

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo da fluidodinâmica de misturadores estáticos tipo S na produção de biodiesel

AUTORES:

Isabelly Pereira da Silva, Gabrielly Pereira da Silva, Mikele Cândida Sant'Anna, Ana Eleonora de Almeida Paixão e Gabriel Francisco da Silva.

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Sergipe

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

TÍTULO DO TRABALHO

Abstract

The computational fluid dynamics (CFD) is a numerical technique for fluid flow analysis, through this technique is possible to simulate and analyze the fluid flow in several geometry of innumerable equipment, and also optimize equipment in use. In this work we propose to study the profile of mixture in three static mixers type S. The substances were soybean oil and ethanol, used in the manufacture of biodiesel. These results were encouraging, because the static mixers are a technological and economical alternative for production of biodiesel by the continuous route.

Introdução

A Fluidodinâmica Computacional (Computational Fluid Dynamics - CFD) é a denominação conferida ao grupo de técnicas matemáticas, numéricas e computacionais usadas para obter, visualizar e interpretar soluções computacionais para as equações de conservação, de grandezas físicas de interesse em um dado escoamento (FONTES *et al*, 2005).

As análises nesta área podem ser desenvolvidas com base em modelos estabelecidos pelas equações de Navier-Stokes, da conservação da quantidade de movimento, da massa e da energia. Quando são adicionadas as condições iniciais e de contorno, estas equações representam um problema particular. A solução analítica destas equações somente é possível para os casos mais triviais, para os problemas reais utilizam-se os métodos numéricos.

Para Gomez (2008), os códigos de CFD são estruturados em torno de algoritmos numéricos para a resolução de escoamentos de fluidos, os códigos cotêm geralmente quatro elementos principais um gerador geometria e malha, um pré-processador ou *solver*, e um pós-processador.

A fluidodinâmica computacional – CFD pode ser aplicada em vários problemas da engenharia, principalmente em escoamento de fluidos. Os casos mais típicos estudados são: separação água-óleo em hidrociclone, separação de partículas em ciclone, simulação de separador multifase, escoamento multifase, simulação em túnel de vento, simulação de turbina eólica, simulação de bombas multifase, simulação em bombeio de óleo-água, simulação de medidores de vazão, simulação em válvulas, simulação em lavadores e misturadores.

Segundo Joaquim Jr. (2008), os processos de mistura que usam dispositivos estáticos no interior de dutos de escoamento são uma opção aos processos convencionais, tendo crescente aplicação e interesse, visto utilizar-se de parte da energia cedida para o bombeamento dos fluidos, permitindo a mistura em um processo contínuo, minimizando o uso de equipamentos e instalações industriais. Contudo, sua aplicação ainda é restrita a alguns processos específicos por questões tecnológicas e, principalmente, pelo pouco conhecimento de técnicos e engenheiros dos fenômenos físicos que regem sua aplicabilidade. A inexistência de tecnologia e conhecimento nacional nesta área impõe a dependência frente a empresas estrangeiras, encarecendo e dificultando sua aplicação. Na última década, técnicas computacionais tem sido utilizadas para o projeto e otimização desses dispositivos, conhecidos como misturadores estáticos, com destaque para a fluidodinâmica computacional – CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

Segundo Fernandes (2005), outro fator importante a se considerar é que a fluido-dinâmica computacional permite visualizar os padrões de fluxo promotores da mistura, possibilitando o aprimoramento de geometrias, o desenvolvimento de novos misturadores e o entendimento dos padrões de fluxo que governam o processo de mistura.

Os misturadores estáticos são úteis em processos envolvendo transferência de momentos, troca térmica e transferência de massa. É geralmente reconhecido que as necessidades de energia para os

misturadores estáticos são menores do que para os misturadores dinâmicos e ainda, os misturadores estáticos são mais fáceis de se fabricar, conforme Boss e Czastkiwicz (1982) apud Fernandes (2005).

Segundo Thompson *et al* (2007), os misturadores estáticos podem ser utilizados no processo de fabricação de biodiesel por rota contínua, como uma possibilidade tecnológica para a redução dos custos de produção, tendo em vista que estes misturadores utilizam a própria energia do fluido para efetuar a mistura.

O objetivo deste trabalho é estudar a mistura de óleo de soja e etanol para a produção de biodiesel. Neste trabalho serão simulados três misturadores estáticos tipo S, para avaliar os perfis de mistura.

