

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

DESEMPENHO E AVALIAÇÃO NÚMERICA DO PROCESSO DE SEPARAÇÃO ÁGUA/ÓLEO PESADO E ULTRAVISCOSO NO INTERIOR DE UM HIDROCICLONE

AUTORES:

Cidronia Janiclebia de Oliveira Buriti¹, Severino Rodrigues de Farias Neto¹, Antonio Gilson Barbosa de Lima², Fabiana Pimentel Macêdo Farias²

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Ciências e tecnologia

¹ Departamento de Engenharia Química

² Departamento de Engenharia Mecânica

DESEMPENHO E AVALIAÇÃO NÚMERICA DO PROCESSO DE SEPARAÇÃO ÁGUA/ÓLEO PESADO E ULTRAVISCOSO NO INTERIOR DE UM HIDROCICLONE

Abstract

Na indústria do petróleo vários segmentos podem agredir o meio ambiente. Na extração do petróleo tem-se a água produzida, o poluente mais relevante, a qual contém geralmente alta salinidade, partículas de óleo em suspensão, metais pesados entre outros. Tornando-a um poluente de difícil descarte pelo seu expressivo volume envolvido. O descarte inadequado implica em efeitos nocivos ao meio ambiente. Neste sentido, é primordial o tratamento de modo a se enquadrar na legislação vigente, tendo em vista o destino que lhe será dado: descarte em solos ou mar, injeção para recuperação secundária de reservatórios, irrigação, entre outros. Uma alternativa interessante para efetuar a separação da água e do óleo é a utilização de hidrociclones no lugar dos separadores convencionais. Isto se deve as elevadas capacidades de processamento, exigirem pouco espaço para sua instalação. Neste sentido, Avaliar numericamente a viabilidade do processo de separação óleo pesado e ultra-viscoso de uma corrente contínua de água produzidas. Para tal, foram utilizadas ferramentas de Fluidodinâmica Computacional (CFD), através do software comercial CFX 10.0, que resolve numericamente as equações de conservação, permitindo estimar o comportamento de diferentes tamanhos de partículas de óleo presentes na corrente contínua de águas produzidas no interior do hidrociclone. Os resultados numéricos das simulações das linhas de fluxo, da queda de pressão, eficiência de separação, entre outros, foram analisados criteriosamente e comparados, sempre que possível, com dados experimentais existentes na literatura.

Palavras Chaves: Hidrociclone, Separação água/óleo, óleo pesado, Fluidodinâmica Computacional.

Introdução

Durante a produção de petróleo, é comum o aparecimento de água e frações de areia. Geralmente, o petróleo e a água encontram-se no fundo do poço sob a forma de duas fases separadas e, ao escoarem através da coluna e linhas de produção são submetidas à agitação e cisalhamento e, devido à presença de surfactantes naturais no petróleo, ocorre à formação de emulsões estáveis do tipo água-óleo. A fração de água produzida junto com o petróleo é decorrente da água está naturalmente presente no reservatório ou porque a mesma foi injetada no reservatório ou no tubo de produção.

Os danos causados pela areia podem variar em intensidade havendo ou não a necessidade de uma intervenção de areia no interior do poço, erosão de equipamentos de superfície e de sub-superfícies, acúmulo de areia nos equipamentos, entre outros. Visando obter uma solução para este problema vem sendo utilizado hidrociclones para a separação de água/óleo ou areia/óleo ou então ciclones para separar gás/areia ao invés dos separadores convencionais. Em algumas situações durante a produção do petróleo e no seu transporte tem-se observado a presença de areia na corrente oleosa sendo, portanto, mais um parâmetro a ser levado em consideração no sistema de separação. Daí é de fundamental importância que haja a separação das fases visando obter um óleo de qualidade com dispositivos de pequeno porte e de baixo tempo de residência comparado com os decantadores atualmente utilizados. E neste contexto que o presente trabalho se propõe dar uma contribuição a indústria de petróleo.

Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivos estudar a separação da mistura areia, água e óleo via hidrociclone. Foram utilizadas ferramentas de Fluidodinâmica Computacional (CFD), através do software comercial CFX 10.0, que resolve numericamente as equações de conservação, permitindo estimar o comportamento de diferentes tamanhos de partículas de óleo presentes na corrente contínua de águas produzidas no interior do hidrociclone. Propor uma modelagem matemática para prever a separação óleo/água/areia via hidrociclone.

