



ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE CONEXÕES EM REVESTIMENTOS DE POÇOS VIA CONFIABILIDADE ESTRUTURAL

Thiago Barbosa da Silva

Eduardo Toledo de Lima Junior

thiagobarbosaal@gmail.com

limajunior@lccv.ufal.br

Laboratório de Computação Científica e Visualização, Universidade Federal de Alagoas

Campus A.C. Simões, 57072-970, Maceió, Alagoas, Brasil

Resumo. Neste trabalho propõe-se o desenvolvimento de modelos confiabilísticos para análise do comportamento mecânico de conexões em sistemas de revestimentos de poços. Com base na teoria da confiabilidade estrutural, consideram-se algumas incertezas associadas às propriedades geométricas e mecânicas das conexões normatizadas pelo código API 5CT:2011, de forma a avaliar sua influência na resistência destes elementos. No escopo do projeto de poços de petróleo, o dimensionamento dos revestimentos consiste numa etapa crucial, visto que estes possuem funções importantes – desde a sustentação de formações não consolidadas, à utilização como apoio para equipamentos na cabeça do poço – permitindo assim sua operação e produção. Nesse processo de dimensionamento, o estudo das conexões deve ser tratado com bastante esmero, considerando que o conjunto tubo-conexão deve manter-se em condições adequadas de serviço, com níveis aceitáveis de segurança. As expressões para cálculo das resistências dos tubos e conexões utilizados, sob diversos modos de solicitação, são colocadas na norma API/TR 5C3:2008, amplamente utilizada pelas operadoras de óleo e gás ao redor do mundo. As análises confiabilísticas são realizadas pela simulação de Monte Carlo e pelo método de transformação First Order Reliability Method (FORM), abordando diversos modos de falha possíveis em conexões dos tipos round e buttress, comumente utilizadas na prática de projeto.

Keywords: Confiabilidade Estrutural, Conexões, Poços de óleo e gás, Revestimentos

1 INTRODUÇÃO

Os avanços na ciência e na tecnologia têm motivado um grande impulso nos mais variados setores industriais e, como consequência, promovido uma considerada demanda por estruturas cada vez mais complexas e arrojadas, que necessitam de um maior conhecimento dos níveis de segurança para os quais estas são projetadas. Assim, a incorporação das incertezas ao problema pode ser realizada com base na teoria da confiabilidade estrutural.

Neste contexto, de acordo com Sagrilo (2003), a teoria da confiabilidade estrutural permite quantificar as incertezas e calcular a probabilidade de falha de uma estrutura, ou seja, determinar em que momento um estado limite seja atingido. Associados aos modos de falha de um sistema estrutural, estão os estados limites de serviço (ELS) e último (ELU), sendo o último indicador do real colapso da estrutura. De acordo com Beck (2014), confiabilidade é o grau de confiança (probabilidade subjetiva) de que um sistema não falhe dentro de um período de tempo especificado e respeitadas as condições de operação (de projeto) do mesmo. Ainda, o autor define o evento complementar à confiabilidade chamado probabilidade de falha, como sendo a probabilidade (subjetiva) de que o sistema falhe, não atendendo às especificações de projeto.

No escopo do projeto de poços exploratórios, o dimensionamento dos revestimentos consiste numa etapa crucial, visto que estes possuem funções importantes - desde a sustentação de formações não consolidadas, até servir como apoio para equipamentos na cabeça do poço - permitindo assim sua operação e produção. Nesse processo de dimensionamento, o estudo das conexões deve ser tratado com bastante esmero, considerando que o conjunto tubo-conexão deve manter-se em condições adequadas de serviço, com níveis aceitáveis de segurança. De acordo com Schwind (2006), os elementos de conexão são fundamentais na resistência do sistema, visto que entre 85% e 95% de todas as falhas de tubulares em campos petrolíferos estão relacionados às conexões.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de modelos confiabilísticos para análise do comportamento mecânico de conexões em sistemas de revestimentos de poços, com base nos modelos de resistência apresentados no documento normativo API/TR 5C3:2008, o qual é largamente aplicado pelas operadoras de óleo e gás ao redor do mundo. São empregados dois métodos de avaliação da confiabilidade, a simulação de Monte Carlo e a técnica analítica *First Order Reliability Method* (FORM), com a finalidade de comparar suas performances e precisão da resposta.