Metodologia

O pacote computacional comercial ANSYS CFX, versão 12.0, foi utilizado para a execução das simulações em um computador com configuração básica de processador de 4 núcleos de 2,83 GHz da Intel (Core 2 Quad) e memória RAM de 4 Gb. Realizou-se um planejamento com o objetivo de analisar a eficiência de três misturadores estáticos para a mistura de fluidos de densidade diferentes.

O misturador tipo S é composto por uma ou mais placas senoidais no interior de um tubo. Há algumas variações possíveis desse misturador. A Figura 1 ilustra os casos selecionados para este estudo.

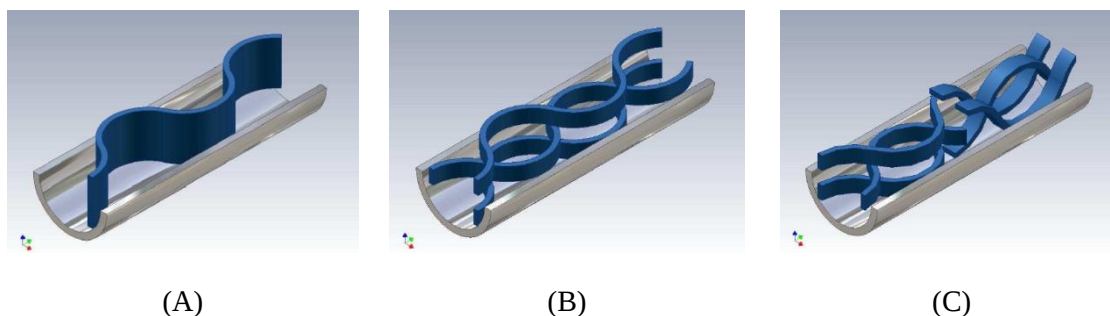


Figura 1 – Misturadores Estáticos Tipo S

Fonte: Joaquim Jr, 2008

O estudo foi realizado voltado para a produção de biodiesel. Ou seja, este misturador será utilizado para misturar álcool e óleo. Assim, a proporção será 1:3 (óleo:álcool) como mostra a Equação (1).

$$\frac{m_{\text{óleo}}}{MM_{\text{óleo}}} = 3 \cdot \frac{m_{\text{álcool}}}{MM_{\text{álcool}}} \quad (1)$$

Onde:

$m_{\text{óleo}}$: massa de óleo;

$MM_{\text{óleo}}$: massa molar do óleo;

$m_{\text{álcool}}$: massa de álcool;

$MM_{\text{álcool}}$: massa molar do álcool.

Para fins de simulação, foi utilizado como álcool, o etanol e como óleo, o óleo de soja. Os dados do etanol já são cedidos pelo banco de dados do ANSYS. Os dados do óleo de soja foram encontrados na literatura. A tabela 1 mostra as informações relevantes dessas substâncias.

Tabela 1 - Dados das Substâncias

	Óleo de Soja	Etanol
Massa Molar (g/mol)	873 ⁽¹⁾	46,07 ⁽¹⁾
Densidade (kg/m ³)	919 ⁽²⁾	789 ⁽²⁾
Viscosidade (Pa.s)	0,059	0,001197

⁽¹⁾DEMIBRAS (2002); ⁽²⁾SANTOS (2009);

Para determinar a velocidade de entrada primeiramente do óleo, foi utilizada a equação (2). Considerando o regime turbulento é atribuído $Re=3000$ e utilizando o diâmetro de entrada pode-se calcular a velocidade tangencial do óleo. A partir da velocidade, encontra-se a vazão volumétrica e a vazão mássica pela equação (3) e (4).

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2)$$

$$Q_v = V \cdot A = V \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

$$Q_m = \rho Q_v \quad (4)$$

Onde:

Re : número de Reynold;

ρ : densidade da substância;

V : velocidade tangencial;

D : diâmetro da entrada;

μ : viscosidade da substância;

Q_v : vazão volumétrica;

A : área de entrada;

Q_m : vazão mássica.

Utilizando a Equação (1) faz-se a atribuição da proporção a fim de determinar a vazão mássica do álcool e a seguir determina-se sua velocidade tangencial pela Equação (3).

Foi utilizada uma malha de estrutura tetraédrica com prismas nas paredes do domínio. Foi realizado o teste da independência da malha utilizando três malhas com níveis de refinamento crescente para cada tipo de misturador. Diz-se que há independência de malha quando os resultados obtidos com um certo grau de refinamento numérico não apresentam diferenças significativas em relação a resultados obtidos por uma malha ainda mais refinada. Dados estatísticos das malhas refinadas geradas no simulador são apresentados na Tabela 2. A Figura 2 apresenta o refino das malha.