Metodologia

1 MODELAGEM MATEMÁTICA

1.1 DESCRIÇÕES DO HIDROCICLONE

O hidrociclone utilizado no presente trabalho está ilustrado na Figura 1 cujas dimensões estão ilustradas na Tabela 1.

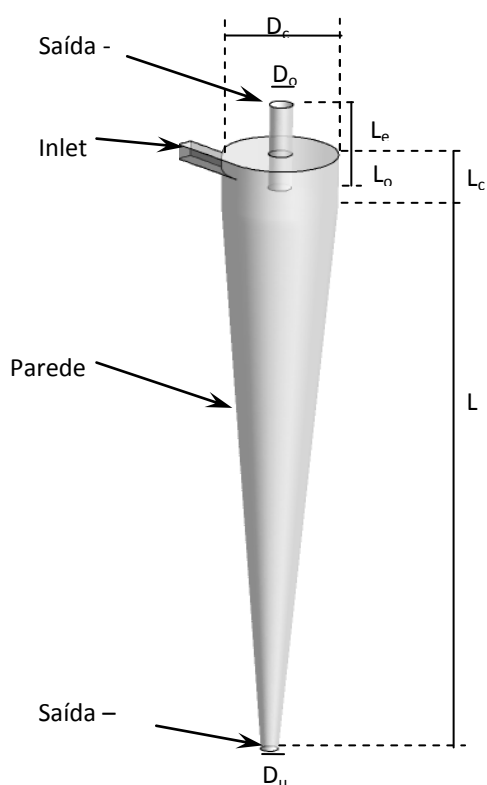


Tabela 1: Dimensões do hidrociclone utilizado nas simulações.

D_C	D_O	D_U	D_i	L	L_U	L_e	L_C
102 mm	15,3 mm	24,4 mm	14,7 mm	550,8 mm	19,4mm	50mm	51 mm

Figura 1: Representação da geometria do hidrociclone

As propriedades físico-químicas da água, óleo pesado e ultra-viscoso e areia utilizadas nas simulações estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades Físico-químicas das fases usadas na simulação.

Propriedades a 25°C	Valores	Fontes
ρ (óleo pesado)	963,6 (kg/m ³)	Paládios (2007)
μ (óleo pesado)	17,6 (Pa.s)	Paládios (2007)
ρ (água)	997,0 (kg/m ³)	Incropera e DeWitt (2002)
μ (água)	0,0008899 (Pa.s)	Incropera e DeWitt (2002)
ρ (areia)	2670(kg/m ³)	www.fisica.ufs.com.br
ρ (glicerol)	1262 (kg/m ³)	Wegmann et al. (2007)
μ (glicerol)	1,495 (Pa.s)	Wegmann et al. (2007)

1.2 Modelo Matemático

O processo de separação água/areia/óleo pesado e ultraviscoso em hidrociclones é modelado pelas leis gerais de conservação de massa e de momento linear para cada uma das fases. Foi adotada a aproximação Euleriana-Euleriana para o par água-óleo pesado e Euleriana-Lagrangeana para água-areia .

1.2.1 Aproximação Euleriana-Euleriana

No modelo matemático empregado para as fases água-óleo pesado foi considerado que:

- Não há fonte de massa;
- Não há taxa de fluxo mássico por unidade de volume a partir da fase α para a fase β ;
- A transferência de momento induzido pela transferência de massa interfacial foi desprezado;
- As forças de não-arraste (forças de sustentação, lubrificação, massa virtual, dispersão turbulenta e pressão sólida) são desconsideradas;

Com estas considerações tem-se as equações 1 e 2:

- Equação da continuidade

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_{\alpha}\rho_{\alpha}) + \nabla \cdot (f_{\alpha}\rho_{\alpha}\vec{U}_{\alpha}) = 0 \quad (1)$$

- Equação de conservação de momento linear

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (f_{\alpha} \rho_{\alpha} \vec{U}_{\alpha}) + \nabla \cdot [f_{\alpha} (\rho_{\alpha} \vec{U}_{\alpha} \otimes \vec{U}_{\alpha})] = \\ = -f_{\alpha} \nabla p_{\alpha} + \nabla \cdot \left\{ f_{\alpha} \mu_{\alpha} \left[\nabla \vec{U}_{\alpha} + (\nabla \vec{U}_{\alpha})^T \right] \right\} + S_{M_{\alpha}} + M_{\alpha} \end{aligned} \quad (2)$$

onde. $\vec{U}_{\alpha} = (u, v, w)$ é a velocidade da fase α , ρ_{α} é a densidade da fase α , μ_{α} a viscosidade dinâmica da fase α , $S_{M_{\alpha}}$ descreve as fontes de momento devido as forças de corpo externas, M_{α} descreve as forças interfaciais atuando sobre a fase α devido a presença de outra fase.

