

Engenharias, Ciência e Tecnologia 2

**Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)**



Atena
Editora

Ano 2019

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 2 [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-085-8

DOI 10.22533/at.ed.858193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume II apresenta, em seus 15 capítulos, conhecimentos relacionados a Gestão de Resíduos relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Gestão de Recursos Naturais, Produção mais Limpa e Ecoeficiência e Gestão de Resíduos Industriais e Prevenção de Poluição.

As áreas temáticas de Gestão de Resíduos relacionadas tratam de temas relevantes para a prevenção de poluição. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Gestão de Resíduos e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO COM CARVÃO VEGETAL PARA A PURIFICAÇÃO DE BODIESEL OBTIDO A PARTIR DE ÓLEOS DE MILHO	
<i>Maria Carolina Sérgi Gomes</i>	
<i>Juliana Guerra Sgorlon</i>	
<i>Maraísa Lopes de Menezes</i>	
<i>Vassula Belinato Paiva</i>	
<i>Fernanda Nunes de Proença</i>	
<i>Mariane Borges Gheller</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8581931011	
CAPÍTULO 2	11
AVALIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO BAGAÇO DE MALTE SOBRE A ADSORÇÃO DO CORANTE DE AZUL DE METILENO UTILIZANDO COLUNA DE LEITO FIXO	
<i>Jordana Benfíca Silva</i>	
<i>Heitor Otacílio Nogueira Altino</i>	
<i>Renata Nepomuceno da Cunha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8581931012	
CAPÍTULO 3	18
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE PARTICULADO NA QUEDA DE PRESSÃO DE UM CICLONE LAPPLE	
<i>Rosilanny Soares Carvalho</i>	
<i>Daiane Ribeiro Dias</i>	
<i>João Carlos Gonçalves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8581931013	
CAPÍTULO 4	30
AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS: SEDIM 2.0	
<i>Roberta de Almeida Costa Campeão</i>	
<i>Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8581931014	
CAPÍTULO 5	38
AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE UM CICLONE ADAPTADO COM BOCAIS ATOMIZADORES DE ÁGUA PARA COLETAR MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR	
<i>Ana Elisa Achilles</i>	
<i>Vádila Giovana Guerra Béttega</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8581931015	
CAPÍTULO 6	55
DESEMPENHO DE FILTRO TIPO BOLSA PARA SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DE HERBICIDAS	
<i>Daniela Teixeira Chaves</i>	
<i>José Roberto Delalibera Finzer</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8581931016	

CAPÍTULO 7 71

DISTRIBUIÇÃO DE CHUMBO TOTAL EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EXTRAÍDAS DE SEDIMENTOS COLETADOS EM MANANCIAS COM DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA DA BACIA AMAZÔNICA

Tania Machado da Silva
Bruno Cesar Prior Rocha
Wilyane Silva Figueiredo
Luiz Fabrício Zara
Gustavo Rocha de Castro
André Henrique Rosa

DOI 10.22533/at.ed.8581931017

CAPÍTULO 8 87

ESTUDO DAS CONDIÇÕES PARA A SÍNTESE DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE ABACATE E PEROVSKITA RESIDUAL ($Ca_2Fe_2O_5$)

Rondinele Aberto dos Reis Ferreira
Juarez Hilleshein Júnior
Priscila Pereira Silva

DOI 10.22533/at.ed.8581931018

CAPÍTULO 9 102

ESTUDO DE CASO EM OBRA NA CIDADE DE MACEIÓ: PROPOSTA PARA MELHORIA NO DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Kelliany Medeiros Costa
José Leandro da Silva Duarte
Carmem Lúcia de Paiva e Silva Zanta

DOI 10.22533/at.ed.8581931019

CAPÍTULO 10 112

COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO APLICADOS EM EMULSÕES A/O MONODIPERSAS

Lucas Henrique Pagoto Deoclecio
Ana Paula Meneguelo
Daniel Cunha Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.85819310110

CAPÍTULO 11 128

POTÊNCIA NECESSÁRIA AO RALEAMENTO DA VEGETAÇÃO NO SEMIÁRIDO

Márcio Waltzer Timm
Antônio Lilles Tavares Machado
Roberto Lilles Tavares Machado
Rafael Gonçalves Tonucci

DOI 10.22533/at.ed.85819310111

CAPÍTULO 12 137

SANEAMENTO: EVOLUÇÃO DAS OBRAS DE INFRAESTRUTURA E MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA DO BAIRRO PARAVIANA EM BOA VISTA/RR

Francilene Cardoso Alves Fortes
Emerson Lopes de Amorim
Iury Costa Aragão
Thiago Barreto Tavares
Cleiton Leandro Santana
Maikon Barros de Lima