2 CONEXÕES API EM REVESTIMENTOS DE POÇOS

O conjunto formado pelas juntas do tubo (*casing thread* ou *pin*) e pelo acoplamento externo (*coupling thread* ou *box*) é definido como conexão. Sua função é unir dois tubos de revestimento através de suas juntas rosqueadas. As especificações sobre a geometria das conexões de revestimentos, são definidas pela norma API 5B:2008. O formato dos elementos de rosca é uma importante classificação abordada na referida norma, que divide as conexões API em três famílias: *round thread*, *buttress* e *extreme-line*. As duas primeiras serão tratadas aqui.

A rosca *round* possui uma geometria em forma de "V" arredondada, contendo 8 fios por polegada e pode ser classificada de acordo com o comprimento do fio em *short round thread* (STC) ou *long round thread* (LC). Esse tipo de rosca é projetado para fornecer uma vedação

das paredes de cada fio (*flank*). Além disso, os vazios formados entre as raízes e cristais de cada segmento devem ser preenchidos com um composto para evitar um vazamento em espiral. Desta forma, não é recomendável a utilização desse tipo de conexão para ambientes com gases em alta pressão ou líquidos com baixa viscosidade.

A rosca *buttress* apresenta geometria trapezoidal, contendo 5 fios por polegada. Sua principal função estrutural consiste em resistir as tensões axiais, de tração e compressão. Além disso, deve-se destacar que esse tipo rosca possui maior aplicabilidade na prática de projeto de revestimentos. O detalhamento de ambas as conexões supracitadas é apresentado a seguir.

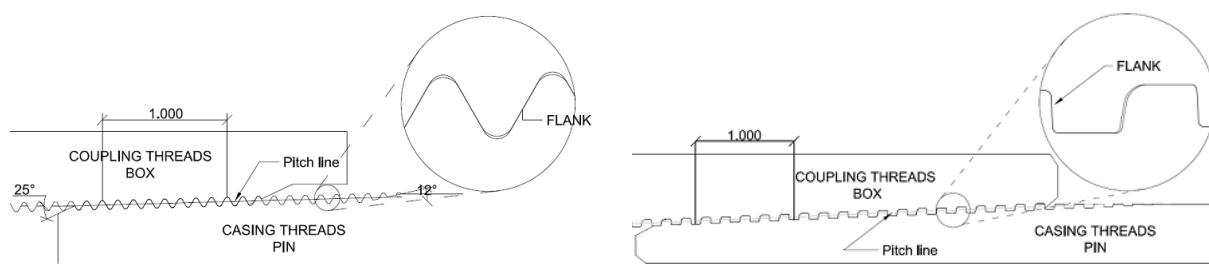


Figura 1: Rosca *round* (à esquerda) e rosca *buttress* (à direita)

O documento normativo API 5C3:2008 define as equações para os modos de falha usuais em conexões API, que são formuladas a partir do tipo do esforço atuante na conexão ou na extremidade rosqueada do tubo. Os esforços considerados são solicitação axial e presença de pressão interna e externa. As equações de resistência são calculadas com os valores mínimos de resistência tanto no tubo quanto na *coupling*, desprezando o efeito de curvatura no revestimento de resistência da junta. Além disso, dependendo das condições de acoplamento, a resistência da ligação pode ser inferior à do corpo do tubo.

