número de Reparos

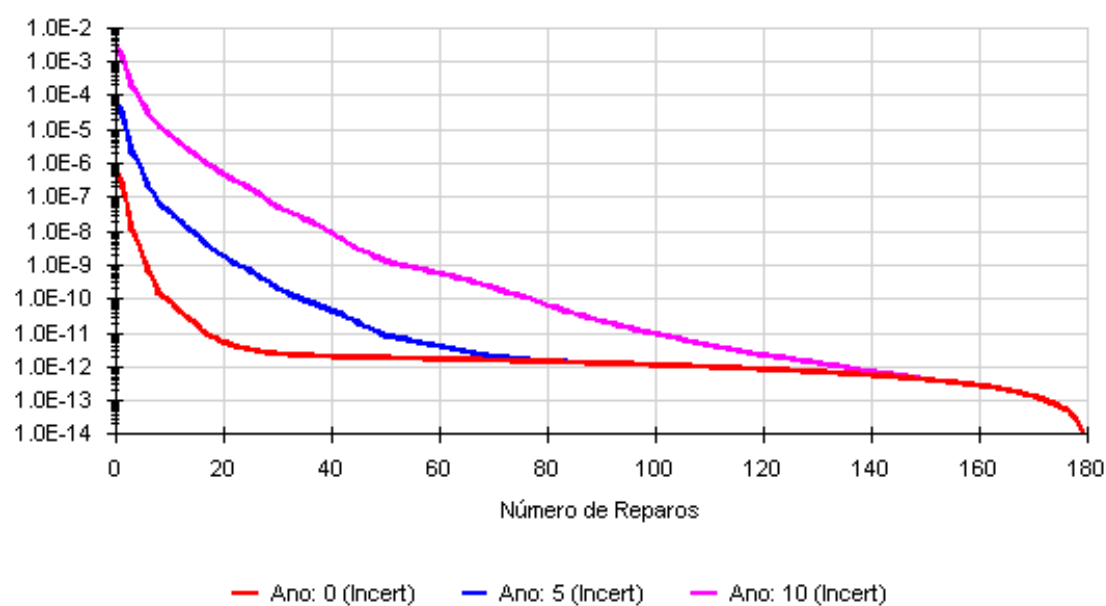


Probabilidade de Falha do Duto (Combinada)**Probabilidade de Falha do Trecho (Combinada)**

