



## PERFIL DE CORE ANNULAR FLOW EM REGIMELAMINAR

Rafael lemos diniz, cathedral\_rafa20@hotmail.com  
Lucas santos de oliveira, lucassantosdeoliveira2020@gmail.com  
Karla Fabiana Rodrigues Nunes, karlacomkfrn@gmail.com  
Israel da Conceição Rocha, israelr777@live.com  
Fernando Nascimento Costa, fernandoncosta@hotmail.com  
Adilson Pinheiro Gonçalves, adilsonpg@live.com  
Alberth Rodolfo Ferreira Viana, alberth-rodolfo@hotmail.com  
José Ribamar Ribeiro Silva Júnior, professorjrribeiro@gmail.com

Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, n 1000 – Jardim São Cristóvão, São Luís - MA  
Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária Zeferino Vaz – Barão Geraldo, Campinas – SP  
Faculdade Internacional São luís (ISL Wyden), Av. dos Holandeses, 10 – Calhau, São Luís – MA

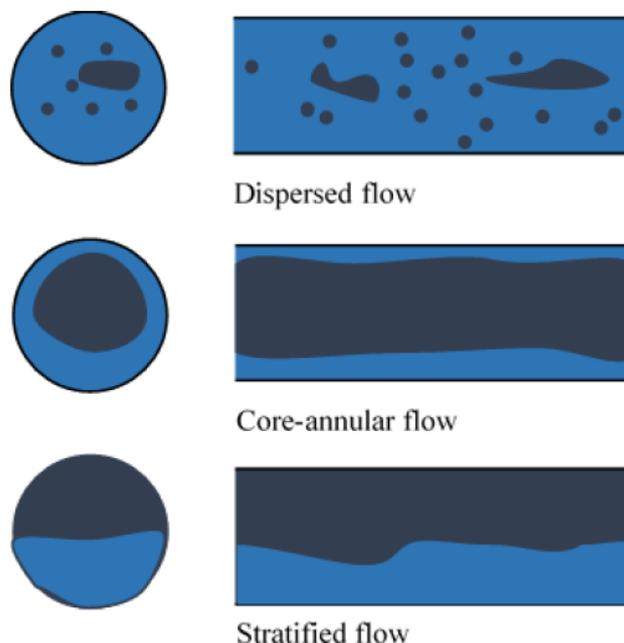
**Resumo.** Desde a descoberta do petróleo, são estudados diversos métodos de explorá-lo e transportá-lo de maneira mais eficiente e econômica. Dentre eles surgiram os métodos de escoamento multifásicos, em destaque os escoamentos líquido-líquido bifásicos, e dentre esses surgiu um perfil de escoamento em particular mais eficiente, este é o CAF, core-annular flow, que consiste em transportar um óleo mais viscoso com uma menor potência de bombeamento do que seria necessário em um escoamento monofásico do óleo mais viscoso.

**Palavras chave:** CAF. Escoamento. Multifásico. Potência.

### 1. INTRODUÇÃO

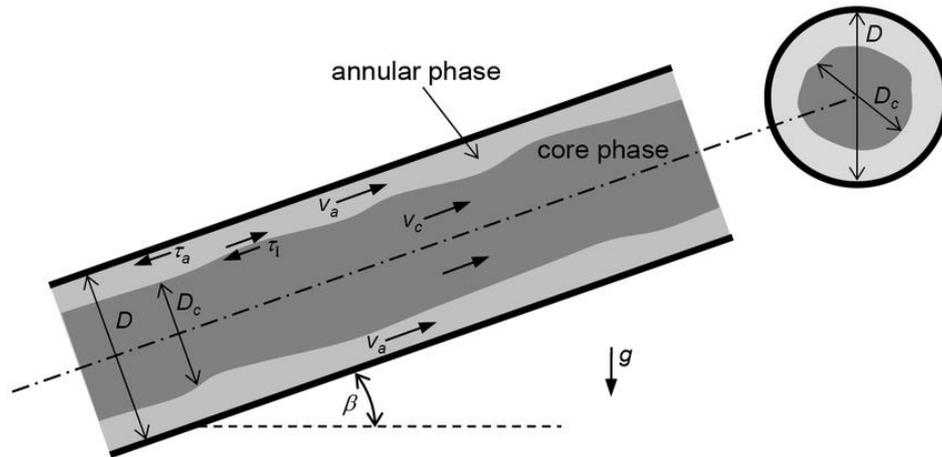
A fim de se reduzir os custos em bombeamentos de óleos viscosos, foram realizados estudos em escoamentos multifásicos, suas aplicações, vantagens e custos. No escoamento horizontal em dutos foram obtidos três perfis de escoamentos, são eles: o escoamento disperso (*dispersed flow*), o escoamento estratificado (*stratified flow*) e o escoamento anular CAF (*core-annular flow*), como ilustrado na figura 1.0 que apresentou um resultado mais positivo, em relação a redução de custos de potência de bombeamento, foi o CAF ou core-flow.