Os modelos de resistência à tração (solicitação axial) para conexões *round* e *buttress* apresentados no código supracitado são fratura na extremidade rosqueada do tubo, fratura na conexão e *pullout*. A falha por fratura na ponta do tubo para conexões *round* é calculada com base na resistência mínima do tubo, conforme apresentado na Eq. (1). Em relação a falha por fratura diretamente na conexão, considera-se as propriedades da conexão, como indicado na Eq. (2).

$$F_{PIN} = 0.95A_{jp}U_p \quad (1)$$

$$F_{BOX} = 0.95A_{jc}U_c \quad (2)$$

onde

F_{PIN} representa resistência na ponta do tubo, em lbf;

F_{BOX} representa resistência na conexão, em lbf;

A_{jp} representa área da seção transversal do tubo antes da última linha perfeita, em pol²;

U_p representa resistência mínima à tração do aço do corpo do tubo, em psi;

A_{jc} representa área da seção transversal da conexão, em pol²;

U_c representa resistência mínima à tração do material da conexão, em psi.

Em conexões *buttress*, a resistência à fratura na ponta do tubo é calculada utilizando a Eq. (3). Enquanto que a resistência à fratura na conexão é calculada da mesma forma que nas conexões *round*, sendo que o parâmetro A_{jc} é distinto para cada tipo de conexão.

$$F_{PIN} = 0.95A_pU_p \left[1.008 - 0.0396 \left(1.083 - \frac{Y_p}{U_p} \right) D \right] \quad (3)$$

onde

- A_p representa área da seção transversal do tubo, em pol²;
 Y_p representa tensão mínima de escoamento do aço do corpo do tubo, em psi;
 D representa diâmetro externo do tubo, em pol.

Quanto à falha por *pullout*, caracteriza-se quando a rosca do tubo desliza sobre a rosca da conexão ou vice-versa. A norma API 5C3:2008 apresenta esse modelo de resistência apenas para conexões *round*, admitindo-se que conexões do tipo *buttress* não apresentam falha por *pullout*. O modo de falha citado é dado pela seguinte equação,

$$F_{PL} = 0.95 A_{jp} L \left[\frac{0.74 D^{-0.59}}{0.5 L + 0.14 D} + \frac{Y_p}{L + 0.14 D} \right] \quad (4)$$

onde

- F_{PL} representa a resistência à fratura por *pullout*, em psi;
 L representa comprimento da rosca acoplado, em pol.

Deve-se destacar a presença do fator 0.95 na formulação apresentada, o qual corresponde a um fator de minoração da resistência, para utilização na prática de projeto. Tais equações, originalmente, em suas versões de *estado limite*, não possuem tal fator. Este coeficiente assegura uma condição de projeto mais conservadora, sendo uma forma simples de tratar as incertezas inerentes ao problema.

Em relação aos modelos de resistência devido a presença de pressão interna, estes são formulados de uma única maneira para ambas as conexões. No presente trabalho será abordado o modo de falha que ocorre quando o aço que compõe a conexão inicia o processo de escoamento, ultrapassando a tensão de escoamento e violando o limite elástico. A pressão interna no início desse processo de escoamento do material da conexão é dada por,

$$P_i = Y_c \left(\frac{W - d_1}{W} \right) \quad (5)$$

onde

- P_i representa pressão interna no escoamento do material da conexão, em psi;
 Y_c representa tensão mínima de escoamento do material da conexão, em psi;
 W representa diâmetro externo da conexão, em pol;
 d_1 representa diâmetro na raiz da rosca da conexão na extremidade do tubo, em pol.

O parâmetro d_1 é uma referência puramente geométrica que depende do tipo de conexão adotada. Esses valores são obtidos nas tabelas contidas na norma API 5B:2008.