Probabilidade de Falha (Combinada) do Defeito x Odômetro



Probabilidade de Falha do Duto (Combinada) x Número de Reparos



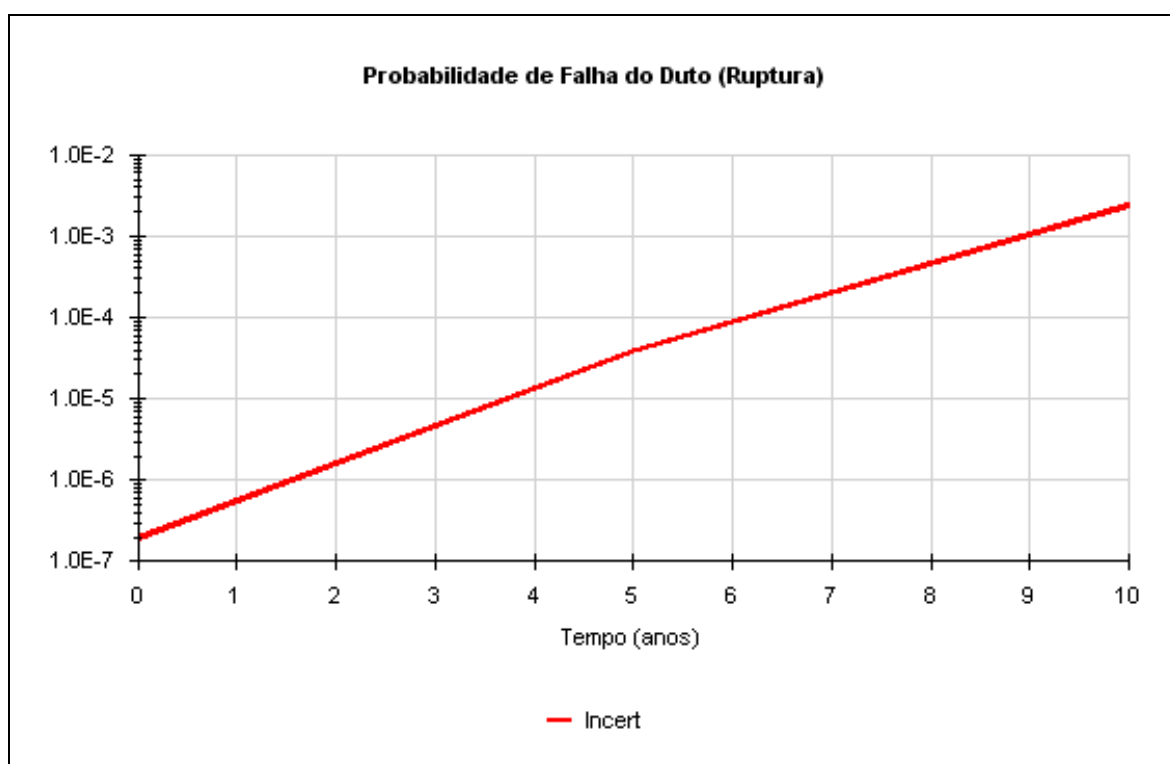
Resultados da Análise de Confiabilidade

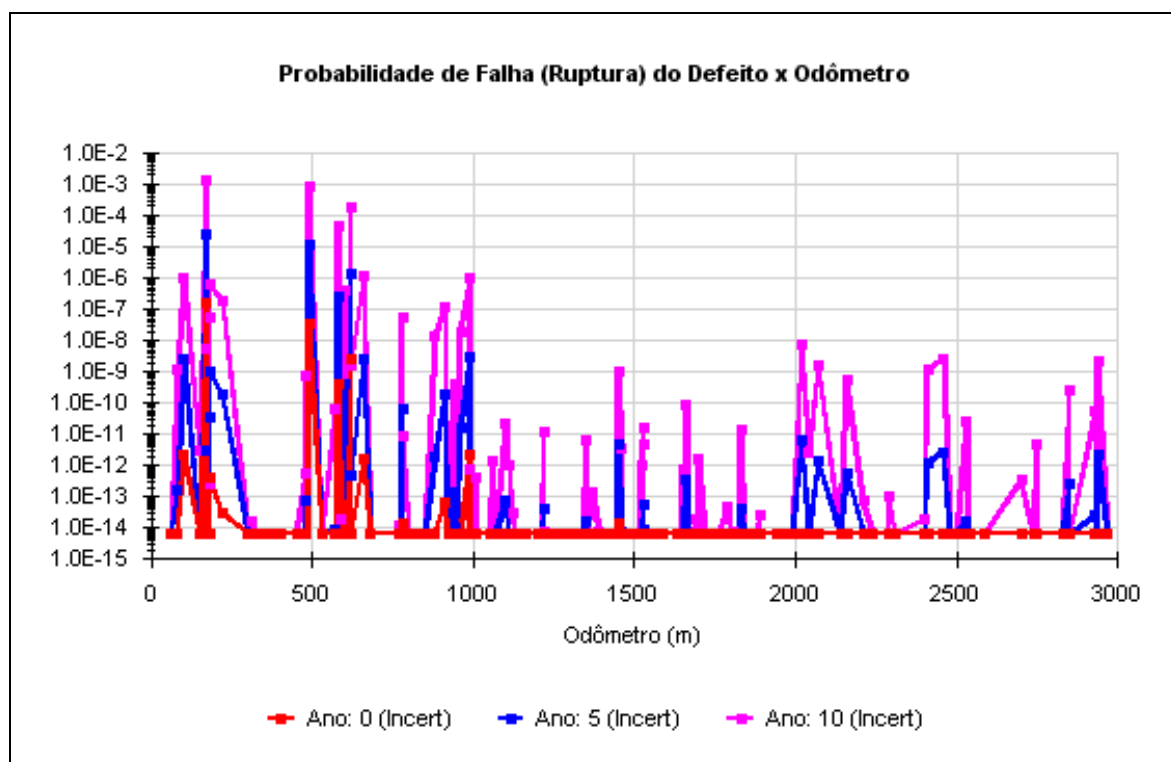
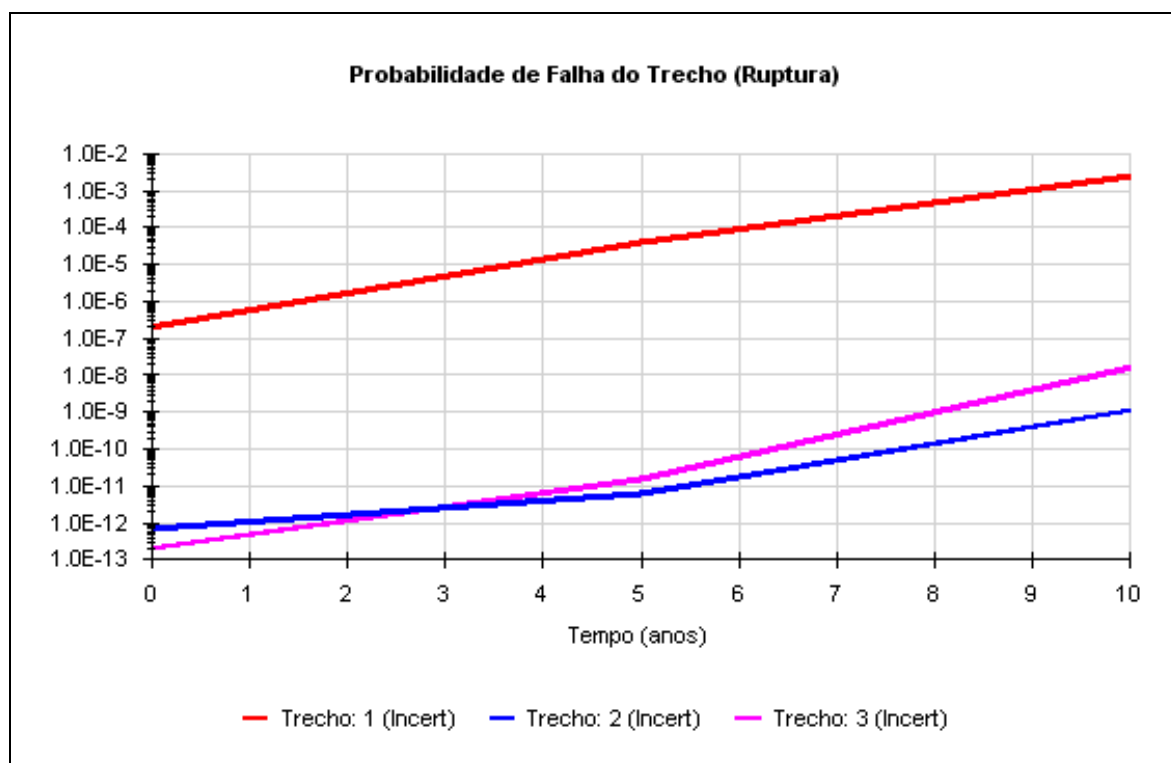
Modelo de pressão de falha (colapso plástico): DNV-99