Figura 1: Padrões de fluxo básico do sistema de óleo / água em um tubo horizontal, azul escuro representa a fase de óleo e azul claro representa a fase de água (Kangjun Jia, 2018)



O CAF foi implementado com a premissa de reduzir custo nos bombeamentos de óleos viscosos. Dentre os diferentes métodos para o transporte de óleos viscosos, destacamos o fluxo anular ou Core Annular Flow (CAF), também conhecido como core-flow. Esta técnica consiste basicamente de se injetar pequenas quantidades de água, fazendo com que o óleo pesado seja envolvido por uma camada de água e então o óleo pesado flui na região central do tubo, sem tocar na parede interna do tubo formando um núcleo de óleo, proporcionando assim um padrão anular (Andrade et al,2008), reduzindo a necessidade de potência das bombas aplicadas e consequentemente o custo para extração e transporte do fluido. O método está representado na figura 2.

Figura 2: Representação de escoamento diagonal ascendente anular bifásico (Liwei Li, 2015)



O CAF tem tido um destaque durante os últimos anos devido a sua eficiência, principalmente, na extração e transporte de petróleo, visto que este recurso é explorado de maneira vasta e intensa se fez necessário a aplicação de um método mais eficiente e econômico de transporte, de forma que esta exploração se tornasse viável e lucrativa.

O CAF é um método relativamente novo, com muitas formas e variações, todo resultado varia de acordo com as variáveis aplicadas, as equações básicas que descrevem os fenômenos relacionados com escoamento de fluidos são definidas pelas leis físicas de conservação de massa e de quantidade de movimento (Santiago et al., 2016).por isso foi necessário o desenvolvimento de uma ferramenta numérica para análise prévia deste escoamento em determinadas situações e esta é o CFD(Computational Fluid Dynamics).

O CFD é o nome dado para a ferramenta numérica e computacional que obtém soluções para as equações de conservação de grandezas físicas e permite prever o fluxo de gases e líquidos (Siqueira, et al., 2015). Ele tem grande impacto devido ao seu baixo custo de ensaio, vasta aplicabilidade e segurança em seus resultados.

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho se dá na forma de pesquisa através de livros, revistas, e sites junto com auxílio de professores onde procurou-se analisar de forma consistente a forma de escoamento laminar do CAF, buscando explorar a forma de escoamento, o bombeamento e a forma de perfil.

## 3. RESULTADOS E DISCURSÕES

A técnica de escoamento core anular, também chamada de core flow, vem sendo aplicada na maioria dos estudos referentes ao escoamento anular líquido-líquido, sob condições de escoamento horizontal. “Rocha, et al., 2015”. Essa técnica baseia-se na injeção de um fluido viscoso (óleo/petróleo) no núcleo central, enquanto o líquido menos viscoso (água) é injetado nas laterais do duto de produção formando um filme (anel) lubrificante próximo à parede do duto e, significativamente, reduz a potência requerida para o escoamento.

O interesse na produção de óleo pesado empregando a técnica *core anular flow* (CAF) vem aumentando nos últimos anos em consequência da grande quantidade de reserva de óleo pesado acessível. Vale salientar que esta técnica vem trazendo resultados atraentes no que diz respeito ao consumo de energia. Este fato se deve à redução da perda de carga

durante o escoamento água-óleo tipo *core-flow* quando comparada com aquela que se tem ao transportar apenas o óleo (Rodríguez e Bannwart, 2008).