A obtenção do refino das malhas foi devida à utilização de recursos como *inflation boundary*, que refina a malha próximo às paredes e *body spacing* que aumenta o número de elementos no corpo do misturador.

Tabela 2. Estatística das malhas

Misturador	Malha	Volumes de controle	Tetraedro	Pirâmide	Prisma	Numero Total de Elementos
A	1	11941	31496	2204	8307	42007
	2	30194	82130	3612	24173	109915
	3	77337	219604	5086	65206	289896
B	1	14556	38389	3307	9264	50960
	2	30731	91887	5065	19924	116876
	3	74512	230194	7663	53579	291436

C	1	15604	40265	3560	10252	54076
	2	31404	94009	5352	20114	119475
	3	74199	231842	7959	52133	291934

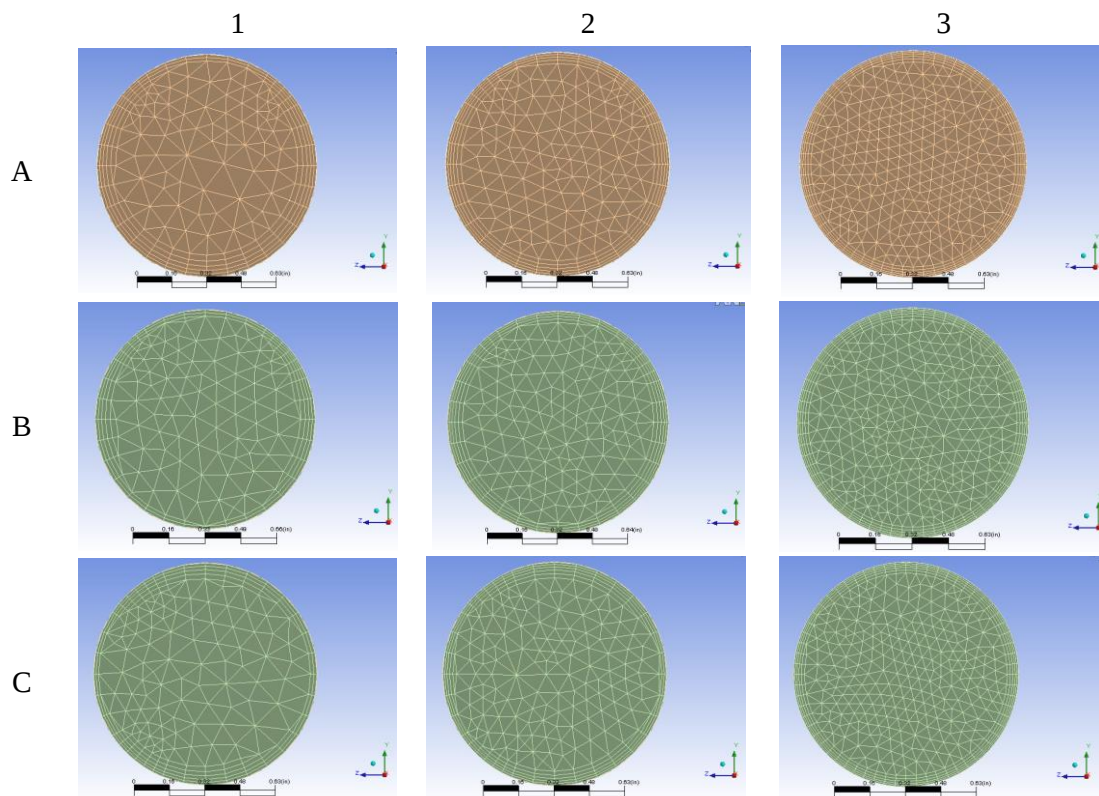


Figura 2. Desenho demonstrativo do refino das malhas

Para analisar a melhor malha, foi observado o perfil de velocidade do óleo de soja na linha central do tubo. As Figuras 3 a 5 ilustram os gráficos que representam esses dados. A partir daí pode-se observar, para as diferentes malhas testadas nos três misturadores, que as curvas dos testes 2 e 3 estão bem próximas. Optou-se, então, pela malha 2 em virtude de a mesma apresentar um menor número de elementos.

