

## ANÁLISE DO EFEITO DO TAMANHO E DA FORMA DOS CASCALHOS NO DANO POR EROSÃO EM *ELBOWS* NAS LINHAS DE *CHOKE*

JOÃO GUILHERME CYRILLO KERN<sup>1</sup>; MARCELO FAVARO BORGES<sup>2</sup>;  
GUILHERME PILOTO MONTAGNA<sup>2</sup>; FORLAN LA ROSA ALMEIDA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UFRGS – [joao.kern@ufrgs.br](mailto:joao.kern@ufrgs.br)

<sup>2</sup>UFRGS – [marcelofavarro@gmail.com](mailto:marcelofavarro@gmail.com); [guilhermepilotto@ufrgs.br](mailto:guilhermepilotto@ufrgs.br)

<sup>3</sup>UFPEL – [forlan.almeida@ufpel.edu.br](mailto:forlan.almeida@ufpel.edu.br)

### 1. INTRODUÇÃO

A perfuração é uma das etapas de um projeto de exploração de poços petrolíferos. Para perfurar uma formação rochosa necessita-se de um conjunto de equipamentos, sendo a broca, um dos principais. A broca promove ruptura e desagregação das rochas gerando, como resultado, pequenos fragmentos denominados “cascalhos”, que são carreados do poço até a superfície pela circulação do fluido de perfuração (THOMAS, 2001). Os cascalhos podem ser descritos por diferentes propriedades, como por exemplo, forma e tamanho. O tamanho é a dimensão do cascalho, já a forma descreve a angulosidade das bordas, através do fator de esfericidade (HUTCHINGS, 1992).

Na perfuração, a linha de *choke* é o duto responsável pelo escoamento de fluidos e cascalhos para a superfície no sistema de controle de poço. Durante a circulação, especialmente em curvas (*elbows*), a linha de *choke* sofrerá desgastes mecânicos em função do impacto dos cascalhos nas paredes do duto (SANTOS, 2013). Este fenômeno físico conhecido como erosão, caracteriza-se pela perda de material causada pelo impacto de partículas. O tamanho é um fator que influencia no desgaste erosivo, visto que quanto maior a partícula, maior a energia cinética e o potencial de desgaste. O formato das partículas também influencia na taxa de erosão, pois quanto mais angulares as bordas, maior a perda de massa (HUTCHINGS, 1992). O desgaste erosivo representa, de fato, riscos para a segurança da perfuração, pois se o dano for suficiente para romper a tubulação, vazamentos de fluidos podem gerar riscos sociais, ambientais e econômicos. Assim, é importante o entendimento da erosão causado pelos cascalhos para prever a vida útil da linha de *choke* com objetivo de otimizar o planejamento de troca e manutenção, bem como buscar alternativas que aumentem a durabilidade.

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo determinar quantitativamente a taxa de erosão devido ao impacto de cascalhos de perfuração em *elbows* presentes na linha de *choke*. Para alcançar este objetivo propõem-se simulações através de fluidodinâmica computacional, no qual é possível resolver equações de alta complexidade. Serão efetuadas simulações que irão avaliar a influência do tamanho e da forma dos cascalhos na taxa de erosão em *elbows* na linha de *choke*. Assim, foi possível determinar que quanto maiores os diâmetros dos cascalhos de perfuração, maiores as taxas de erosão nas *elbows* da linha de *choke*. Outrossim, observou-se que partículas com menores fatores de esfericidade, ou seja, menos esféricas causaram maiores taxas de erosão.

### 2. METODOLOGIA

Com objetivo de avaliar o impacto que o tamanho e forma tem no desgaste erosivo na tubulação de *choke*, foi desenvolvida uma metodologia com base em simulações por CFD, a fim de reproduzir computacionalmente as características

observadas em campo. A Figura 1 sintetiza as etapas efetuadas no presente trabalho.

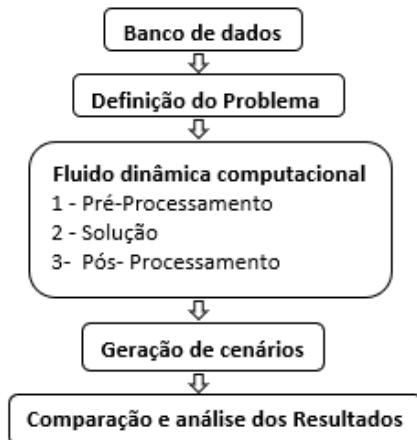


Figura 1 - Metodologia para avaliação do desgaste erosivo.

Na primeira etapa foi realizado um levantamento bibliográfico das características dos cascalhos e das propriedades do fluido de perfuração. Também foram obtidas as geometrias características da tubulação linha de *choke* (geometria, dimensões, propriedades mecânicas e metalúrgicas), para que pudessem ser reproduzidas em CAD (*Computer aided design*). A segunda etapa focou na definição da região da tubulação onde o problema será avaliado. Na terceira etapa, foram definidas quais equações e modelos numéricos mais apropriados para a caracterização dos fenômenos físicos envolvidos no domínio estudado. Posteriormente, foram gerados diferentes cenários de simulação, com objetivo de observar o impacto destas variáveis na taxa de erosão. Por fim, foi realizada a análise e comparação do impacto da alteração das propriedades no desgaste erosivo máximo nas *elbows* da linha de *choke*.