A identificação dos padrões de escoamento é essencial para questões relacionadas ao retorno econômico do campo como, por exemplo, na medição das vazões volumétricas transportadas e determinação da queda de pressão ao longo dos dutos (Pacheco et al., 2007).

Quando duas ou mais fases escoam simultaneamente na mesma direção através de uma tubulação, o padrão de escoamento e a relação entre a vazão e a queda de pressão são complexos. A presença de uma segunda fase altera a perda de carga se comparada com aquela que resultaria caso apenas uma fase estivesse escoando com a mesma vazão mássica (CoatesPressburg, 1959).

Na literatura existem vários trabalhos desenvolvidos utilizando os sistemas de escoamento bifásicos. Lockhart e Martinelli (1949) desenvolveram uma correlação que foi a primeira abordagem empírico-racional que permitiu calcular o gradiente de pressão no escoamento bifásico.

O experimento realizado por (Santiago et al., 2016), mostrou experimentalmente a eficácia na redução da variação de pressão no escoamento de óleos, utilizando um escoamento bifásico de água e óleo em regime *core-flow*, os dados da tabela 1 mostram os resultados obtidos.

Tabela 1: Queda de pressão para escoamentos monofásicos de óleo e água e escoamento *core-flow* (Andrade, 2008)

CASO	$\Delta P$ (Pa)
MONOFÁSICO DE ÁGUA	2630
MONOFÁSICO DE ÓLEO	169813
CORE-FLOW	4733

É evidente, ao observarmos os resultados na tabela 1, que o escoamento do tipo *core-flow* apresenta uma redução, na perda de pressão, de 36 vezes, quando comparado ao escoamento monofásico de óleo e que este mesmo valor segue próximo ao obtido para o escoamento monofásico de água, provando a eficiência do padrão de escoamento estudado.

A relação entre o gradiente de pressão e a potência de bombeamento necessária fica evidente na equação da própria potência, que é dada por Eq.1:

$$W = \Delta P * Q \quad (1)$$

Onde  $W$  é a potência necessária,  $L$  é o comprimento da tubulação,  $Q$  é a vazão volumétrica e  $\Delta P$  é o gradiente de pressão.

Em estudos realizados por (Vara, 2001) nota-se um fator de redução de potência do “Core Flow” em relação ao bombeamento do óleo sozinho na faixa de 100 a 225 vezes. Para a água escoando sozinha na tubulação é capaz de ter uma redução de pressão de próximo 0,72 vezes, o que está de acordo com os resultados de (Vara, 2001), que em seus comentários verificou-se uma queda de pressão do “Core-Flow” menor do que a apenas a água escoando sozinha na tubulação.

### 3.1 características de o escoamento anular

No escoamento anular, devido à menor densidade do óleo em relação a da água, o óleo no núcleo tem a tendência de subir e tocar a parede superior do tubo, tornando este padrão de fluxo difícil de manter. A passagem padrão do fluxo é altamente dependente dos parâmetros, tais como a velocidade superficial de cada fase, o diâmetro do tubo, a diferença de densidade, a tensão superficial e a inclinação do tubo (Kangjun jia, 2018).

(Cavicchio,2016) afirma que se um parâmetro do escoamento multifásico fosse selecionado como o mais importante, este seria a fração volumétrica *in situ*, que é a razão entre as áreas de seção transversal ocupadas pelos fluidos e a área de seção do duto, no caso de um comprimento diferencial de duto. De tal parâmetro dependem, por exemplo, o gradiente de pressão e o coeficiente de transferência de calor.

De acordo com (Kimura et al., 2017) a água e o óleo, quando submetidos a processo de escoamento, formam um sistema heterogêneo composto por duas fases que apresenta entre elas uma fronteira chamada de interface, que é a superfície de separação entre as duas fases. A espessura da interface deve ser bem definida atingindo espessuras de

poucos milímetros ou mesmo micron, sendo que a disposição dos fluidos depende do tipo de escoamento. O fato de o petróleo ser, de um modo geral, mais viscoso e menos denso que a água faz com que, no escoamento simultâneo desses dois fluidos, a água apresente a tendência de se deslocar com maior velocidade em relação ao óleo. (Van duin et al., 2018) afirma em seu trabalho que um aumento nessa interface entre os fluidos causa um aumento no gradiente de pressão. Essa interface é dada pela fração de volume de água na entrada, que é dada pela Eq. (2).

$$\varepsilon = \frac{Q_a}{Q_a + Q_o} \quad (2)$$

Onde  $Q_a$  é a vazão volumétrica da água,  $Q_o$  é a vazão volumétrica do óleo e  $\varepsilon$  é a fração de volume de água Na entrada.