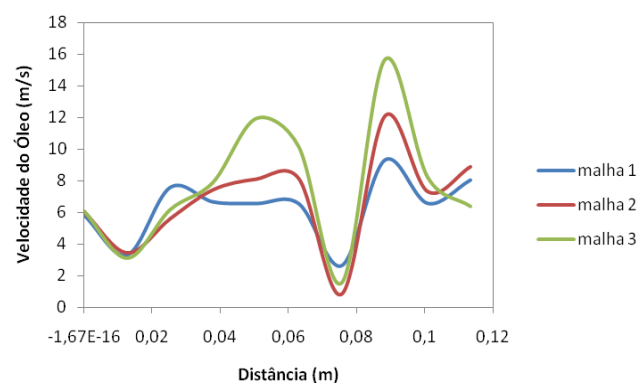


Figura 3 – Gráfico do teste de malha do misturador A

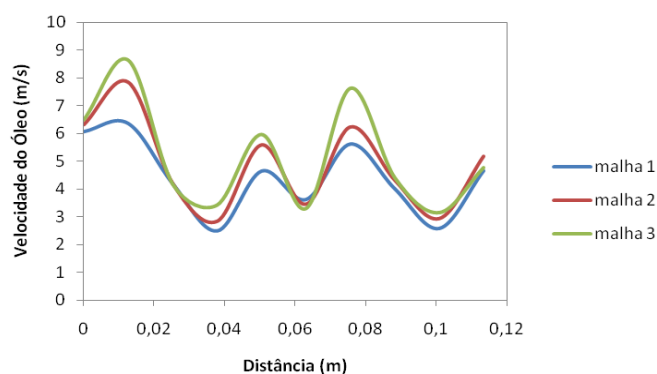


Figura 4 – Gráfico do teste de malha do misturador B

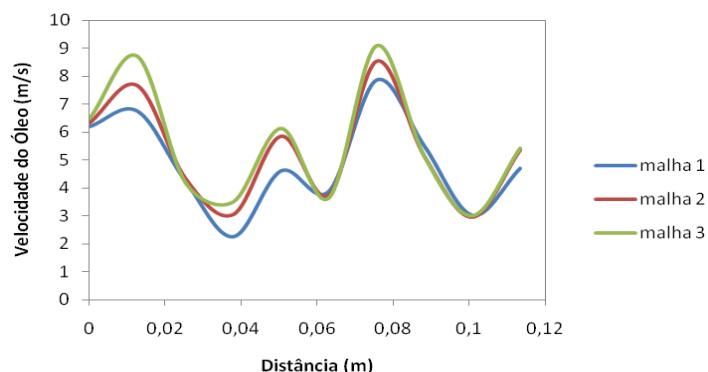


Figura 5 – Gráfico do teste de malha do misturador C

As simulações serão feitas a fim de se determinar o melhor tipo de misturador entre os selecionados. Para isso, foram realizadas simulações para cada um dos misturadores e suas respectivas malhas. Assim, todas as simulações foram feitas seguindo as mesmas condições de regime e mesmo critério de convergência para poderem ser comparadas umas com as outras. Estes dados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Condições das Simulações

Configuração	Valor
Regime	Turbulento
Modelo de Turbulência	k-epsilon
Critério de Convergência (RMS)	10^{-4}
Velocidade do Óleo (m/s)	7,58270
Velocidade do Álcool (m/s)	1,39826

Resultados e Discussão

A Figura 6 mostra o perfil de concentração do óleo de soja no corte longitudinal para os três tipos de misturadores tipo S simulados. Pode-se observar que existem regiões estagnadas próxima a parede do elemento de mistura em que o óleo de soja se concentrou. A mistura se deu devido à ação da superfície curva do elemento de mistura situado no centro do tubo, em que o fluido é defletido para um dos lados. Na Figura 6b foi observado mais regiões estagnadas comparando com as demais geometrias. Nota-se que a geometria com menos regiões estagnadas e com uma maior mistura entre o óleo e o álcool foi a obtida na Figura 6a. Em geral nessa geometria, ao longo da tubulação prevaleceu uma fração mássica de aproximadamente 75% de óleo de soja.