Tempo inicial: 2009

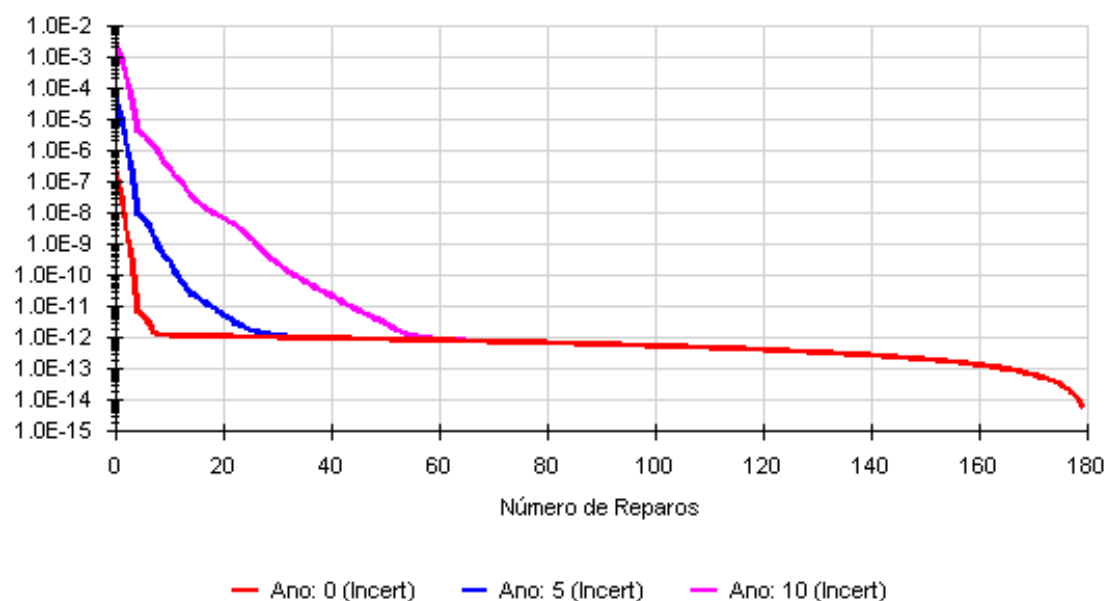
Tempo final: 2019

Probabilidade de Falha	ano 0	ano 5	ano 10
PoF Duto (Incertezas-Rup)	1.98E-07	3.93E-05	2.46E-03
PoF Duto (Incertezas-Vaz)	6.62E-07	6.69E-05	2.84E-03
PoF Duto (Incertezas-Comb)	8.60E-07	1.06E-04	5.29E-03
PoF Trecho 1 (Incertezas-Rup)	1.98E-07	3.93E-05	2.46E-03
PoF Trecho 1 (Incertezas-Vaz)	6.62E-07	6.69E-05	2.84E-03
PoF Trecho 1 (Incertezas-Comb)	8.60E-07	1.06E-04	5.29E-03
PoF Trecho 2 (Incertezas-Rup)	6.78E-13	6.36E-12	1.13E-09
PoF Trecho 2 (Incertezas-Vaz)	1.06E-12	6.79E-11	6.17E-09
PoF Trecho 2 (Incertezas-Comb)	1.75E-12	7.43E-11	7.30E-09
PoF Trecho 3 (Incertezas-Rup)	2.03E-13	1.50E-11	1.57E-08
PoF Trecho 3 (Incertezas-Vaz)	9.97E-12	3.07E-09	4.66E-07
PoF Trecho 3 (Incertezas-Comb)	1.02E-11	3.08E-09	4.81E-07

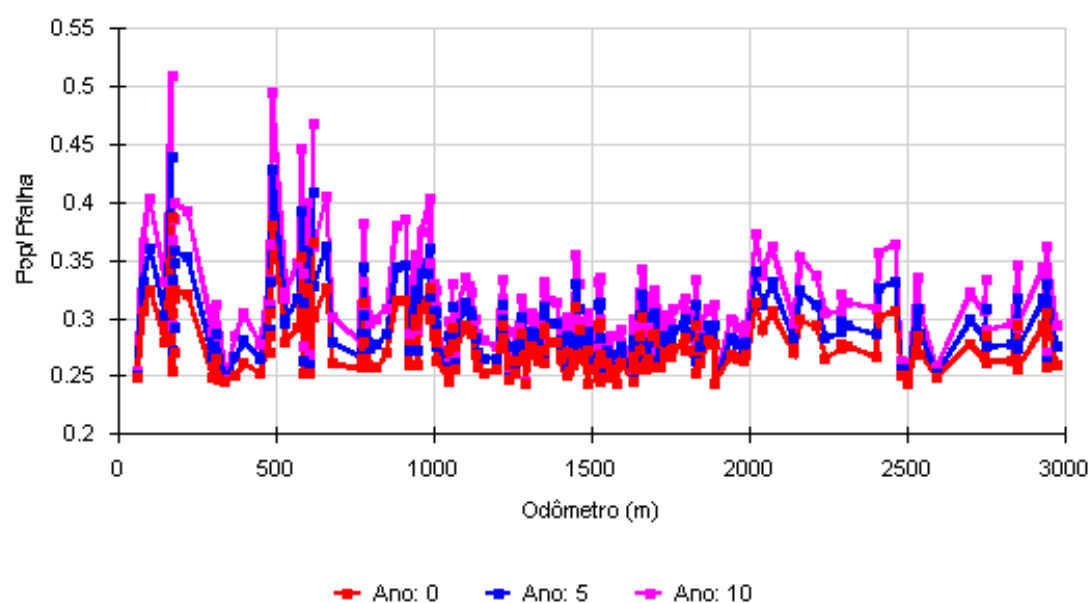




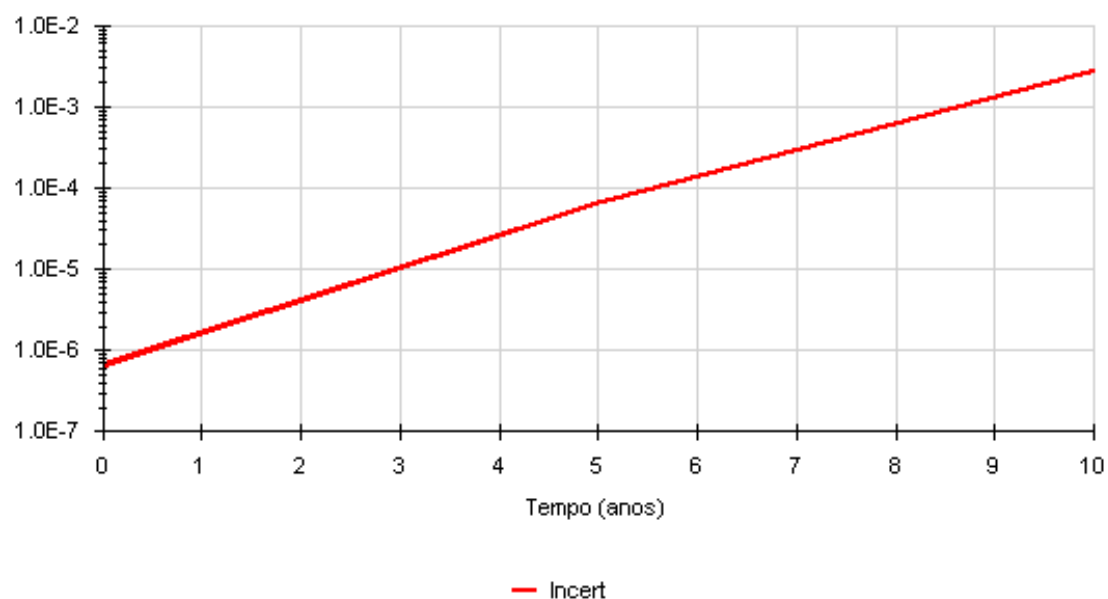
Probabilidade de Falha do Duto (Ruptura) x Número de Reparos