DOI 10.22533/at.ed.85819310112

CAPÍTULO 13	152
SANEAMENTO: IMPLICAÇÕES E EXECUÇÕES NAS OBRAS DE SANEAMENTO BÁSICO NO BAIRRO CINTURÃO VERDE NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA/RR	
<i>Francilene Cardoso Alves Fortes</i>	
<i>Emerson Lopes de Amorim</i>	
<i>Simone Vieira Vaz</i>	
<i>Geislani da Luz Araujo</i>	
<i>Numeriano Dantas de Medeiros</i>	
<i>Fabio Rodrigues de Jesus</i>	
DOI 10.22533/at.ed.85819310113	
CAPÍTULO 14	166
SINTONIA ÓTIMA DO CONTROLADOR PID APLICADO AO CONVERSOR CC-CC BUCK	
<i>Rhonei Patric dos Santos</i>	
<i>Lucas Sampaio Garcia</i>	
DOI 10.22533/at.ed.85819310114	
CAPÍTULO 15	178
APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO CAROÇO DE AZEITONA PARA A PRODUÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO	
<i>Luíza Silveira Cabral</i>	
<i>Manoela Silva Lima Mariotini Carotta</i>	
<i>Érica Vieira Barbosa</i>	
<i>Juliana Fusco Pachani dos Santos</i>	
<i>Ana Carla Pinheiro Lima</i>	
<i>Cristiane de Souza Siqueira Pereira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.85819310115	
SOBRE O ORGANIZADOR	189

COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO APLICADOS EM EMULSÕES A/O MONODIPERSAS

Lucas Henrique Pagoto Deoclecio

Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria do Curso Técnico em Mecânica, *Campus* São Mateus, Espírito Santo

Ana Paula Meneguelo

Universidade Federal do Espírito Santo - CEUNES, Departamento de Engenharias e Tecnologias, *Campus* São Mateus, Espírito Santo

Daniel Cunha Ribeiro

Universidade Federal do Espírito Santo - CEUNES, Departamento de Engenharias e Tecnologias, *Campus* São Mateus, Espírito Santo

RESUMO: O dimensionamento de separadores de emulsões formadas durante a exploração e produção de petróleo é importante tanto devido ao custo desses equipamentos quanto as restrições dimensionais exigidas no ambiente de exploração e produção offshore. Definir a velocidade de sedimentação das gotas, que influencia diretamente no tempo de residência necessário para a separação, em uma mistura concentrada é uma tarefa complexa. Três modelos de sedimentação foram comparados no presente trabalho, dois baseados em fatores de correção da Lei de Stokes experimentais e numérico baseado no modelo de Schiller e Naumann e no modelo Euleriano de n-fluidos. Os resultados mostraram que, para as condições analisadas, o modelo de Richardson e Zaki (1954) foi inadequado, pelo menos com

os coeficientes padrões recomendados. Os modelos de Rusche e Issa (2000) e o de Schiller e Naumann apresentaram perfis de velocidades semelhantes. Os resultados indicam que a verificação apenas visual da interface entre a fase contínua/mistura pode não ser adequada e, uma definição e padronização mais precisa desse procedimento se faz necessária. Ademais, a distribuição do tamanho médio das gotas pode ser uma informação mais relevante do que o diâmetro médio das gotas na modelagem da separação.

PALAVRAS-CHAVE: Taxa de Sedimentação, CFD, Emulsões, Arrasto.

ABSTRACT: Oil industry emulsion separators sizing is important both because their cost and space constraints required in the offshore exploration. Defining the droplets sedimentation rate, which directly influences the residence time required for separation, in a concentrated mixture is a complex task. In the present work, three sedimentation models based on a correction factor applied to the Stokes Law were compared. The first two models are the analytical models of Richardson and Zaki (1954) and Rusche and Issa (2000), which their coefficients were determined experimentally. The third model is the Schiller and Naumann drag model applied together with the numerical Eulerian n-fluid model. The results showed that,

for the analyzed conditions, the Richardson and Zaki (1954) model was inadequate, at least with the recommended standard coefficients. Rusche and Issa (2000) and Schiller and Naumann models presented similar velocity profiles. The results indicate that the only visual verification of the interface between the continuous / mixing phase may not be adequate and a more precise definition and standardization of this procedure is necessary. In addition, the mean droplet size distribution may be more relevant information than the average droplet diameter in the separation modeling.

KEYWORDS: Sedimentation Rate, CFD, Emulsions, Drag.

1 | INTRODUÇÃO

Emulsões podem ser definidas como finas dispersões de um líquido em outro líquido geralmente imiscível e que apresentam características multifásicas (SJOBLOM, 2001). Ademais, as emulsões precisam de agentes emulsionantes para inibir a coalescência e, por conseguinte, a separação das fases (SINKO, 2008). Portanto, são misturas termodinamicamente instáveis, mas cineticamente estáveis. Essas misturas são encontradas nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética, petrolífera e outras.

A produção de água em conjunto com o óleo dos reservatórios petrolíferos acarreta em vários problemas (ALI; ALQAM, 2000) como: gastos com bombeio e armazenamento de água, corrosão dos equipamentos, contaminação de catalisadores durante o refino, necessidade de aquisição de equipamentos de separação para que o óleo vendido tenha a qualidade contratada e aumento da viscosidade devido a formação de emulsões (THOMPSON; TAYLOR; GRAHAM, 1985; KILPATRICK, 2012). Muitas vezes na indústria petrolífera a palavra emulsão é utilizada para se referir a uma mistura de dois líquidos que não se separam rapidamente (WARREN, 2007). Logo, separar essas misturas é importante antes da produção ser enviada para os dutos e para a refinaria (XIA; LU; CAO, 2003).