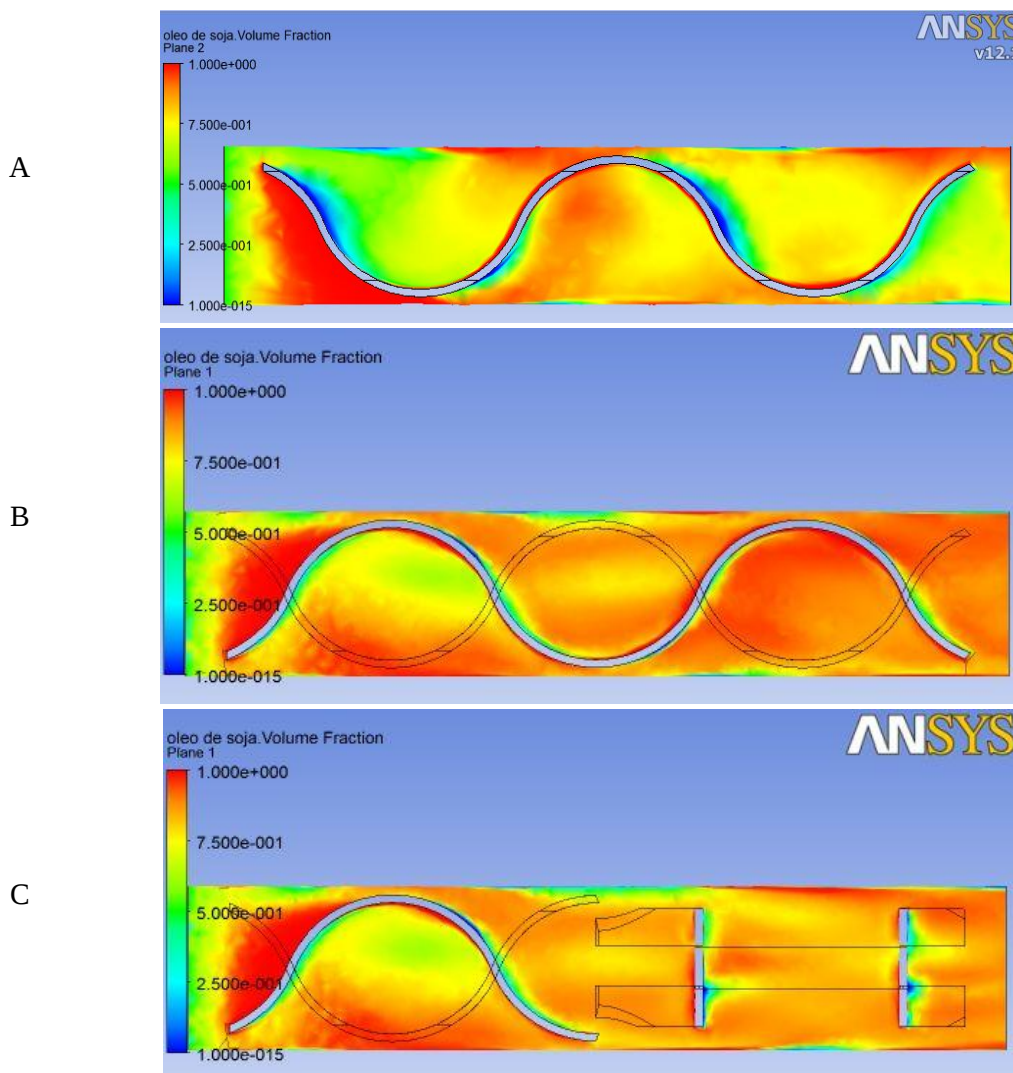
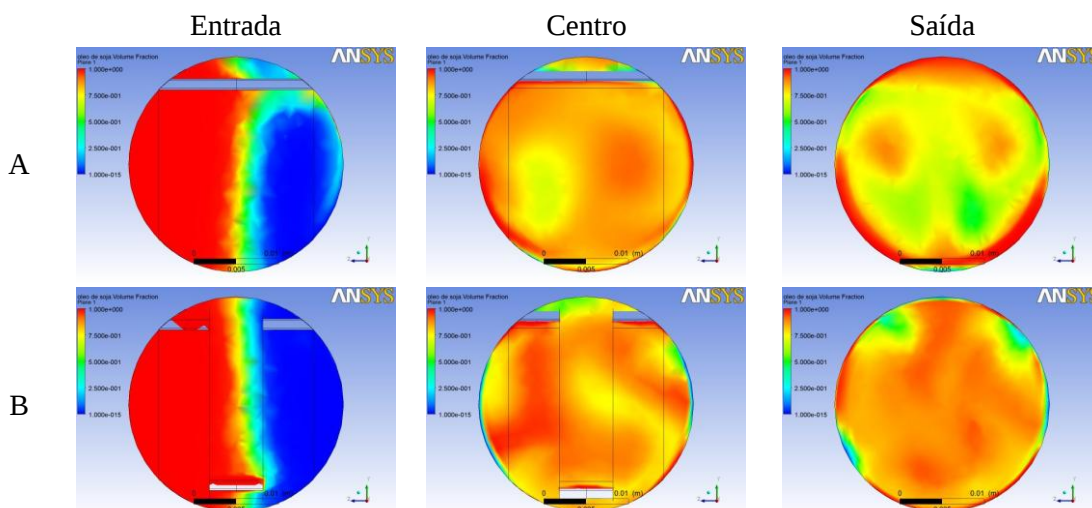