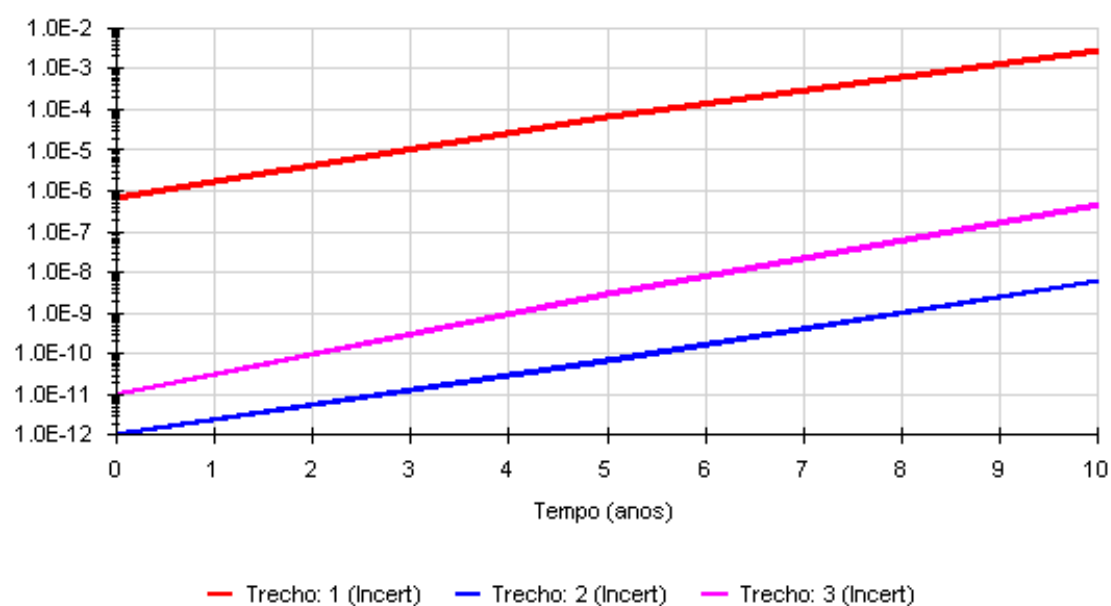
Pop/Pfalha x Odômetro



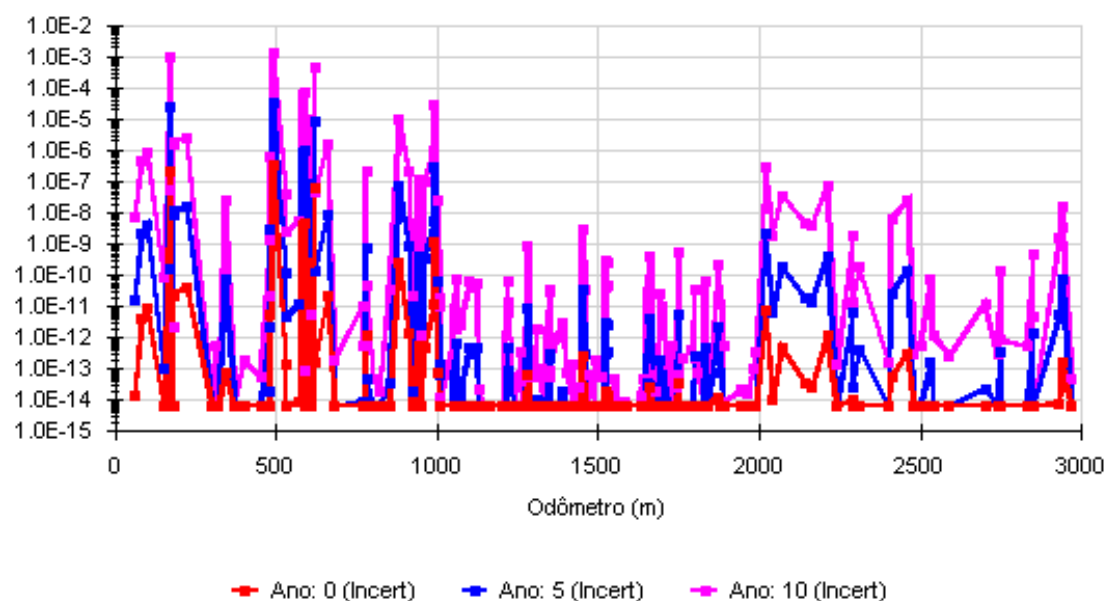
Probabilidade de Falha do Duto (Vazamento)



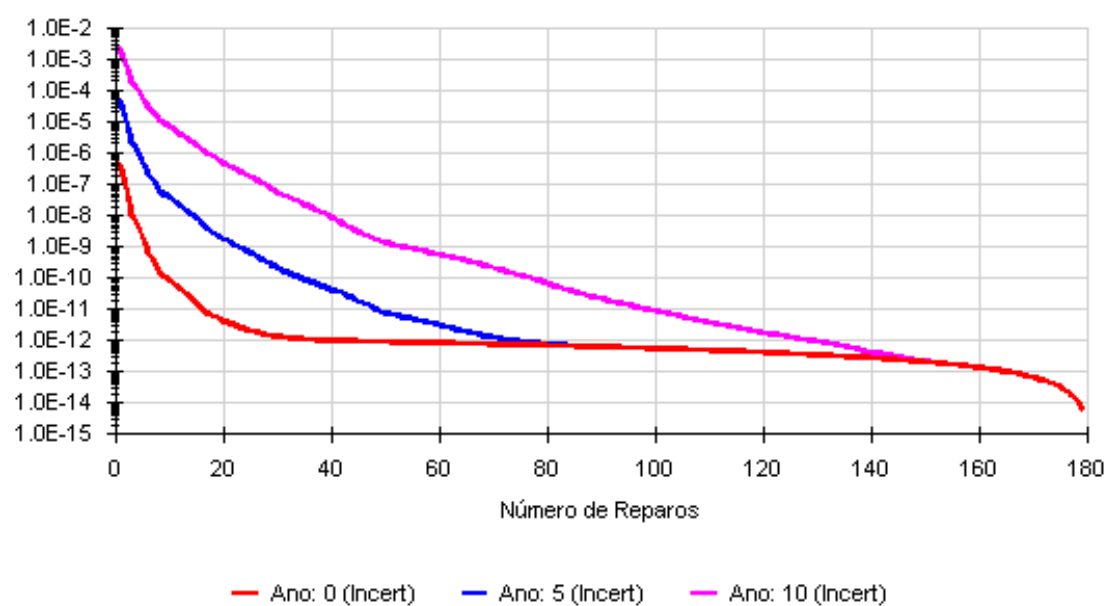
Probabilidade de Falha do Trecho (Vazamento)