A formação de emulsões entre o petróleo cru e a água ocorre devido às forças de cisalhamento impostas ao escoamento durante o processo produtivo (MAIA FILHO et al., 2012). A sua separação se dá em três etapas principais que são: desestabilização, coalescência e sedimentação. Desestabilização é o enfraquecimento e a ruptura do filme de emulsificantes que inibe a coalescência. Essa etapa geralmente é realizada com a adição de produtos químicos e/ou calor. Após a desestabilização, a coalescência pode ocorrer. Essa etapa consiste na junção das gotas da fase dispersa de forma a gerar novas gotas de maior tamanho. A coalescência demanda tempo e das três etapas do tratamento ela é a mais lenta. Por fim, na maioria dos casos, a separação se dá devido a diferença de densidade entre as fases. Quando a fase dispersa é mais leve a última etapa é conhecida como cremagem e quando a fase dispersa é mais pesada ela é conhecida como Sedimentação (KANG ET AL., 2012; KOKAL, 2006; WARREN, 2007; ABDEL-AAL; AGGOUR, 2003).

Via de regra, a separação inicial da produção de petróleo se dá em grandes separadores cilíndricos horizontais, os quais devem permitir que os fluidos permaneçam no seu interior por tempo suficiente para promover a separação e originar fluxos distintos de óleo e água na sua saída (JAWORSKI; MENG, 2009). Assim, quanto maior o separador, maior o seu tempo de residência. Contudo, quanto maior os separadores, maior o seu custo. Além disso, quando se tratando de separadores offshore, os mesmos também apresentam restrições de tamanho devido as limitações de espaço nas plataformas e da pressão no leito marinho (FRISING et al., 2008; LAVENSON, et al., 2016). Outro ponto é que devido as leis ambientais, cada vez mais rigorosas, o processo de separação deve ser tornar cada vez mais eficiente (FRISING et al., 2008).

Até recentemente o tempo de residência era determinado em função da velocidade terminal de uma esfera rígida dada pela Lei de Stokes, Equação 1 (FRISING et al., 2006).

$$V_{ST} = \frac{gd^2(\rho_d - \rho_c)}{18\mu_c} \quad (1)$$

A lei de Stokes é aplicada para escoamentos com número de Reynolds menores do que 1, nos quais as forças de inércia podem ser desprezadas. Fica evidente por meio da Equação 1 que a velocidade terminal aumenta com quadrado do diâmetro das gotas. Logo, após a coalescência, as gotas sedimentarão mais rápido. Outro fator importante também é a viscosidade da fase continua. Quanto menor for essa viscosidade, mais rápida a sedimentação e maiores as chances de colisão e coalescência das gotas, acelerando assim o processo de separação. Em geral, a viscosidade da fase continua é controlada pela sua temperatura (FRISING et al., 2008; SOUZA et al., 2015).

Hadamard (1911) e Rybczynski (1911) (apud SOUZA et al., 2015; FRISING et al., 2008) propuseram um fator de correção à velocidade de sedimentação de Stokes quando a fase dispersa é fluida. Na ausência de surfactantes, a recirculação induzida pelas forças viscosas no interior das gotas diminuirá a força de arrasto. O modelo Hadamard-Rybczynski é dado pela Equação 2.

$$V_{HR} = \frac{gd^2(\rho_d - \rho_c)}{18\mu_c} \times \frac{\mu_c + \mu_d}{\mu_c \frac{2}{3} + \mu_d} \quad (2)$$

O cálculo da taxa de sedimentação, ou da velocidade terminal das partículas, em uma mistura real é complexo, pois, vários fatores extras aos considerados na equação de Stokes influenciam no processo de separação. Um dos principais fatores é a concentração da mistura, uma vez que uma partícula pode interferir e dificultar a sedimentação das outras. Outro ponto importante é que o movimento de sedimentação

desloca a fase contínua na direção oposta e faz com que a velocidade relativa entre as fases seja maior que a velocidade terminal prevista por Stokes, mudando assim a força de arrasto (MCCABE, SMITH E HARRIOTT, 2005). Além disso, uma mudança na força de empuxo deve ser levada em conta devido aos efeitos da densidade da mistura (RUSCHE; ISSA, 2000).

Dessa forma, vários autores e pesquisadores formularam equações analíticas e experimentais visando prever a velocidade de sedimentação da fase dispersa. A maioria desses modelos tenta aplicar um fator de correção a velocidade terminal de Stokes ou ao seu coeficiente de arrasto (RUSCHE; ISSA, 2000). Contudo, a aplicação desses modelos também apresenta limitações.

No presente trabalho é apresentado uma introdução aos modelos de sedimentação propostos por Richardson e Zaki (1954), e de Rusche e Issa (2000). Em seguida, uma comparação entre os dois modelos experimentais e um modelo numérico baseado na força de arrasto de Schiller Naumann e no modelo multifásico de dois fluidos para a sedimentação de partículas líquidas foi realizado. O modelo numérico atual não considera efeitos como a floculação, aglomeração e deformação das gotas que podem ocorrer em um experimento físico. Dessa forma, a análise efetuada teve o objetivo de verificar os fundamentos da sedimentação em um ambiente controlado e não em um ambiente real encontrado na indústria petrolífera.