3 CONFIABILIDADE ESTRUTURAL

Segundo Sagrilo (2003), a confiabilidade estrutural tem como principal objetivo avaliar a segurança de uma estrutura, que basicamente consiste no cálculo da probabilidade de que um estado limite de uma estrutura seja violado. Desta forma, é possível quantificar a probabilidade de que uma estrutura não suporte as solicitações especificadas durante o projeto. Para quantificar os modos de falha de uma estrutura utiliza-se as chamadas equações de estado limite (funções de falha), que são deduzidas a partir dos aspectos físicos do problema em análise. Seja uma função de falha denominada $G(X)$, em que X é um vetor de variáveis aleatórias consideradas na análise. Para cada modo de falha de uma estrutura a respectiva função estabelece uma fronteira

entre as regiões de falha Ω_f e sobrevivência Ω_s da estrutura, onde valores positivos de $G(\mathbf{X})$ representam evento seguro e a condição $G(\mathbf{X}) \leq 0$ indica evento de falha. A probabilidade de falha é calculada integrando-se a função conjunta de densidade de probabilidade das variáveis aleatórias do problema sobre o domínio de falha, conforme apresentado a seguir.

$$P_f = \int_{\Omega_f} f_X(\mathbf{X}) d\mathbf{x} \quad (6)$$

A integral n-dimensional supracitada é de difícil avaliação analítica, considerando-se a complexidade das funções densidade de probabilidade das distribuições estatísticas usuais. Sendo assim, faz-se necessário a utilização de métodos de análise em confiabilidade estrutural para sua resolução. No presente trabalho serão utilizados o Método de Confiabilidade de Primeira Ordem (FORM) e o Método de Simulação de Monte Carlo.

De acordo com Beck (2014), a simulação de Monte Carlo é basicamente uma simulação que envolve a utilização de números aleatórios. O método tem como objetivo produzir N eventos randômicos para serem avaliados na equação de estado limite $G(\mathbf{X})$. Desta forma, eventos que possuem valores negativos são contabilizados como eventos de falha (N_f). Assim, a probabilidade de falha é estimada pela razão entre o número de eventos de falha e o número total de eventos, ou seja,

$$P_f = \frac{N_f}{N}. \quad (7)$$

Os resultados gerados pela simulação de Monte Carlo podem ser bastante precisos, a depender do número de cenários que sejam testados. Contudo, para problemas que possuam probabilidades de falha muito baixas, faz-se necessário a realização de um grande número de simulações para atingir respostas adequadas, implicando em alto custo computacional. O FORM é um método analítico de confiabilidade baseado na transformação das variáveis aleatórias originais em variáveis aleatórias normais equivalentes, e na linearização da função de falha do problema. O grande diferencial desse método consiste em sua capacidade de utilizar toda a informação estatística das variáveis aleatórias do problema, podendo-se lidar com distribuições estatísticas quaisquer, inclusive considerando correlação entre variáveis. O problema de confiabilidade é formulado como um problema de otimização não linear com restrição, o qual é resolvido de forma iterativa pelo algoritmo HLRF. Maiores detalhes acerca do método são apresentados em Melchers (1999).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As variáveis aleatórias tratadas no problema são Y_p , U_p , Y_c , U_c , D , W (definidas anteriormente) e t (espessura do tubo). Serão adotados três graus de aço, usualmente aplicados em projetos de revestimento: J55, N80 e P110, os quais possuem resistência mínima de escoamento de 55000 psi, 80000 psi e 110000 psi, respectivamente. Os parâmetros estatísticos (média e desvio padrão) de cada variável aleatória são escritos em termos dos coeficientes *mean* e *COV*, conforme indicado na Tabela 1. O valor médio da variável aleatória é obtido multiplicando-se o fator apresentado na tabela por seu valor nominal. Em relação ao desvio padrão, este é obtido multiplicando seu valor médio pelo coeficiente de variação (*COV*). As informações estatísticas das variáveis foram obtidas com base nos dados de fabricação publicados na norma API/TR 5C3:2008 e no trabalho de Clinedinst (1964), autor que possui um extenso trabalho em modelos de resistência de tubos e conexões de revestimento de poços.