Figura 6. Perfil de concentrações do misturador estático tipo S em corte longitudinal.

A Figura 7 mostra o perfil de concentração nas seções transversais na entrada, no centro e na saída dos misturadores. Observa-se que a distribuição da fração mássica do óleo de soja vai se tornando mais uniforme com o aumento do comprimento equivalente. Nota-se na Figura 7a que na parede do misturador existe uma região estagnada de óleo de soja. Nas outras geometrias essas zonas não apareceram. Mesmo assim, a melhor geometria avaliando o perfil de concentração na seção transversal na saída da tubulação foi a encontrada na Figura 7a.



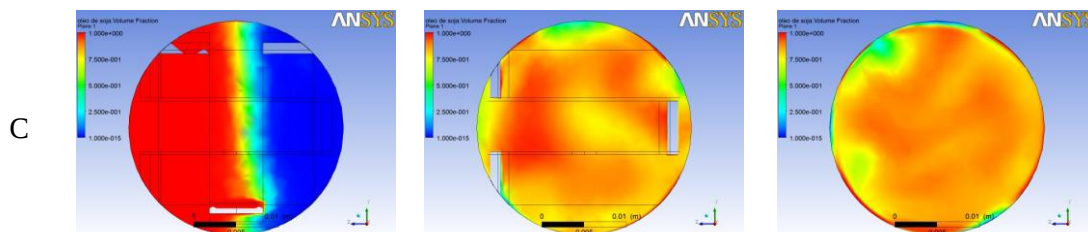


Figura 7. Perfil de concentrações do óleo de soja na seção transversal.

Conclusões

Podemos concluir que a melhor geometria de elemento de mistura foi a tipo S composto por uma placa senoidal no interior de um tubo (Figura 1a). Apesar do elemento de mistura tipo S composto por três e seis placas senoidais terem aumentado a mistura na região da parede do misturador, estes não tiveram uma boa eficiência comparada com o primeiro que ao longo da tubulação prevaleceu uma fração mássica de aproximadamente 75% de óleo de soja.

Nas três geometrias o elemento de mistura tocava nas paredes, o que justifica a presença de zonas estagnadas de óleo ao longo da tubulação. Quando o elemento de mistura não toca na parede o fluido escoava através de canais formados no interior da tubulação.

Referências Bibliográficas

- Demirbas, A. Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol, *Energy Conversion & Management*, 43, p. 2349-2356, 2002.
- Boss, J. E Czystkiwicz, W., Principles of scale-up for laminar mixing processes of Newtonian fluids in static mixers, In: *International Chemical Engineering*, 22, nº 2, pp 362-367. 1982.
- Fernandes, L.A.G., *Ensaio Experimentais com Misturadores Estáticos* Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2005.
- Fontes, C.E., SILVA, L.F.L.R., LAGE, P.L.C., RODRIGUES, R.C., *Introdução à Fluidodinâmica Computacional*, Escola Piloto Virtual da Universidade Federal do rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 2005.
- Gomez, D. A., *Análise do escoamento compressível de gás natural em espaços com restrições para elevação de petróleo*. Dissertação de Mestrado, Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, pp 35-39. 2008.
- Junior, C.F.J., *Desenvolvimento e otimização de misturador estático com o uso da fluidodinâmica computacional*, Dissertação de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2008.
- Santos, Wilson Linhares. *Produção não catalítica de biodiesel etílico em meio supercrítico contínuo com e sem solvente*. 2009.83F. Dissertação de Mestrado, programa de pós-graduação em engenharia de processos- PEP da Universidade Tiradentes – UNIT, Aracaju, Sergipe, Brasil.
- Thompson, J. C., He, B. B. Biodiesel production using static mixers. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Vol. 50. Pp. 161–165. 2007.