O core anular flow é amplamente afetado pelo regime de escoamento que se dá no duto, sendo ele turbulento ou laminar, variando de acordo com a velocidade e as características do fluido. Para fluidos newtonianos, o regime laminar é mais visado do que o turbulento pois apresenta menor perda de carga, por esse motivo busca-se trabalhar com velocidades limites onde esse regime é presente, e onde há menor perda de carga. Esses limiares serão encontrados através da utilização do número de Reynolds e também da ferramenta CFD. Reynolds é dado pela Eq. (3):

$$Re = \frac{\rho v DH}{\mu} \quad (3)$$

Onde  $\rho$  é a densidade do fluido,  $v$  a velocidade do fluido na região anular, DH o diâmetro hidráulico e  $\mu$  a viscosidade do fluido.

A partir da equação de Poiseuille, representada pela Eq. (4), para escoamentos laminares em dutos, nós observamos que o gradiente de pressão necessário para causar o deslocamento dos fluidos é diretamente proporcional a viscosidade:

$$\Delta P = \frac{128 \mu L Q}{\pi D^4} \quad (4)$$

Onde Q é a vazão,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica, D é o diâmetro do duto e  $\Delta P$  é o gradiente de pressão (Radhakrishnan et al., 2016).

### 3.1.1 Modelagens do escoamento multifásico

O estudo de escoamento anular varia muito de caso para caso, e com isso suas formulas e abordagens, por esse motivo, de acordo com (Silva et al., 2016) podemos encontrar dois modelos, estes são: o modelo homogêneo que considera apenas um único campo de velocidade representativo da velocidade média da mistura multifásica, e o modelo não homogêneo, que é ideal para resolver problemas de escoamento com superfície livre, considerando um campo de velocidades para cada fase, porém, as fases não são totalmente separadas, como por exemplo, o escoamento onde a fase gasosa é arrastada para o interior do líquido, formando um escoamento de bolhas nessa região.

Inerente ao modelo não-homogêneo, existem duas abordagens: Euleriana-Euleriana e Euleriana-Lagrangeana, sendo que todas elas consideram velocidades diferentes para as fases envolvidas no problema, no entanto, tratam diferentemente as fases dispersas.

### 3.2 Abordagens e expressões básicas

Na abordagem Euleriana-Lagrangeana, a fase líquida é tratada como contínua e resolvida através das equações de Navier-Stokes nas médias temporais; a fase dispersa é resolvida através do acompanhamento da trajetória de um grande número de partículas através do campo de escoamento contínuo, ou seja, para cada partícula resolve-se uma equação da conservação da quantidade de movimento em um sistema de referência que se movimenta com a partícula. O acompanhamento das partículas é realizado através da formação de um conjunto de equações diferenciais ordinárias no tempo, para cada partícula, e levam em consideração a posição, velocidade, temperatura e massa das mesmas.

A abordagem Euleriana-Lagrangeana aborda um sistema de equações de conservação de: massa, quantidade de movimento e energia, para a fase contínua e, com os campos de velocidades desta fase, é calculada as forças exercidas sobre as partículas dispersas (bolhas, gotas ou partículas sólidas). A partir das equações são calculadas as trajetórias destas partículas. A principal limitação deste modelo é que ele é restrito a escoamentos dispersos e, com baixas frações volumétricas das fases dispersas, já que serão necessárias tantas equações quanto o número de partículas presentes no domínio.

A abordagem Euleriana-Euleriana caracteriza-se por considerar as diferentes fases do sistema como contínuas e interpenetrantes. Uma vez que o volume de uma fase não pode ser ocupado pela outra, surge o conceito de fração volumétrica das fases. As frações volumétricas são consideradas como funções contínuas no espaço e no tempo cuja soma é igual a 1. Forma-se então um conjunto de equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia, para cada uma das fases.