2 | MODELOS DE SEDIMENTAÇÃO

Visando prever a taxa de sedimentação de sólidos em fluidos, Richardson e Zaki (1954) propuseram um modelo empírico no qual a velocidade terminal da fase dispersa é proporcional a velocidade terminal obtida pela equação de Stokes multiplicada por um fator que depende da concentração da fase dispersa (ϕ) e de um fator (n) dependente do Número de Reynolds, conforme a Equação 3 e Tabela 1 (SEADER, HENLEY E ROPER, 2010):

$$V_{RZ} = V_{ST}(1 - \phi)^n \quad (3)$$

<i>Re</i>	<i>n</i>
< 0,5	4,65
0,5 ≤ <i>Re</i> ≤ 1300	4,374 x <i>Re</i> – 0,0875
<i>Re</i> ≥ 1300	2,33

Tabela 1 – Coeficiente *n* de Zaki e Richardson em função do Número de Reynolds.

Fonte: Seader, Henley e Roper, 2010.

Quando aplicada em emulsões, uma mistura de dois líquidos, a equação acima não representa de maneira adequada o que ocorre prática, pois, as gotas devem permanecer esféricas, os fenômenos interfaciais devido a adsorção de surfactantes

não são levados em conta, as gotas de líquidos nunca compõem uma mistura perfeitamente monodispersa e floculação e aglomeração entre as gotas podem ocorrer. Os mecanismos de sedimentação das gotas de uma fase dispersa não são universais, pois os mesmos dependem das características físico-químicas das gotas (FRISING et al., 2008; SOUZA et al., 2015).

Em seu trabalho, Hartland e Jeelani (1988) assumiram que não haveria coalescência na zona de sedimentação, uma vez que o diâmetro das gotas era relativamente grande, o que ocasionou uma velocidade de sedimentação muito mais rápida do que a velocidade de coalescência. Nessa condição, segundo os autores, o perfil de velocidade da interface entre a fase contínua/mistura é constante até que a sedimentação acabe e a mistura seja formada apenas pela zona compactada. Nesse caso, a fração volumétrica na zona de sedimentação é constante e igual a fração volumétrica inicial da emulsão em uma separação em batelada. A velocidade com que a interface da fase contínua limpa se movimenta é igual a velocidade de sedimentação das gotas, e a velocidade relativa entre as gotas e a fase contínua é igual a . A frente de sedimentação é claramente visível quando o tamanho das gotas tende a uma distribuição monodispersa ou quando a concentração da fase dispersa ultrapassa um certo valor que depende da mistura em questão (NADIV; SEMIAT, 1995). Um exemplo são resultados encontrados por Abeynaike e outros (2012) para a separação de biodiesel e glicerina e apresentados nas Figuras 1 e 2. Na Figura 1 é possível observar que para 50% de glicerol como fase dispersa a interface diesel/mistura é claramente visível, enquanto que para 20% de glicerol, há um gradiente de concentração e a interface não é claramente visível. Além da concentração, o aparecimento desse gradiente também depende da distribuição do tamanho de gotas, que pode ser observado na Figura 2.

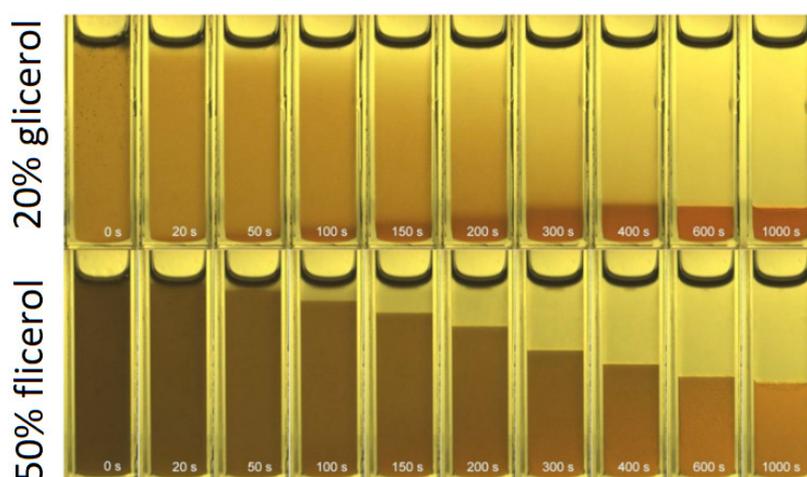


Figura 1 – Vídeo imagens da separação de glicerol e biodiesel para as concentrações de 20% e 50% em função do tempo.

Fonte: Abeynaike e outros (2012).

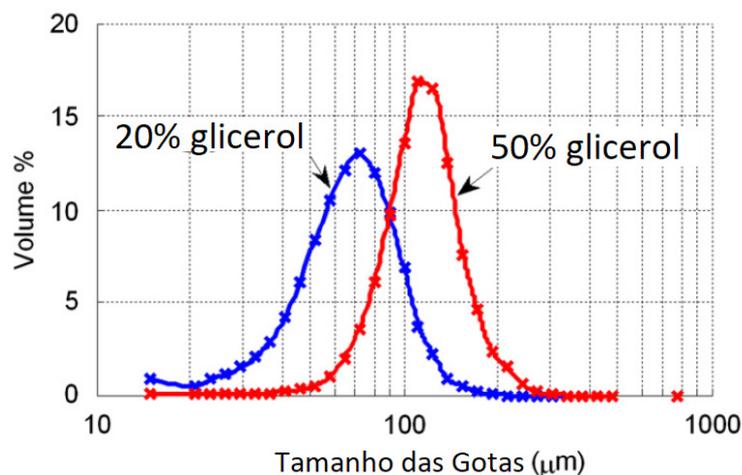


Figura 2 – Distribuição do tamanho de gotas de glicerol obtidas por Abeynaike e outros (2012).