A força interfacial total, Equação 32 representa no presente trabalho, a força de arraste que atua entre as duas fases dadas por:

$$M_{\alpha\beta} = M_{\alpha\beta}^D = c_{\alpha\beta}^{(d)} (\vec{U}_{\beta} - \vec{U}_{\alpha}) \quad (3)$$

Onde $c_{\alpha\beta}^{(d)}$ é o coeficiente que dentre outros depende do coeficiente de arraste, definido por:

$$c_{\alpha\beta}^{(d)} = \frac{3}{4} \frac{C_D}{d} f_{\beta} \rho_{\alpha} |\vec{U}_{\beta} - \vec{U}_{\alpha}| \quad (4)$$

onde d é o diâmetro da partícula e $C_D=0,44$ é o coeficiente de arraste.

1.2.2 Aproximação Euleriana-Lagrangeana

O modelo matemático empregado para as fases água/areia foi adotado as seguintes considerações:

- Colisão elástica das partículas nas proximidades das paredes do hidrociclone;
- Fator de forma da partícula igual a 0,6;
- Não há eixo de rotação de referência;
- Diâmetro das partículas iguais e uniforme, com valor iguais a 1 mm.

1.2.3 Condições de Contorno

As seguintes condições de contorno foram utilizadas sobre o hidrociclone (Ver na Figura 16 fronteiras utilizadas):

- Condição de saída: nas saídas superior e inferior, foi adotado condições de pressão prescrita e igual a 101325 Pa;
- Condição de parede – para os fluidos utilizados (glicerol, óleo pesado e água) e para as partículas de areia foi considerado a condição de não deslizamento sobre as paredes internas do hidrociclone. Adotou-se uma rugosidade das paredes igual a 0,045 mm.
- Condições de entrada:

	Glicerol/Água	Óleo Pesado/Água	Óleo Pesado/Areia/Água
u^* (m/s)	10; 15 e 20	10; 15; 20; 25; 30; 35 e 40	10; 20; 25; 30; 35 e 40
v^* (m/s)	0	0	0
w^* (m/s)	0	0	0
f_g	0,25	-	-
f_o	-	0,25	0,25
f_w	0,75	0,75	0,75
	-	-	** Conjunto de 8 partículas com fluxo mássico igual a 0,025 kg/s.

* Onde u , v e w correspondem respectivamente às velocidades axial, radial e tangencial da mistura de alimentação do hidrociclone]

** No CFX não se introduz a fração volumétrica de partículas, mas o número de conjunto de partículas.

Resultados e Discussão

Nas Figuras 2, estão representadas, respectivamente, as linhas de fluxo referentes às fases água e óleo pesado e ultra-viscoso e a trajetória das partículas de areia, para três vazões volumétricas da mistura de alimentação 7,64; 15,28 e 22,93 m³/h, correspondentes as velocidade de 10,0; 20,0 e 30,0 m/s. Os resultados apresentados nestas figuras mostram claramente comportamentos diferenciados das correntes de água e de óleo pesado, e do trajeto da areia. Um ponto interessante a ser destacado nestes resultados é a influência da concentração de partículas nas correntes de água e de óleo pesado, mesmo que com uma baixa concentração. Estes resultados levam a crer que o processo de separação seria mais eficiente com o aumento da vazão de alimentação. Na figura 3 estão representadas as curvas da eficiência de separação de óleo em função da vazão de alimentação de óleo, nos escoamento bi e trifásicos. Os comportamentos das curvas mostram que a presença das partículas além de interferir no comportamento das fases líquida, (água e óleo pesado) influenciam substancialmente na eficiência de separação do óleo pesado da corrente contínua de água à medida que a vazão volumétrica ou velocidade de entrada da mistura aumenta.

A Figura 4 ilustra os campos de fração volumétrica para o hidrociclone no plano YZ para diferentes velocidades da mistura (10; 20 e 30 m/s), correspondentes as vazões volumétricas de alimentação (7,64; 15,28 e 22,93 m³/h). Esta figura mostra que a fração volumétrica de óleo aumenta radialmente a partir da parede para o centro à medida que a taxa de fluxo volumétrico aumenta. Aqui se pode observar que tanto a forma como a concentração de óleo depende fortemente da taxa de fluxo de alimentação. Wang *et al.* (2006; 2008) atribuem este fato a distribuição de velocidade radial ser excêntrica devido a não simetria da geometria do ciclone. Este arrasta algumas partículas de água e de

areia em direção ao vortex e elas não serão separadas. Nas proximidades das paredes a água e as partículas de areia caminharão em direção a saída inferior do hidrociclone.