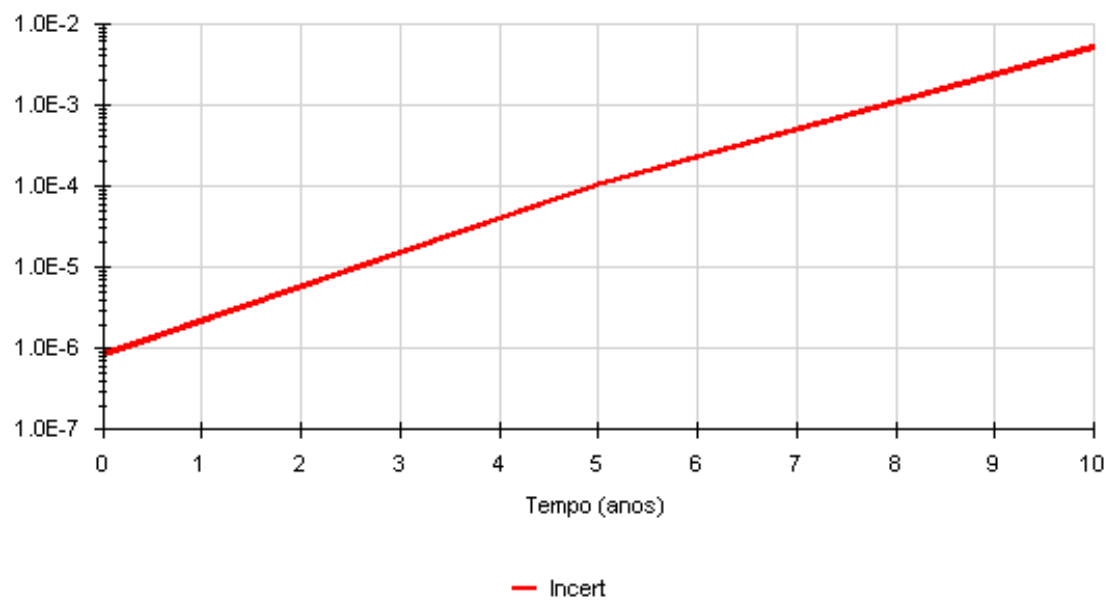
Probabilidade de Falha (Vazamento) do Defeito x Odômetro



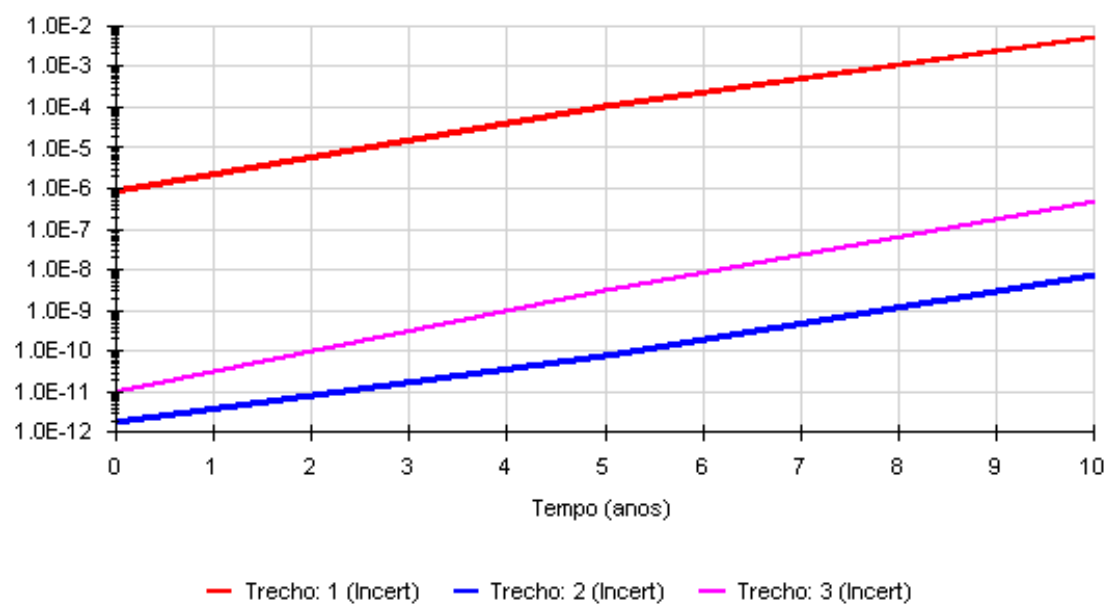
Probabilidade de Falha do Duto (Vazamento) x Número de Reparos