Essa metodologia é a abordagem mais utilizada para resolução de problemas de escoamento multifásico na atualidade. É adequada para escoamentos onde as fases estão misturadas e as velocidades relativas entre elas são consideráveis. A dedução matemática deste modelo é baseada num enfoque Euleriano-Euleriano da mistura bifásica, onde as fases, mesmo as dispersas, são consideradas como meios contínuos.

Em termos gerais, neste tipo de abordagem, cada fase é considerada um meio contínuo onde é atribuído um campo de velocidade, campo de pressão, campo de temperatura, etc., que são acoplados pelos métodos de transferência na interface utilizados no problema.

Esta hipótese é válida apenas para dispersões muito finas de partículas, nas quais, a fase dispersa é arrastada com a mesma velocidade que a fase contínua. Porém tudo parte da equação da continuidade, quantidade de movimento, e de cinco forças que podem ser tidas como as mais influentes, sendo elas:

- Força de inercia -  $\rho U^2 L^2$
- Gradiente de pressão -  $\Delta PL^2$
- Força gravitacional -  $\rho GL^3$
- Força de viscosidade -  $\mu UL$
- Tensão superficial -  $\sigma L$

Onde U e L são variáveis características, respectivamente, de velocidade e comprimento.

De acordo com (Rocha et al., 2015) o monitoramento nas interfaces para a fração de volume de uma ou mais fases é realizado pela solução da equação da conservação de massa. Para a fase genérica, a equação da continuidade assume a seguinte forma (Eq. 5).

$$\frac{1}{\rho_q} \left[ \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla (\alpha_q \rho_q \bar{U}_q) \right] = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (5)$$

Onde:

$\rho_q$  = massa específica;

$\alpha_q$  = fração de volume da fase;

$U_q$  = velocidade superficial da fase;

A taxa líquida de transferência de massa entre as fases é dada pela (Eq. 6):

$$\sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (6)$$

A equação da conservação de quantidade de movimento (Eq. 7), é a única resolvida em todo domínio computacional e o campo de velocidade resultante é compartilhada entre as fases. A equação da conservação de

quantidade de movimento, é dependente das frações de volume de todas as fases por meio das propriedades físicas  $\rho$  e  $\mu$ .

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{U}) + \nabla \cdot (\rho \vec{U} \vec{U}) = -\nabla_p + \nabla [\mu (\nabla \vec{U} + \nabla \vec{U}^t)] + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (7)$$

Onde  $p$  é a pressão estática,  $g$  é a constante gravitacional,  $t$  é tensor e  $F$  é a força de arraste interfacial.

Os termos do lado esquerdo da Eq.6 são respectivamente, a taxa de acúmulo e a transferência de quantidade de movimento por convecção. O lado direito desta equação apresenta respectivamente a contribuição do gradiente de pressão no escoamento, a transferência de quantidade de movimento pelo mecanismo molecular (difusão), a ação da força gravitacional e a força de arrasto interfacial.

### 3.3 Influência da temperatura

O petróleo é definido como misturas de hidrocarbonetos (compostos formados por átomos de hidrogênio e carbono) que se apresentam na natureza em estado sólido, líquido ou gasoso, dependendo das condições de pressão e temperatura em que são encontrados. Quando o petróleo se apresenta no estado líquido, é denominado óleo cru ou simplesmente óleo. Este é definido como a parte líquida de uma mistura de hidrocarbonetos proveniente de um reservatório geológico considerado óleo pesado (VAZ, 2008).

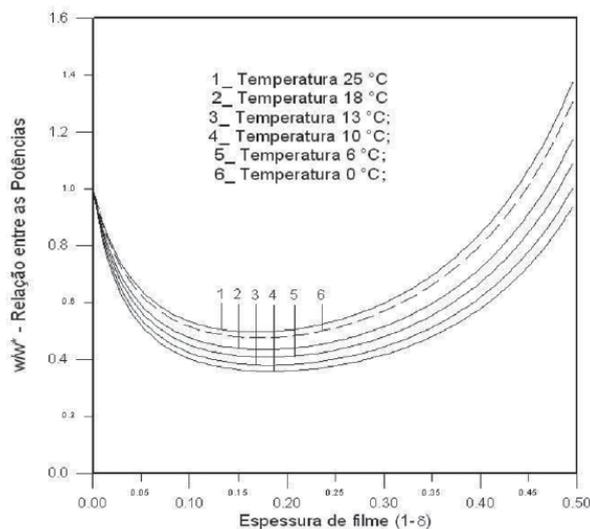
O óleo é classificado com base na sua massa específica, visto que a viscosidade é influenciada pela temperatura. No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), define que o óleo pesado apresenta massa específica na faixa entre 10° a 22° API (Trevisan et al., 2006).

A viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento quando submetido a tensões de cisalhamento (Ferreira, 2006).

A redução de viscosidade dos fluidos causa diretamente uma redução no gradiente de pressão e conseqüentemente uma redução na necessidade de potência, por esse motivo o aquecimento do óleo para seu escoamento se tornou bastante comum a fim de melhorar o transporte do mesmo, porém de maneira inversa poderíamos reduzir a temperatura, com a premissa de se reduzir a diferença de densidades entre os fluidos, e a interface entre eles.

(Kimura et al., 2017) realizou um experimento em um sistema de CAF laminar, onde ele experimentou a relação da temperatura em função da potência de bombeamento do fluido. Para esse estudo ele se utilizou a partir da condição de trabalho: vazão mássica do fluido interno constante, a partir disso ele analisou a potência de bombeamento em função das relações viscosidades para diferentes temperaturas no escoamento, avaliando a espessura de isolamento térmico em regime laminar de fluidos imiscíveis (água-óleo) em dutos circulares e obteve os resultados apresentados na figura 3.

Figura 3: Relação entre as potências de bombeamento em função da relação entre as viscosidades (água/óleo), considerando-se a fração de água entre o óleo e a parede do duto “Espessura de filme”. (Kimura, 2016)



É possível se observar através dos resultados da Figura 3, que há um ponto de inflexão para a temperatura, com relação ao ponto de mínimo na potência de bombeamento, ou seja, a potência de bombeamento tem, também, um ponto mínimo com relação à variação da temperatura. Portanto, a partir destes resultados, (Kimura et al., 2017) realizou cálculos de valores mínimos de potência em função da temperatura, onde nas situações analisadas, uma espessura aproximada de 10 mm de lã de vidro possibilita manutenção da temperatura interna, de 9.4 °C, para uma condição de temperatura externa igual a 25°. Além disso, de acordo com o estudo efetuado por (kimura et al.,2017) resultados similares são obtidos para diferentes temperaturas externas (15° C, 30° C, 40° C).

#### 4. CONCLUSÃO

Os escoamentos multifásicos possuem diversas características, cada um com suas vantagens e desvantagens, porém para o transporte de óleos viscosos, o CAF tem se mostrado o método mais efetivo.