O comportamento discutido nestas figuras (Figuras 4 e 5), como já discutido em seções anteriores, está relacionado ao aumento da intensidade turbilhonar induzida pelo aumento da vazão volumétrica da mistura na seção de entrada do hidrociclone. Comportamento semelhante foi observado por diferentes autores, como por exemplo, Caldentay (2000), Chiné e Concha (2000), Simões (2005). Este comportamento favorece a redução da pressão no centro do hidrociclone, como ilustrado na Figura 6, onde estão representados os campos de pressão sobre o plano YZ passando pelo eixo do hidrociclone, o que favorece a separação das fases.

Visando ilustrar a influência da concentração de partículas sólidas sobre o processo de separação do óleo pesado das outras fases (água e areia), foi realizada uma simulação com os mesmos parâmetros adotados no caso em que a velocidade de entrada da mistura no hidrociclone eram iguais a 20, 25 e 30 m/s, por terem apresentadas as melhores eficiências de separação nos casos estudados até então. Neste caso, foi aumentada o número de conjunto de partículas na entrada do hidrociclone de 8 para 100. Na Figura 6 está representado o campo de fração volumétrica de óleo pesado sobre o plano XZ.

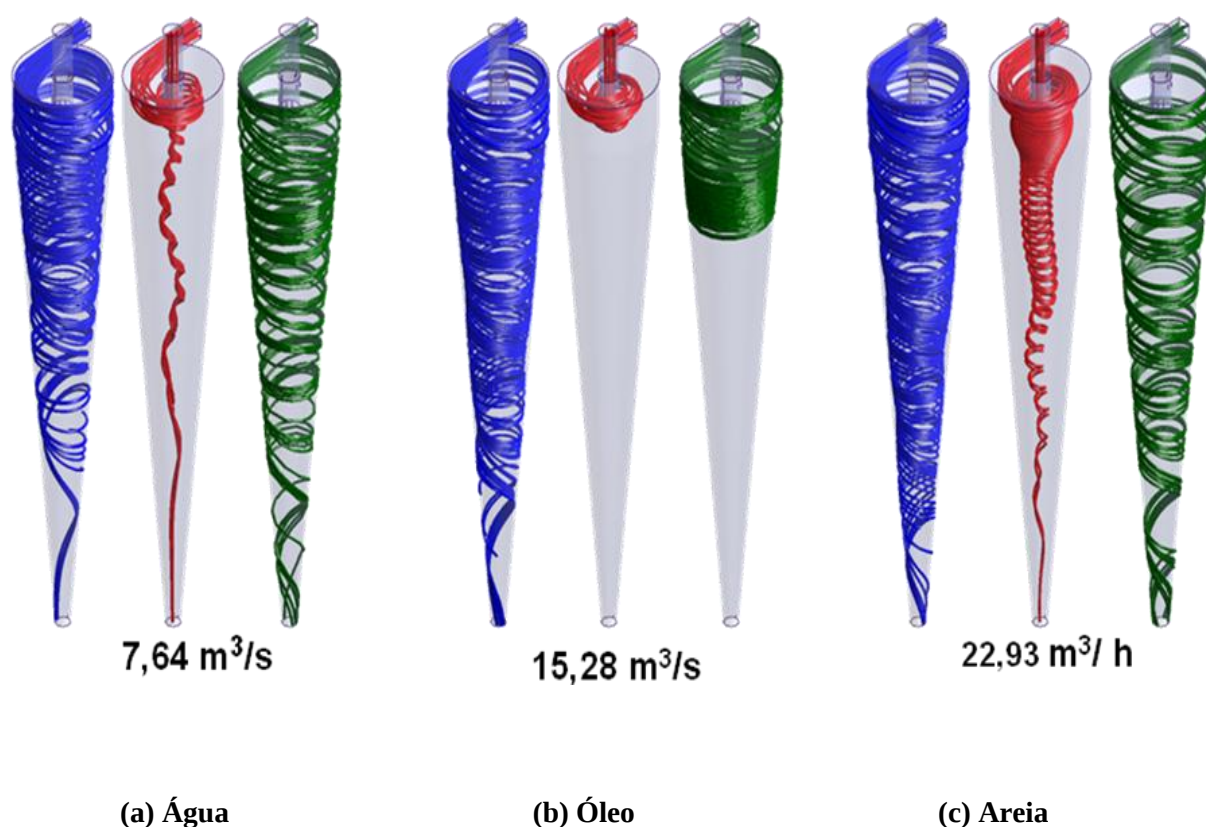


Figura 2: Linhas de Fluxo para água e óleo pesado e trajetória da areia no hidrociclone com vazão volumétrica de mistura de alimentação igual a 7,64; 15,28 e 22,93 m³/h.