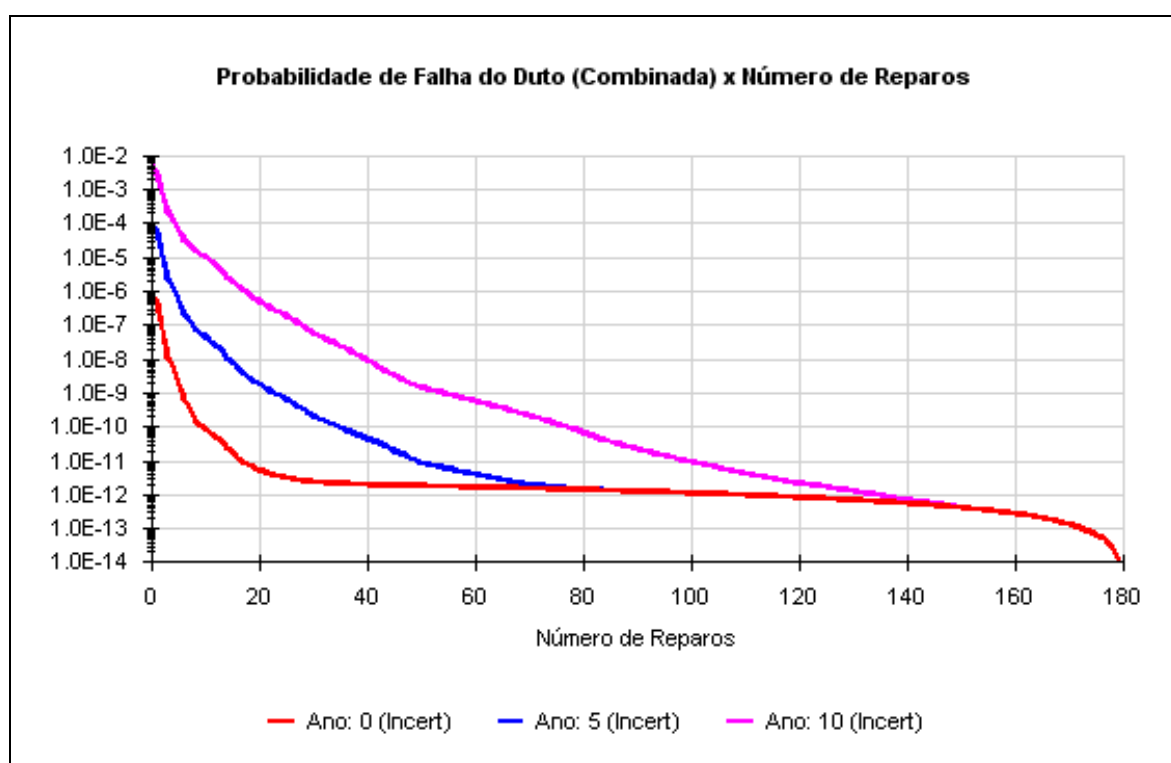
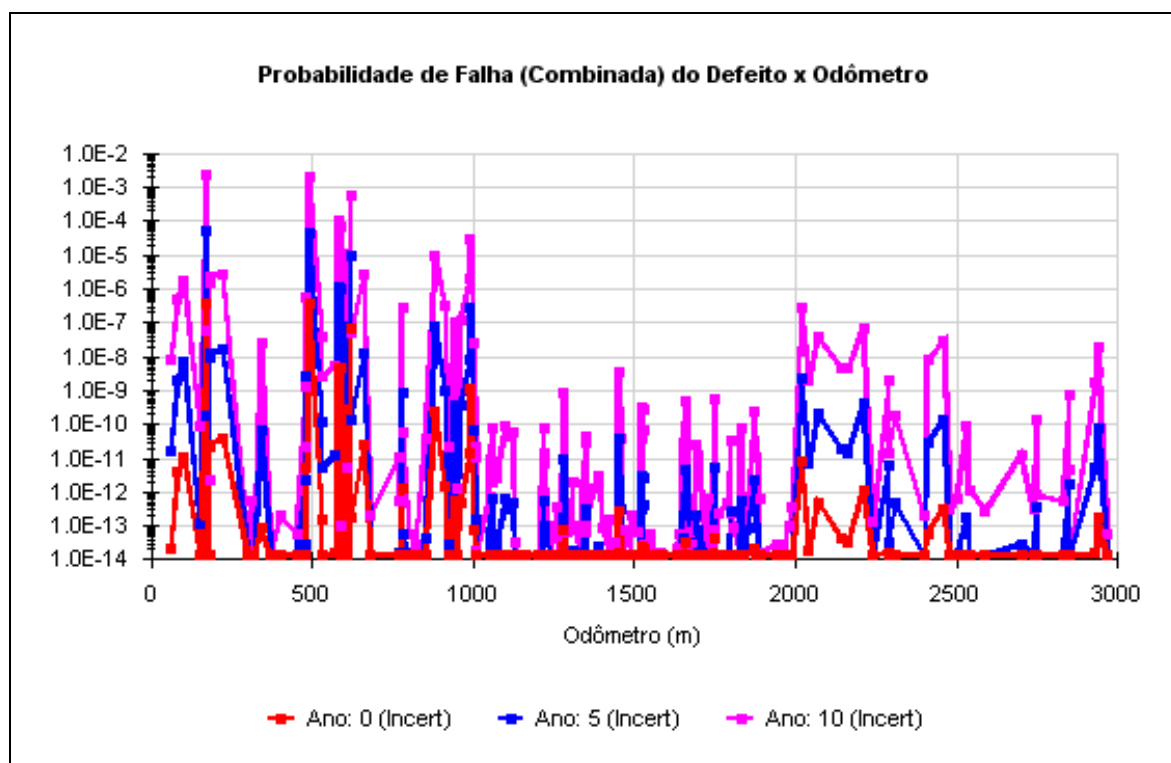


Probabilidade de Falha do Duto (Combinada)



Probabilidade de Falha do Trecho (Combinada)





E**Avaliação estocástica da pressão de ruptura obtida a partir da aplicação analítica da ASME B31G**

Segundo [5], o comportamento estocástico de uma função pode ser avaliado a partir da Simulação de Monte Carlo, onde a função de interesse é aplicada sobre uma combinação aleatória dos seus argumentos, adotando-se a distribuição de probabilidade característica dos argumentos em questão. Este Anexo apresenta os resultados da avaliação estatística da metodologia da Norma ASME B31G, sobre um espaço amostral equivalente à dez mil combinações aleatórias de profundidade e comprimento de um defeito, segundo distribuição apresentada nas Figuras E.1 e E.2.

Dados do Duto:

Diâmetro => 558.8 mm

Espessura de Parede => 6.35 mm

SMYS => 52 ksi

Fator de Projeto => 1.0

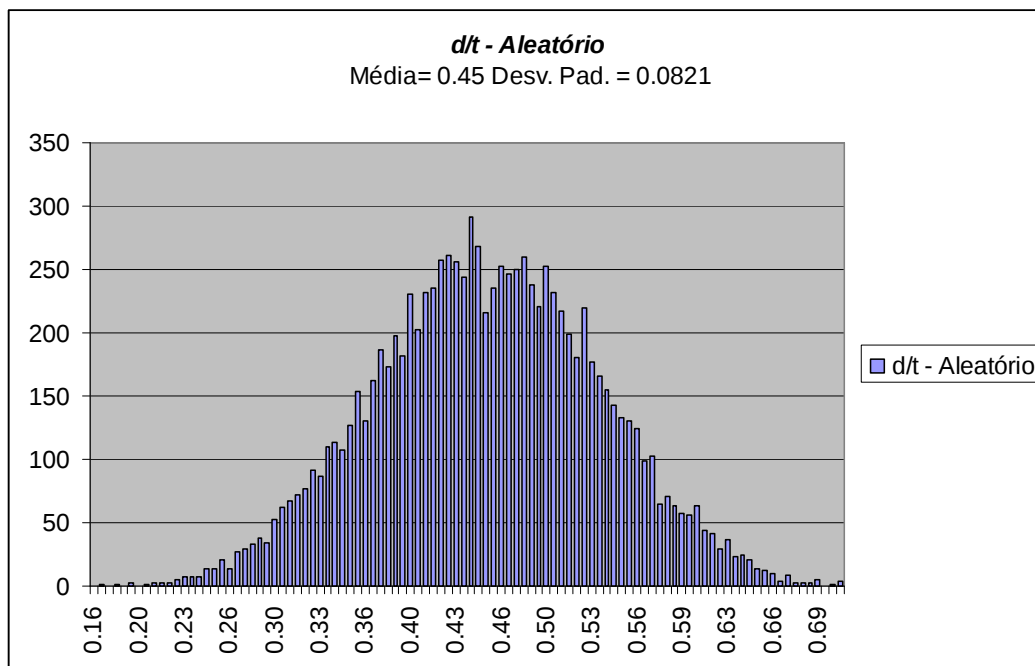


Figura E.1 – Histograma dos valores de profundidade de um defeito (d/t), gerados aleatoriamente na Simulação de Monte Carlo