Tabela 1: Parâmetros estatísticos das variáveis aleatórias utilizadas nos resultados

	Média/Nominal	COV	Distribuição
D	1.0059	0.00181	Gaussiana
t	1.0069	0.0259	Gaussiana
W	1.00	0.00228	Gaussiana
Y_p (J55)	1.23	0.0719	Gaussiana
Y_p (N80)	1.21	0.0405	Gaussiana
Y_p (P110)	1.10	0.036	Gaussiana
Y_c (J55)	1.0949	0.0743	Gaussiana
Y_c (N80)	1.1547	0.0489	Gaussiana
Y_c (P110)	1.1137	0.0223	Gaussiana
U_p (J55)	1.3845	0.0675	Gaussiana
U_p (N80)	1.1581	0.0634	Gaussiana
U_p (P110)	1.113	0.0566	Gaussiana
U_c (J55)	1.4241	0.0522	Gaussiana
U_c (N80)	1.229	0.0338	Gaussiana
U_c (P110)	1.1333	0.0161	Gaussiana

Inicialmente, apresenta-se análises de confiabilidade para as conexões *round* e *buttress* conectadas a tubos de revestimento de graus J55, N80 e P110. O diâmetro dos tubos é fixado em 10 3/4", com peso específico linear igual a 85.3 lb/pé, amplamente utilizado em colunas de revestimento intermediário e de produção em poços. Pretende-se estimar a probabilidade de falha associada aos modelos de resistência apresentados anteriormente, em relação ao seu valor determinístico. Assim, pode-se verificar a influência da consideração da aleatoriedade das variáveis de projeto na formulação usualmente adotada, proposta na API/TR 5C3:2008. Para o tipo de análise proposta neste trabalho, define-se a função de falha com o seguinte formato:

$$G(\mathbf{X}) = R_{conf}(\mathbf{X}) - R_{det}, \quad (8)$$

onde R_{det} representa a resistência determinística, calculada diretamente a partir da formulação de projeto contida na norma e R_{conf} representa a resistência confiabilística calculada com a formulação de estado limite, acrescida da consideração da aleatoriedade das variáveis de projeto. Utilizando o método analítico FORM e a simulação de Monte Carlo, estima-se inicialmente o valor de P_f para os modelos de resistência à tração, abordando ambas as conexões. Os valores de probabilidade de falha (Tabela 2) obtidos via FORM e Monte Carlo se apresentam congruentes, o que valida as implementações desenvolvidas neste trabalho. Nota-se que a simulação de Monte Carlo apresenta limitações para encontrar valores de probabilidade de falha muito baixos, devido a necessidade da realização de um grande número de simulações, que aumenta consideravelmente o custo computacional.

Tabela 2: Probabilidade de falha para os modelos de resistência à tração em conexões *round* e *butress*

Graus de Aço	FORM			Monte Carlo		
	fratura (tubo)	<i>pullout</i>	fratura (conexão)	fratura (tubo)	<i>pullout</i>	fratura (conexão)
<i>Round Thread</i>						
J55	$10^{-5.6981}$	$10^{-5.3987}$	$10^{-5.574}$	$10^{-5.6981}$	$10^{-5.4023}$	-
N80	$10^{-2.6478}$	$10^{-7.0409}$	$10^{-7.3967}$	$10^{-2.6386}$	-	-
P110	$10^{-2.3125}$	$10^{-4.1215}$	$10^{-6.4113}$	$10^{-2.3011}$	$10^{-4.095}$	-
<i>Buttress</i>						
J55	$10^{-7.5678}$	-	$10^{-8.211}$	$10^{-7.243}$	-	-
N80	$10^{-5.2842}$	-	$10^{-6.362}$	$10^{-5.2581}$	-	-
P110	$10^{-3.8041}$	-	$10^{-4.8215}$	$10^{-3.7919}$	-	$10^{-4.8114}$

O modo de falha à tração dominante nas conexões é fratura na ponta do tubo, apresentando os maiores valores de probabilidade de falha para os três graus de aço considerados, a menos do grau J55, que possui maior valor de P_f devido ao *pullout* em conexões *round*. Observa-se que para o aço P110 estão associados os maiores valores de probabilidade de falha, enquanto que os resultados obtidos para o aço J55 são os menores. Um dos aspectos que justifica a boa performance dos produtos do grau J55 em relação aos outros dois aços analisados é o comportamento estatístico de seus parâmetros de resistência, que possuem valor médio entre 23% e 42% superiores ao valor nominal, vide Tabela 1.