Frising e outros (2008) utilizaram em seu estudo experimental uma alta concentração de surfactante suficiente para inibir a coalescência entre as gotas de água e a fase oleosa continua com o objetivo de avaliar a influência da sedimentação e da coalescência separadamente. Os autores observaram que na sedimentação (sem coalescência) apenas a velocidade de sedimentação era aproximadamente constante. Além disso, mostraram que para diferentes concentrações de água ela pode ser modelada com a correlação de Richardson e Zaki, contudo, um fator exponencial () igual a 6 precisou ser empregado.

Souza e outros (2015) também modelaram seus resultados experimentais de sedimentação de forma satisfatória com a correlação de Richardson e Zaki. Entretanto, com fatores diferentes e fora dos limites estabelecidos pela correlação e sem utilizar a velocidade terminal de sedimentação da Lei de Stokes como base. Embora a velocidade de sedimentação dificilmente seja prevista com precisão por esse modelo, o comportamento do perfil constante de velocidade de sedimentação encontrado pelos autores seguiu o modelo clássico. Os autores apresentaram diâmetros médios das gotas no início e no final dos experimentos. Os resultados mostraram que houve uma diminuição do diâmetro médio devido à mistura ser polidispersa e as gotas maiores sedimentarem mais rápido. Além disso, imagens microscópicas das emulsões revelaram que muitas gotas se deformaram devido aos efeitos dos surfactantes, floculação e aglomeração. A zona de sedimentação foi considerada como a zona linear na curva da posição da interface pelo tempo.

Assim, segundo Panjwani e outros (2015), o modelo de Richardson e Zaki (1954), que é amplamente utilizado, não é capaz de prever a velocidade de sedimentação de emulsões com os coeficientes padrões. Uma possível razão para isso é que o modelo de Richardson e Zaki foi inicialmente proposto para a sedimentação de sólidos. Dessa forma, os autores utilizaram um modelo alternativo, o de Rusche e Issa (2000). Rusche e Issa aplicam em seu modelo um fator de correção, λ , ao coeficiente de arrasto de sedimentação de uma única esfera, λ , que resulta na velocidade terminal de Stokes.

Embora esse fator de correção também deva ser função do número de Arquimedes e do número Reynolds, por simplicidade, os autores o determinaram inicialmente apenas em função da fração volumétrica da fase dispersa. As funções obtidas para a elaboração do modelo e as suas constantes foram baseadas no ajuste de dados experimentais, conforme a Equação 4:

$$f = \exp(K_1 \Phi) + \Phi^{K_2} \quad (4)$$

Para a separação de dois líquidos, K_1 é igual a 2,10 e K_2 é igual 0,249.

3 | ABORDAGEM NUMÉRICA

As simulações foram realizadas no software Fluent utilizando o modelo multifásico Euleriano Implícito com o modelo de arrasto de Schiller e Naumann. A condição inicial para as simulações foi estabelecida como uma mistura uniforme monodispersa com velocidade igual a zero em todas as regiões. A geometria empregada foi a de um separador em 2D feita em CAD de 150mm de altura por 30mm de largura. Após o teste de malha, a malha emprega, após verificação do teste de malha, continha 1216 nós. As dimensões da geometria foram baseadas em experimentos na literatura (colocar um autor).

4 | DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Para comparar os modelos as seguintes propriedades das fases foram determinadas, conforme exposto na Tabela 2:

Variáveis	Fase Contínua	Fase Dispersa
Fluido	Diesel	Água
Massa Específica	730 kg/m ³	998,2 kg/m ³
Viscosidade	0,0024 Pa.s	0,001 Pa.s
Diâmetro	-	50 e 20 μm

Tabela 2 – Propriedades das fases.

As frações volumétricas da fase dispersa comparadas foram de 5%, 10%, 20%, 30% e 40%.

A velocidade da interface entre a fase contínua limpa, no caso o óleo, e a mistura é obtida experimentalmente por meio de medições de sua posição em intervalos de tempo definidos. Se a mistura tende a ser polidispersa, essa interface tende a ser menos distinguível a olho nu, pois um gradiente de concentração é formado. A falta de uma definição do que seria a interface faz com que a análise de sua posição seja, na

maioria dos casos, feita apenas visualmente. Dessa maneira, para efetuar a análise do modelo numérico, foram definidas duas posições de interface, a primeira com fração volumétrica da fase contínua igual a 96% e a segunda igual a 99%.