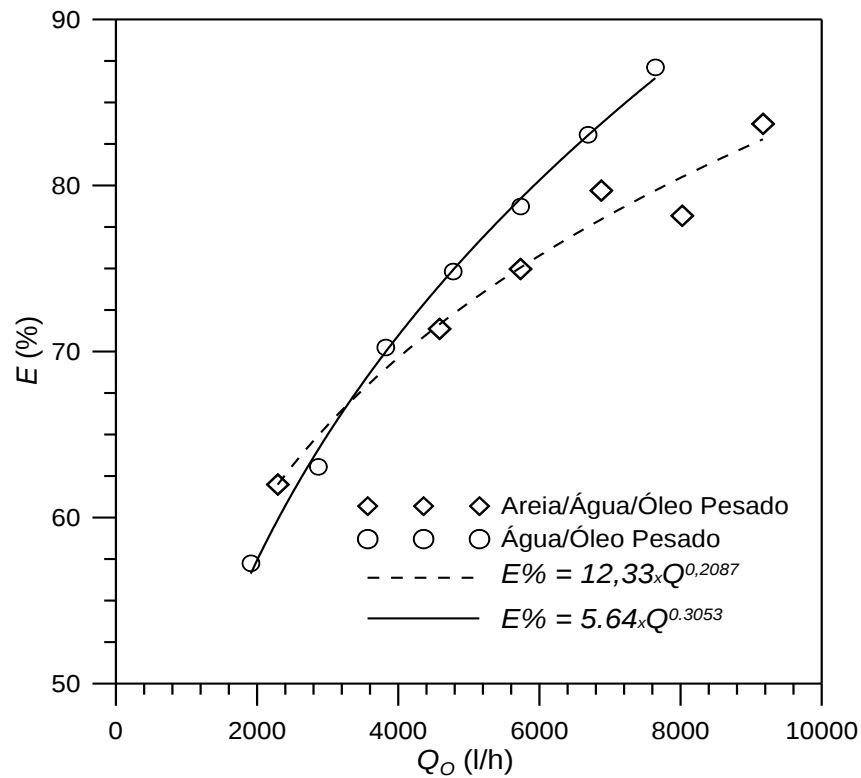


Figura 3: Eficiência de separação em função da vazão (l/h)