Seguindo essa mesma metodologia (FORM e Monte Carlo) para o modelo de resistência sob ação de pressão interna, estima-se o valor de P_f para que ocorra o início do processo de escoamento do aço que compõe a conexão. Os resultados são apresentados na Tabela 3 para as conexões *round* e *buttress*. Observa-se que os maiores valores de probabilidade de falha ocorrem para o aço J55, enquanto que os resultados obtidos para o grau P110 estão associados os menores valores de P_f . Dessa forma, percebe-se que para esse modo de falha o aço J55 apresenta o pior desempenho, diferentemente do que ocorreu para os modelos de resistência à tração. O comportamento estatístico da variável tensão de escoamento do aço P110 justifica sua boa performance, apresentando um valor de COV de duas a três vezes menor do que os outros dois aços analisados. Em relação ao desempenho dos métodos confiabilísticos, nota-se a proximidade de valores entre ambos, indicando que para valores altos de probabilidade de falha a simulação de Monte Carlo apresenta resultados satisfatórios quando comparado com o método analítico FORM.

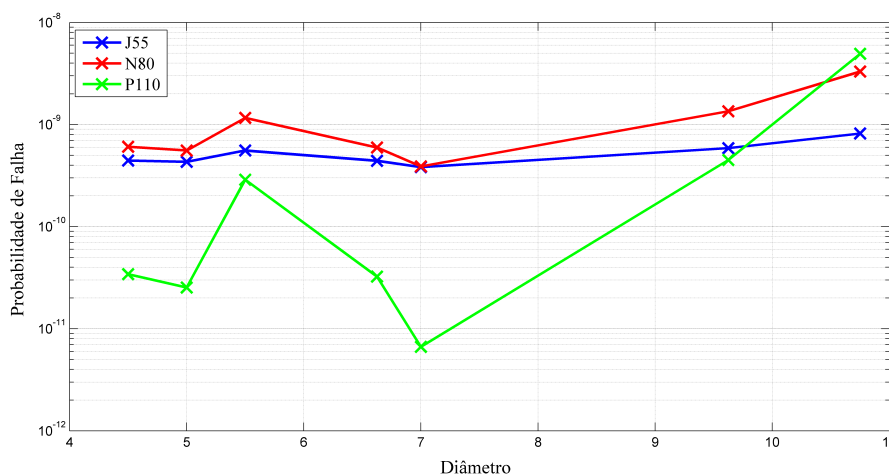
As análises realizadas até aqui foram ilustrativas para o tubo de revestimento classificado pela indústria petrolífera como tubo 10 3/4" 85.3 lb/pé, levando em conta o emprego de conexões *round* e *buttress*. Após essas análises, realizou-se um estudo paramétrico do comportamento da probabilidade de falha ao longo do diâmetro do tubo para os três graus de aço adotados. Nesse estudo considerou-se apenas a utilização de conexões *buttress*, visto que possuem maior

Tabela 3: Probabilidade de falha para o modelo de resistência *yielding* em ambas conexões

Graus de Aço	Probabilidade de Falha			
	FORM		Monte Carlo	
	<i>Round</i>	<i>Buttress</i>	<i>Round</i>	<i>Buttress</i>
J55	$10^{-0.8785}$	$10^{-0.8604}$	$10^{-0.873}$	$10^{-0.8511}$
N80	$10^{-2.2063}$	$10^{-2.068}$	$10^{-2.1915}$	$10^{-2.0948}$
P110	$10^{-3.0758}$	$10^{-2.5181}$	$10^{-3.0596}$	$10^{-2.5053}$

aplicabilidade na prática de projeto de revestimentos de poços. Além disso, utiliza-se apenas o método confiabilístico FORM, uma vez que o referido método é mais robusto e teve sua implementação anteriormente validada em relação a simulação de Monte Carlo.