### 3. APLICAÇÃO

O software ANSYS *Fluent* (CFD) foi utilizado no presente trabalho por estar com licença disponível através do Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF). Os parâmetros de tamanho e forma dos particulados (cascalhos) nas simulações, foram variados conforme os valores determinados por Fagundes (2018). Nos casos estudados, analisaram-se três condições de fluxo, mantendo todas as características para os fluidos e as condições de contorno descritas na metodologia. Foram modificados a forma e tamanho dos cascalhos em cada simulação, com objetivo de observar o impacto na taxa de erosão máxima. A Tabela 1 demonstra os valores utilizados nas simulações. Para observar o impacto da esfericidade na taxa erosiva, a simulação 1 com maior esfericidade será comparada a simulação 2, que apresenta menor esfericidade. Para avaliar a influência do tamanho, a simulação 3 será confrontada com a simulação 1, pois apresentam a mesma esfericidade e tamanhos distintos.

Tabela 1 - Tamanhos e formas dos cascalhos nas simulações.

	Tamanho (mm)	Forma - Esfericidade (SHPT)
Simulação 1	0.4	1
Simulação 2	0.4	0.9
Simulação 3	1	1

A geração da geometria é uma fase importante para a concepção da modelagem em CFD. A *elbow* da linha de *choke*, teve seus diâmetros e geometria originais reproduzidos em ambiente computacional. A Figura 2 demonstra o desenho CAD de um *elbow* com raio de 90 graus.

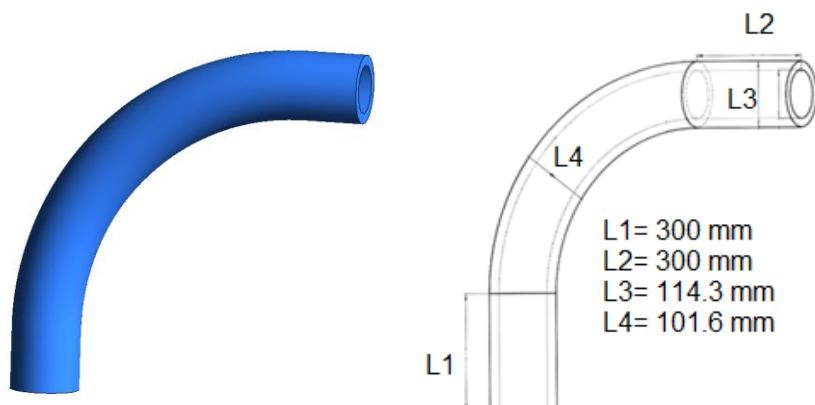


Figura 2- Desenho em CAD e geometria da linha de *choke*.

Definiu-se que o cascalho representado seria composto exclusivamente por Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), por ser o composto mais presente na perfuração (THOMAS, 2001). O material da parede da tubulação, foi definido como aço de baixo carbono. O fluido de perfuração utilizado foi a base água, pois este é frequentemente aplicado em operações de perfuração de poços. A densidade do fluido de perfuração foi definida em  $1320 \text{ kg/m}^3$  e 57 centipoise de viscosidade, valores correspondentes a maioria dos fluidos de perfuração do pré-sal (FAGUNDES, 2018). Por não ser objeto de estudo neste trabalho e por serem valores constantes em todas simulações, a vazão mássica de sólido utilizada foi de  $0.216 \text{ kg/s}$  e a velocidade de escoamento do fluido de perfuração a  $2.75 \text{ m/s}$ , definidos arbitrariamente.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Simulação 1 (0.4mm, SHPT=1), a maior valor de taxa de erosão estimada na *elbow* foi de  $1.26 \text{ e}^{-7} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ , enquanto na Simulação 2 (0.4 mm, SHPT=0.9), a maior taxa de erosão simulada foi de  $1.79 \text{ e}^{-7} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ . Conforme demonstrado na figura 3, observou-se na Simulação 2 um aumento de desgaste em relação a Simulação 1, em função da forma dos cascalhos serem mais angulares.