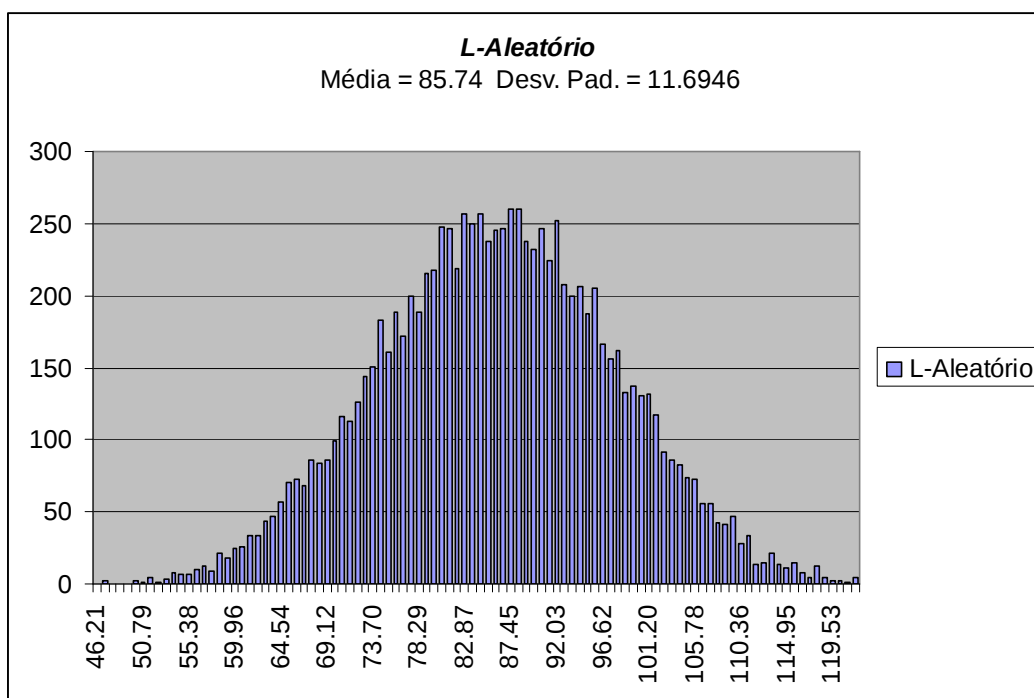


Figura E.2 - Histograma dos valores de comprimento de um defeito (L), gerados aleatoriamente na Simulação de Monte Carlo

O comportamento estocástico da pressão de falha obtida pela aplicação da ASME B31G sobre as dez mil combinações pode ser observado na Figura E.3.

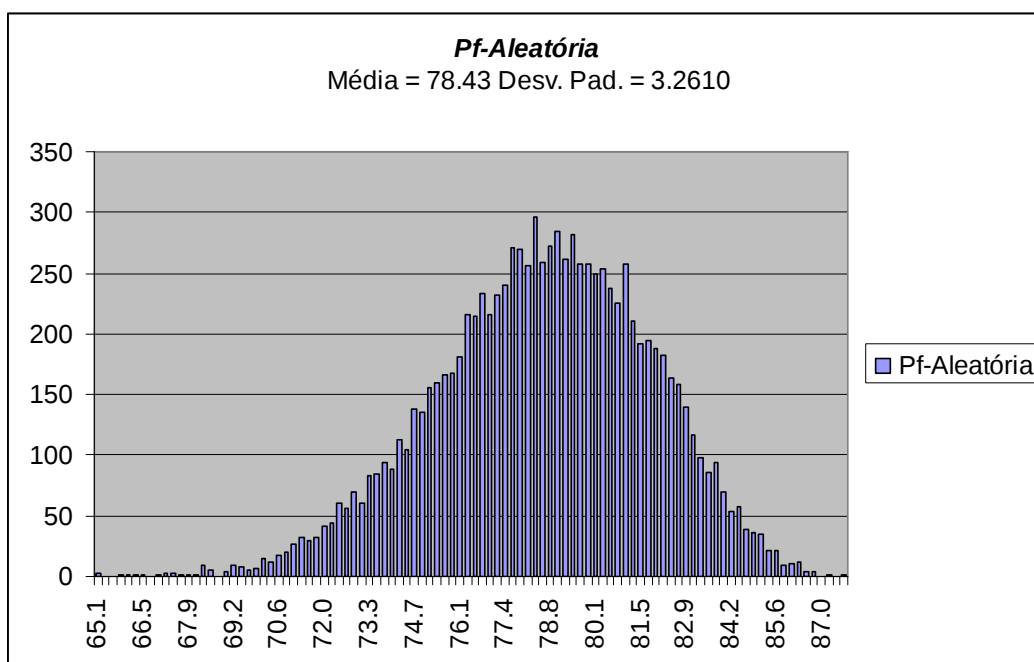


Figura E.3 - Histograma dos resultados de Pressão de Ruptura obtido a partir de uma Simulação de Monte Carlo [5]

A partir da aplicação das Equações E.1 e E.2, foi possível obter analiticamente os resultados de valor esperado e desvio padrão da pressão de ruptura conforme se segue:

$$\mu_{rup} \approx P_{rup}(\mu_d, \mu_L) + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 P_{rup}}{\partial d^2} \sigma_d^2 + \frac{\partial^2 P_{rup}}{\partial L^2} \sigma_L^2 \right] \quad (E.1)$$

$$\sigma_{rup}^2 \approx \left[\frac{\partial P_{rup}}{\partial d} \right]^2 \sigma_d^2 + \left[\frac{\partial P_{rup}}{\partial L} \right]^2 \sigma_L^2 \quad (E.2)$$

Pressão de Ruptura		
	Valor Esperado kgf/cm2	Desvio Padrão kgf/cm2
Modelo Analítico	78.43	3.2691
Monte Carlo	78.43	3.2610