Para o modelo de resistência fratura na conexão, a variação da probabilidade de falha ao longo do diâmetro para os três graus de aço analisados é apresentada na Fig. 2. Nota-se um comportamento semelhante para os aços J55 e N80, mostrando valores de probabilidade de falha relativamente baixos, na ordem de 10^{-9} . Nas conexões de grau P110, apesar de não apresentarem uniformidade nos níveis de segurança ao longo do diâmetro, nota-se a melhor performance dentre os aços analisados, ou seja, para esse aço estão associados os menores valores de probabilidade de falha.

**Figura 2: Valores de probabilidade de falha para fratura na conexão**

Quanto ao modelo de resistência relacionado com a falha por fratura na ponta do tubo, os valores de probabilidade de falha ao longo do diâmetro são apresentados em forma de áreas. Isso ocorre em virtude da dependência dessa equação de resistência em relação aos parâmetros geométricos do tubo, diferentemente do modelo anteriormente analisado. Dessa forma, para cada diâmetro, existe uma conexão *buttress* disponível, a qual pode ser acoplada a diversos tubos, com diferentes espessuras de parede. Na Figura 3 apresentam-se os resultados para as diversas famílias de tubos do mesmo diâmetro, segundo a especificação da norma API 5CT:2010.

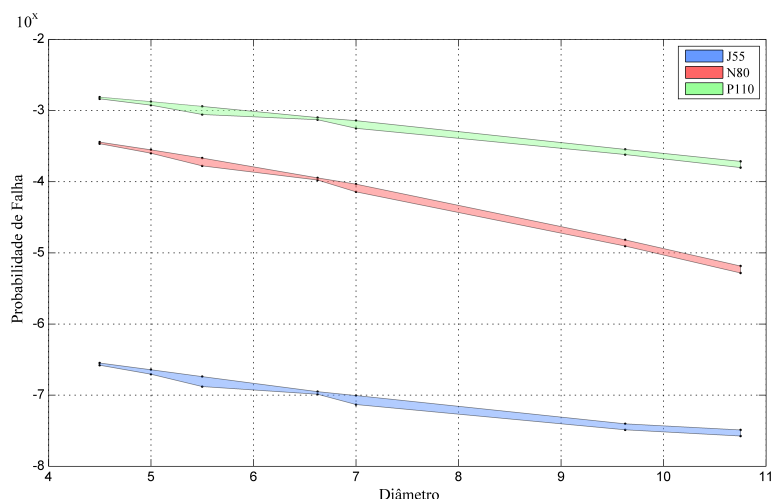


Figura 3: Valores de probabilidade de falha para fratura na ponta do tubo

A formatação diferenciada do eixo vertical apresentado no gráfico visa permitir uma melhor visualização das referidas áreas. Nota-se um comportamento similar entre os três graus de aço analisados, com um decréscimo quase linear de P_f ao longo do diâmetro. O aço J55 exibe a melhor performance, com os menores valores de probabilidade de falha. Em relação ao modelo de resistência devido à presença de pressão interna, os valores obtidos de P_f ao longo do diâmetro (Fig. 4) apresentam-se altos.