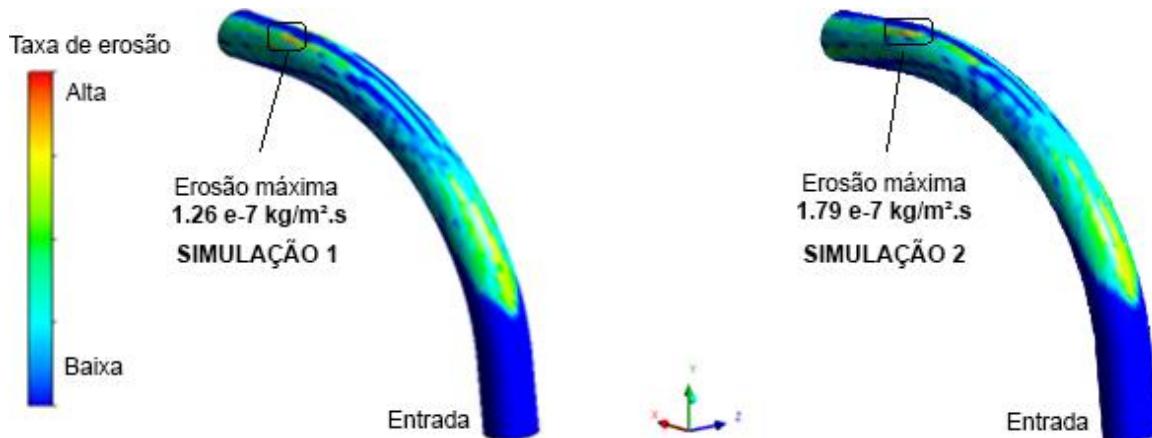


Figura 3 - Comparação da Taxa de desgaste erosivo nas simulações 1 e 2.

Na Simulação 3, a esfericidade foi definida como SHPT=1 (alta). A Simulação 1 possui mesma esfericidade, porém o tamanho do cascalho menor (0.4mm). Assim, observou-se que a Simulação 3 apresentou maior desgaste erosivo máximo ( $1.87 e^{-7}$  kg/m<sup>2</sup>.s) em comparação com a Simulação 1, que foi de  $1.26 e^{-7}$  kg/m<sup>2</sup>.s (Figura 4).

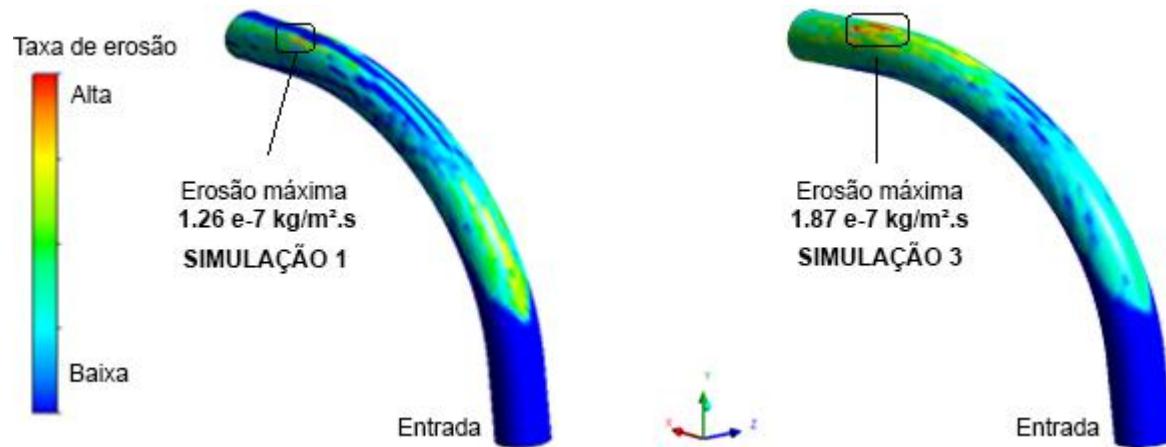


Figura 4 - Comparação da Taxa de desgaste erosivo nas simulações 1 e 3.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nestes resultados, visualizou-se que, de fato, o aumento de tamanho dos cascalhos e a diminuição da esfericidade impactam, diretamente, no aumento da perda de massa por erosão do material da tubulação, conforme indicado na literatura. A Simulação 1, a qual possuía tamanho de partícula (0.4mm) e formato esférico (SHPT=1), apresentou menor desgaste em relação a Simulação 2, que possuía partícula de mesmo tamanho e menos esférica. Para observar o efeito isolado do tamanho do cascalho na taxa erosiva, na Simulação 3 foi utilizada esfericidade no valor de SHPT=1, ou seja, cascalho com forma esférica, e o tamanho de 1mm. Confrontada com a Simulação 1 que possuía mesma esfericidade, porém tamanho do cascalho menor, constatou-se que a Simulação 3 teve uma região da *elbow* com maior desgaste erosivo. Portanto, para um mesmo formato de cascalho, a taxa erosiva aumentou para a simulação que possuía tamanho maior.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro/RJ: Interciência Ltda, 2001.

SANTOS, O. L. A. **Segurança de poço na perfuração**. Rio de Janeiro: Blucher, 2013.

HUTCHINGS, I. M. *Tribology – Friction and wear of engineering materials*. British Library, London ISBN 0340 56184X, 1992.

FAGUNDES, T. B. **Caracterização de cascalhos de perfuração de poços de petróleo por técnicas analíticas instrumentais**. 2018. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade federal de São Paulo.