5 | RESULTADOS

Para as condições estabelecidas a velocidade terminal de uma gota dada pela Equação 1 é apresentada na Tabela 3:

Modelo	Velocidade [mm/s]	
	50 μ m	20 μ m
V_S	0,152	0,024
V_{HR}	0,224	0,036

Tabela 3 – Velocidades terminas de uma única gota esférica e

Devido as interferências das gotículas umas nas outras e o fluxo ascendente da fase continua sendo deslocada pela fase dispersa, a velocidade de sedimentação dada pela Lei de Stokes sobrestima a velocidade de sedimentação real. Para determinar a velocidade de sedimentação prevista por Richardson e Zaki, , o número de Reynolds deve ser estimado. Para tal, foi utilizado para determinar Re_0 e, conseqüentemente, o valor do fator n segundo a Tabela 1. Para os diâmetros de 50 μ m e 20 μ m, é igual a $2,3 \times 10^{-3}$ e $1,46 \times 10^{-4}$, respectivamente. Logo, ambos os valores de são menores que 0,5 e o valor de igual a 4,65 foi utilizado.

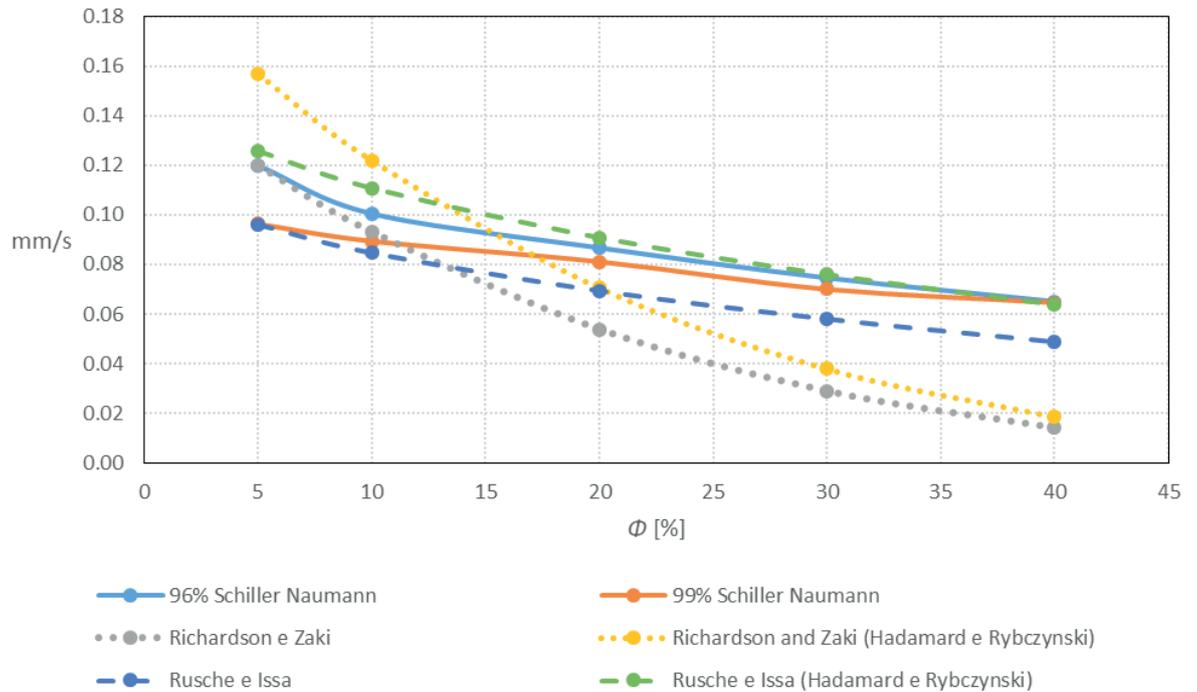
Aplicação do modelo de Rusche e Issa não é tão direta quanto a do modelo de Richardson e Zaki (1954). O fator f é multiplicado pelo coeficiente de arrasto de uma única esfera, , dado pela Lei de Stokes e igual a $24/Re_0$. Logo, o coeficiente de arrasto para as gotículas da dispersão pode ser obtido pela Equação 5.

$$C_D = fC_{D_o} \quad (5)$$

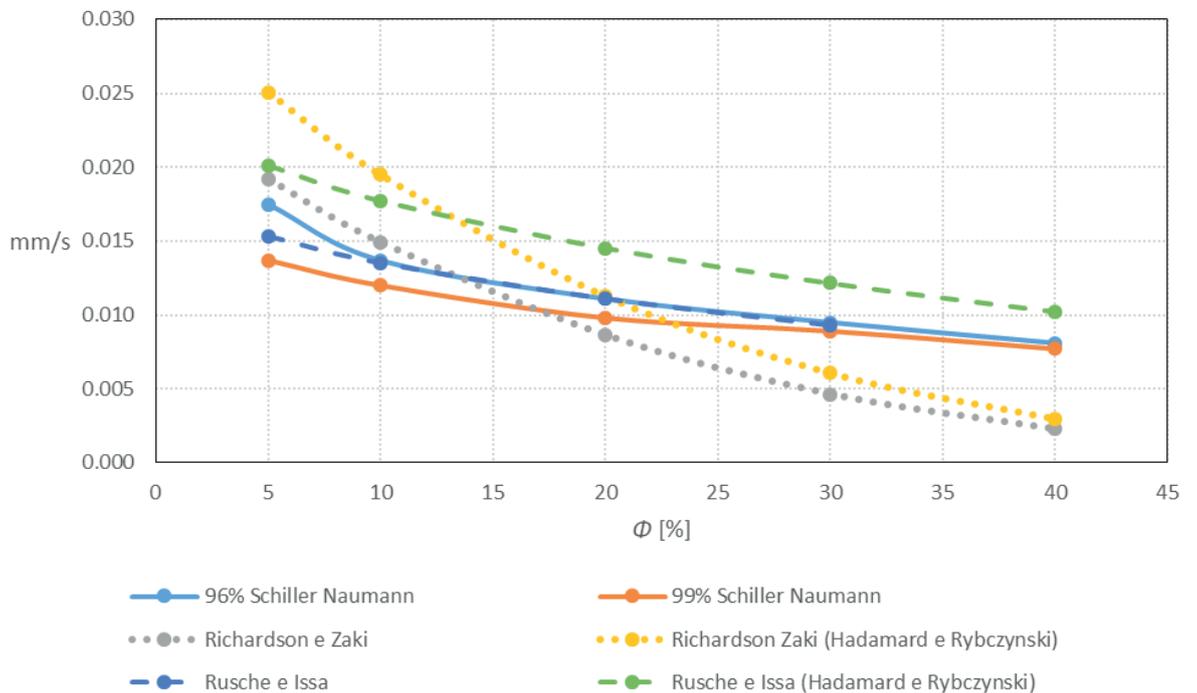
Onde f é dado pela Equação 4. Dessa forma, a velocidade de sedimentação das gotículas dispersas, , é dada pela Equação 6.