O CAF é um método composto de diferentes aplicações e variações, com uma aplicação mais comum em tubulações na horizontal. Ele se mostrou um método extremamente eficiente e propício, pois, consegue reduzir a potência necessária para bombeamento de maneira expressiva utilizando as relações fluidodinâmicas entre os fluidos presentes. Apesar de ele já ter resultados incríveis, pode ainda ser aprimorado dependendo do sistema em que for aplicado, tudo isso levando em consideração suas variáveis básicas, como tipo de escoamento, temperatura, velocidade, diâmetros do escoamento, e etc.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, a minha família e a Universidade estadual do Maranhão pela oportunidade de realizar este trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artur Kimura, Carolina Valente de Oliveira, Elcio Nogueira, 2016, *Hidrodinâmica de Líquidos Imiscíveis (Água-Óleo) em escoamentos internos: Seção Reta Circular e Placas Planas Paralelas*.
- Andrade, T. H. F. de. *Estudo Numérico do Transporte de Óleos Pesados em Tubos Lubrificados por Água*. Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2008.
- Brunno Ferreira Silva, 2016, *Escoamento anular não estabelecido de óleo ultraviscoso e água em dutos curvados: análises hidrodinâmica e energética*. Universidade Federal de Campina Grande.
- Caio Augusto Moreira Cavicchio, 2016, *Estudo experimental do escoamento vertical multifásico de óleos viscosos*. Universidade Estadual de Campinas.
- Coates, J.; Pressburg, B. S. *How to analyse two-phase flow*. Chemical Engineering, set. 1959.
- Erik VanDuin, Ruud Henkes, Gijs Ooms, 2018, *Influence of oil viscosity on oil-water core-annular flow through a horizontal pipe*. Delft University of Technology, Faculty of Mechanical, Maritime, and Materials Engineering.
- Ferreira, J. P. *Análise de estratégias de resposta a derramamento de óleo pesado no litoral do espírito santo utilizando modelagem computacional*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.
- Franciele Rocha Machado, 2015, *Análise da fluidodinâmica do escoamento core annular de líquidos imiscíveis em duto horizontal*. Universidade Federal do Rio Grande.
- Fábio Coffani dos Santos de Siqueira, 2015, *Estudo de óleo pesado envolto em água utilizando ferramenta CFD*. Universidade do Estado de São Paulo.
- Gutemberg Santiago de Araujo; Jéssica Lacerda de Oliveira; Antônio Gilson Barbosa de Lima; Severino Rodrigues de Farias Neto, 2016, *Estudo numérico do transporte de óleo pesado e gás lubrificado por água em oleoduto horizontal*. II Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, gás natural e biocombustíveis.
- Kangjun Jia, 2018, *Interface Investigation of Horizontal Core-Annular Flow*. Delft University of Technology.
- Liwei Li, Landmark-Halliburton. Mechanistic Prediction of Oil-Water, Two-Phase Flow in Horizontal or Near-Horizontal Pipes for a Wide Range of Oil Viscosities. In: Technical Conference and Exhibition held in Houston, Texas, USA, 28–30 September 2015.
- Lockhart, R. W.; Martinelli, R.C. *Proposed correlation of data for isothermal two-phase, two component flow in pipes*. Chemical Engineering Progress, n.1, v. 45, p. 3948, 1949.
- Pacheco, F; Cavalcante, C. C. P.; Mendes, J. R. P. M.; Bannwart, A. C., Serapião, A. B. S. *Identificação de padrões de escoamento multifásico e determinação da perda de carga com o auxílio de redes neurais*. IV Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás, Campinas, São Paulo, 2007.
- Rhoheth Radhakrishnan, 2016, *The effects of viscosity on core-annular flow: Numerical Simulations and Experiments for Core-Annular Flow*. Delft University of Technology.

Rafael Lemos Diniz, Lucas Santos De Oliveira, Karla Fabiana Rodrigues Nunes, Israel Conceição Rocha, Fernando Nascimento Costa, Adilson Pinheiro Gonçalves, Alberth Rodolfo Ferreira Viana e José Ribamar Ribeiro Silva Júnior.  
PERFIL DE CORE ANNULAR FLOW EM REGIME LAMINAR

Rodriguez, O. M. H.; Bannwart, A.C. Stability Analysis of Core-Annular Flow and Neutral Stability Wave Number. American Institute of Chemical Engineers AIChE Journal, vol.54, N° 1, pp.: 20–31, (2008).

Tony Herbert F. Andrade, Filipe N. Silva<sup>1</sup>, Severino R. Farias Neto<sup>2</sup> e Antonio Gilson B. Lima, 2016, *Applying CFD in the analysis of heavy oil – water two-phase flow in joints by using core annular flow technique*. Federal University of Campina Grande (UFCG).

Trevisan, O. V., França, F. A., Lisboa, A. C. L. *Heavy Oil Production in Offshore Fields: A Technology Development Program Devised for Brazil*. In: Rio Oil and Gas Expo and Conference, 2006.

Vaz, C.E.M et. al. *Tecnologia do gás natural* – 1ª Ed. – São Paulo: Blucher, 2008.

Vara, R. M. O., *Hidrodinâmica do Escoamento Bifásico Água/Óleo Pesado em um Tubo Horizontal*, 182 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade Engenharia Mecânica, Instituto de Geociências (2001).

## **7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

Os autores Rafael Lemos Diniz, Lucas Santos De Oliveira, Karla Fabiana Rodrigues Nunes, Israel Conceição Rocha, Fernando Nascimento costa, Adilson Pinheiro Gonçalves, Alberth Rodolfo Ferreira Viana e José Ribamar Ribeiro Silva Júnio são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.