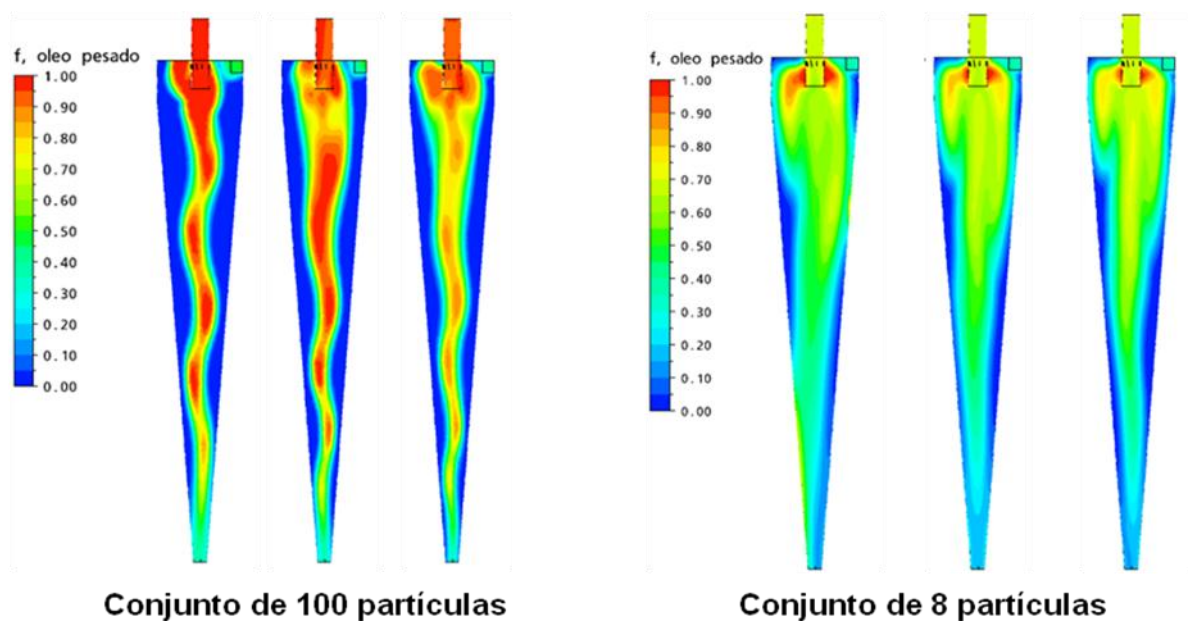


Figura 5: Campo de fração volumétrica do óleo pesado sobre o plano YZ através do eixo do hidrociclone, nas vazões de alimentação da mistura água-óleo-areia: 7,64 m³/h; 15,28 m³/h; e 22,93 m³/h.

Conclusões

A presença de partículas sólidas influenciam na eficiência de separação de óleo pesados e ultra-viscosos na presença de um escoamento trifásico (óleo pesado-água-areia). A concentração de partículas tem uma forte influência no campo de fração volumétrica de óleo pesado no interior do hidrociclone, o que proporcionou uma redução na eficiência de separação do óleo pesado da mistura trifásica (óleo pesado-água-areia) em comparação àquela observada na presença da mistura bifásica (óleo pesado-água).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, ANP/UFCG-PRH-25, FINEP, PETROBRAS, CT-Petro e JBR Engenharia, para a concessão de apoio financeiro e para os pesquisadores relataram que, com suas pesquisas, ajudaram no melhoramento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Bernardo, S.; Mori, M., 2003, 3D simulation of gas flow in a cyclone using a commercial CFD code, Proceedings of the 17th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM – 10-14 November, São Paulo, SP, Brazil.
- Buriti, Cidronia Janiclebia de O., 2009. Hydrocyclone in an application process for separation of fluid multiphase oil / water / sand in oil production. Federal University of Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil. (in Portuguese).
- CFX 10.0 – User Manual, 2005, ANSYS CFX-Solver, 10.0: Theory, ANSYS, USA.
- Chu, L.Y., Chen, W.M., Lee, X.Z., 1993. Research on the motion of solid particles in a hydrocyclone. Separation Science and Technology V. 28, pp. 1875.
- Dyakowski, T., Williams, R.A., 1993. Measurement of particle velocity distribution in a vertical channel. Powder Technology V. 77 (2), pp. 135–142.
- Fahlstorm, P.H., 1963. Studies of the hydro-cyclone as classifier. Mineral processing. In: Proceedings of the Sixth International Congress, Cannes, France.
- Farias, F.P.M., 2006, Theoretical study of thermal fluid dynamics in cyclonic dryers. PhD thesis, Federal University of Campina Grande, Campina Grande – PB, Brasil. (in Portuguese)
- Ferziger, J. H., Peric, M., 2002, Computational methods for fluid dynamics, Third Edition, Ed. Springer, Berlin, 423 p.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., 2002, Fundamentals of Heat and Mass Transfer; Ed. John Wiley & Sons, New York, 981 p..
- Renade, Vivek V., 2002; Computational flow modeling for chemical reactor engineering; Academic Press, London, Great Britian.
- Schuetz, S., Mayor, G., Bierdel, M., Piesche, M., 2004. Investigations on the flow and separation behavior of hydrocyclones using computational fluid dynamics. International Journal of Mineral Processing V. 73 (2–4), pp. 229–237.
- Versteeg, H. K.; Malalasekera, W., 1995, An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method; England: Pearson education limited; 257p.
- Wang, B; Yu, A.B., 2006. Numerical study of particle–fluid flow in hydrocyclones with different body dimensions. Minerals Engineering V. 19, pp. 1022–1033.
- Wang, B; Yu, A.B., 2008. Numerical study of the gas–liquid–solid flow in hydrocyclones with different configuration of vortex finder. Chemical Engineering Journal V. 135, pp. 33–42.
- Wang, B.; Xu, D.L.; Xiao, G.X.; Chu, K.W.; Yu, A.B., 2003, Numerical Study of gas-solid flow in a cyclone separator, 3rd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, CSIRO, Melbourne, Australia, pp. 371-376.