$$V_{RI} = \frac{\mu_c Re_0}{f \rho_c d} \quad (6)$$

Assim, V_{RZ} , Equação 2, e V_{RI} , Equação 6, estão em função de V_S , ϕ e d . As velocidades de sedimentação, em milímetros por segundo, dos modelos experimentais e do modelo computacional para partículas com diâmetros de 50 e 20 μ m são exibidas nas Figuras 3 e 4.



Figuras 3 – Velocidades de Sedimentação para os modelos de Schiller e Naumann, Richardson e Zaki, e Rusche e Issa com diâmetro de 50 µm.



Figuras 4 – Velocidades de Sedimentação para os modelos de Schiller e Naumann, Richardson e Zaki, e Rusche e Issa com diâmetro de 20 µm.

Corroborando com os resultados de Frising e outros (2008), Souza e outros (2015) e a afirmação de Panjwani e outros (2015), o modelo de Richardson e Zaki apresentou velocidades sedimentação da mesma ordem que os modelos de Rusche e Issa e de Schiller Naumann, contudo a variação da velocidade com a variação da

fração volumétrica da fase dispersa não se mostrou não foi semelhante ao obtidos nos outros dois modelos. Essa diferença se acentua com o aumento da fração volumétrica da fase dispersa. Logo, o modelo de Richardson e Zaki pode não ser o mais adequado dos modelos analisados para modelar a separação de emulsões, pelo menos não com os coeficientes padrões recomendados. Uma razão para isso é que o modelo da Equação 3 foi inicialmente proposto para a sedimentação de sólidos e não de líquidos.

Os resultados indicam uma concordância entre o modelo de Rusche e Issa e o modelo numérico de Schiller Naumann para todas as frações volumétricas avaliadas, especialmente para a sedimentação de gotas com diâmetro de 50 μm com a velocidade de Stokes corrigida pela equação de Hadamard e Rybczynski e para as gotas com diâmetros de 20 μm com arrasto baseado na Lei de Stokes. Uma possível razão para as diferenças na aplicação da Lei de Stokes (Equação 1) e o modelo de correção de Hadamard e Rybczynski (Equação 2) é que as gotas maiores estejam mais suscetíveis a circulação interna. O fator de correção de Hadamard e Rybczynski tende a 1 quando a fase dispersa é um sólido e ao infinito quando a fase contínua é um líquido com elevada viscosidade e a fase dispersa é um gás.

O efeito da circulação interna é significativo, resultando em uma diferença na velocidade de sedimentação da ordem de 25% para os casos analisados segundo os modelos experimentais. Isso que pode ser observado comparando as velocidades com e sem aplicação do fator de correção de Hadamard e Rybczynski (Figuras 1 e 2).

A definição da interface entre a fase contínua/mistura também se mostrou ser importante. Como pode ser visto nas Figuras 3 e 4, quanto menor a fração volumétrica, mais distantes são os valores das velocidades das interfaces de 96% e 99%. Com a fração inicial de água igual a 5%, a diferença entre as velocidades está na faixa de 20% para ambos os diâmetros. Portanto, experimentos reais, polidispersos, necessitam de um procedimento mais preciso para definir a posição da interface do que apenas a análise visual. Isso se intensifica devido ao fato das gotas maiores sedimentarem mais rapidamente e a velocidade da interface visível, ou parcialmente visível (embaçada) pode na verdade representar a velocidade de sedimentação das gotas menores e não a do tamanho médio das gotas. Logo, analisando a sedimentação, os resultados indicam que o conhecimento da distribuição é mais importante do que o diâmetro médio em uma emulsão real. A diferença das velocidades das interfaces ao longo do tempo está de acordo com dados experimentais de Noik, Palermo e Dalmazzone (2013), como pode ser visto nas Figuras 5 e 6. Na Figura 5, as diferentes linhas representam concentrações de óleo e água diferentes. É possível observar que quanto maior a concentração de óleo, mais lenta é a velocidade da interface.