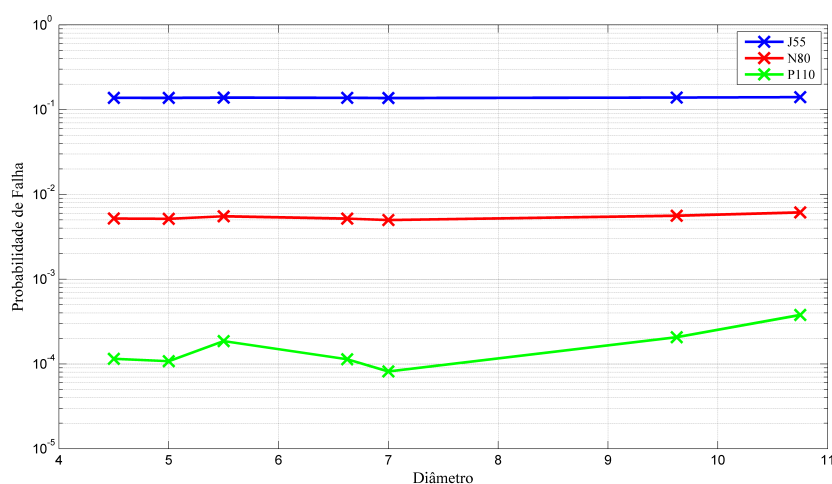


Figura 4: Valores de probabilidade de falha para resistência ao escoamento do aço em conexões

Porém, vale destacar que os valores calculados representam apenas a probabilidade de que ocorra o início do escoamento do aço. Não se configura, portanto, uma condição de falha efetiva do elemento, apenas que o regime elástico foi excedido. Ainda que se tenham altas probabilidades de falha, deve-se ressaltar a uniformidade destes valores ao longo da variação do diâmetro para a resistência ao escoamento do aço. Esse é o comportamento esperado de uma formulação num código normativo, que ofereça níveis de segurança semelhantes, para o dimensionamento de elementos quaisquer, independentemente de duas características geométricas e mecânicas.

5 CONCLUSÕES

Através da incorporação das incertezas das variáveis de projeto via confiabilidade estrutural, foi possível avaliar os níveis de segurança associados a formulação proposta pelo documento normativo API 5C3:2008. Vale ressaltar que a formulação de projeto de conexões apresentada no referido código é a efetivamente adotada pelas operadoras de óleo e gás ao redor do mundo, na prática de dimensionamento de revestimentos.

Deve-se salientar que os resultados apresentados servem apenas como indicativo do comportamento confiabilístico das resistências, visto que as variáveis aleatórias foram caracterizadas com base em dados de fabricação publicados na norma API/TR 5C3:2008 e no trabalho desenvolvido por Clinedinst (1964). A metodologia confiabilística pode ser replicada na análise do problema desde que se tenham dados estatísticos de produção de tubos e conexões de um fabricante específico. Ainda, deve-se destacar que não existe unanimidade no meio científico, nem normatização que defina um valor aceitável de probabilidade de falha. Sendo assim, em aplicações de engenharia em geral, valores inferiores a 10^{-3} são desejáveis.

Espera-se que trabalhos desta natureza contribuam com a disseminação da filosofia de dimensionamento probabilístico em projetos de revestimento de poços. A norma API/TR 5C3:2008 já sugere procedimentos confiabilísticos para avaliação da resistência de tubos à pressão interna e colapso.

AGRADECIMENTOS

Para CENPES/PETROBRAS e FAPEAL pelas contribuições técnicas e suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- API 5B 2008. *Specification for Threading, Gauging and Thread Inspection of Casing, Tubing, and Line Pipe Threads*. American Petroleum Institute, Washington.
- API 5CT 2010. *Specification for Casing and Tubing*. American Petroleum Institute, Washington.
- API TR 5C3 2008. *Technical Report on Equations and Calculations for Casing, Tubing, and Line Pipe Used as Casing or Tubing; and Performance Properties Tables for Casing and Tubing*. American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- Beck, A.T. 2014. *Curso de Confiabilidade Estrutural: notas de aula*. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Clinedinst, W.O 1964. *Strength of Threaded Joints for Steel Pipe*. Paper No. 64-PET-1 presented at the meeting of the Petroleum Section of ASME, Los Angeles, California.
- Melchers, R. E. 1999. *Structural reliability analysis and prediction*. John Wiley, New York.
- Sagrilo, L.V.S. 2003. *Confiabilidade estrutural: notas de aula*. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Schwind, B.E. 2006. *Project Aims to Qualify Tubular Connections*. Drilling Contractor, p.60.