Tabela E.1 - Resultados de valor esperado e desvio padrão obtidos pela aplicação do modelo analítico e pela Simulação de Monte Carlo para a Pressão de Falha

Realizou-se também uma Simulação de Monte Carlo para verificar a robustez do modelo analítico desenvolvido para o cálculo da expectativa e da variância da profundidade corroída em um determinado período y , sendo:

$$d_y = N(\mu_{dy}, \sigma_{dy}^2) \quad (E.3)$$

$$\mu_{dy} = y\mu_{cd} \quad (E.4)$$

$$\sigma_{dy}^2 = y^2 \sigma_{cd}^2 \quad (E.5)$$

A simulação de Monte Carlo foi realizada considerando dez mil pontos, sendo os valores da taxa de corrosão e da sua respectiva variância definidos como:

$$\mu_{cd} = 0,3486 \text{ mm/ano}$$

$$\sigma_{cd}^2 = 0,014328 \text{ mm}^2/\text{ano}^2$$

$$y \rightarrow 10 \text{ anos}$$

Os valores da taxa de corrosão gerados aleatoriamente seguindo uma distribuição normal com a média e com a variância definidos podem ser observados na Figura E.4

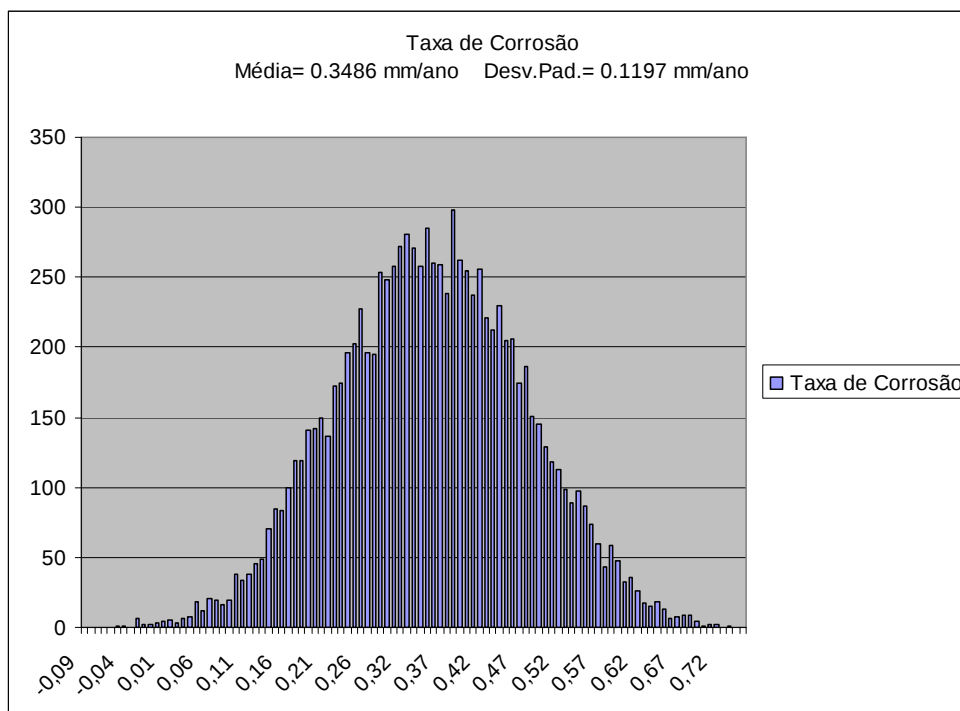


Figura E.4 - Valores da taxa de corrosão gerados aleatoriamente seguindo uma distribuição normal com a média e com a variância especificadas

O resultado da simulação de Monte Carlo para os valores de profundidade de defeito calculados para um período de 10 anos pode ser verificado na Figura E.5.

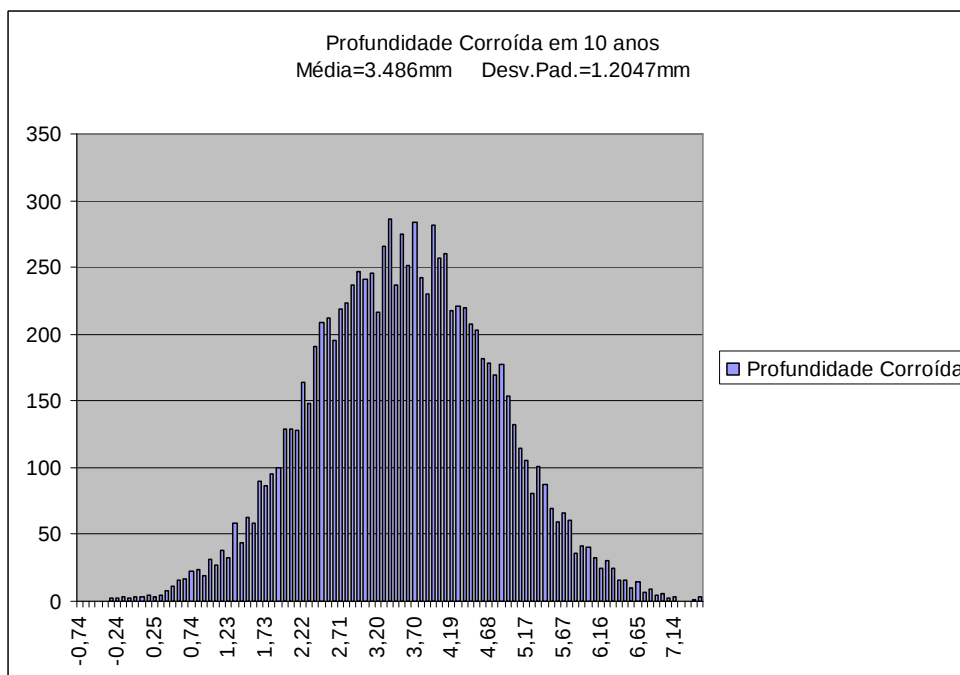


Figura E.5 - Resultado da simulação de Monte Carlo para os valores de profundidade de defeito calculados para um período de 10 anos

A Tabela E.2 apresenta a comparação dos valores obtidos analiticamente com os verificados na Simulação de Monte Carlo.

Profundidade Corroída em 10 anos		
	Valor Esperado mm	Desvio Padrão mm
Modelo Analítico	3,486	1,1970
Monte Carlo	3,486	1,2047

Tabela E.2 - Resultados de valor esperado e desvio padrão obtidos pela aplicação do modelo analítico e pela Simulação de Monte Carlo para a profundidade corroída em 10 anos