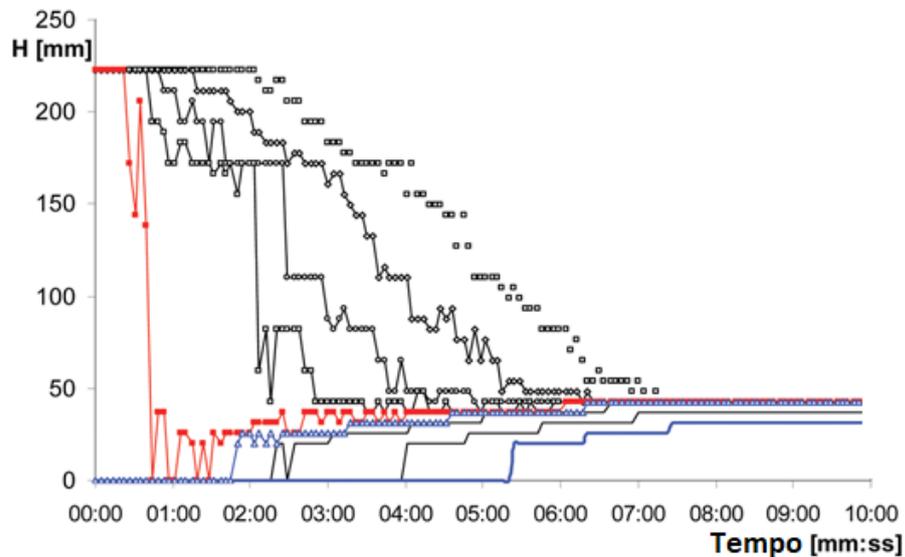


Figura 5- Evolução das interfaces com diferentes concentrações de óleo e água para uma mistura com 30% de água em um experimento realizado por Noik ,Palermo e Dalmazzone (2013).

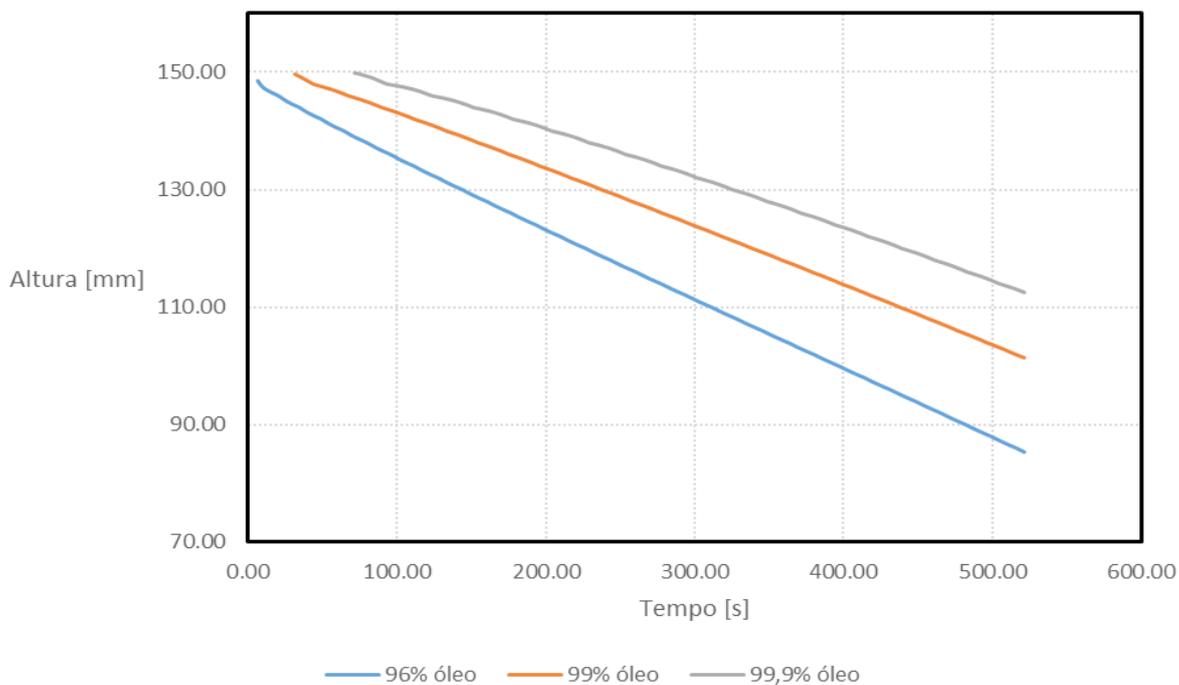


Figura 6- Posição das interfaces de 96%, 99% e 99,9% para a simulação numérica 5% de água e diâmetro de 50 µm.

As Figuras 7 e 8 apresentam as velocidades de sedimentação para os diâmetros de 50 e 20 µm com a adição das interfaces de 99,9% e 85%, respectivamente. Os resultados seguem o mesmo padrão de convergência das velocidades de sedimentação com o aumento de. Um possível causa da variação da velocidade com seja a interação entre as gotas. Quando maior a fração de água, maior a interferência e, conseqüentemente, a restrição dos movimentos, assim, todas as gotas tendem a sedimentar de forma mais uniforme.

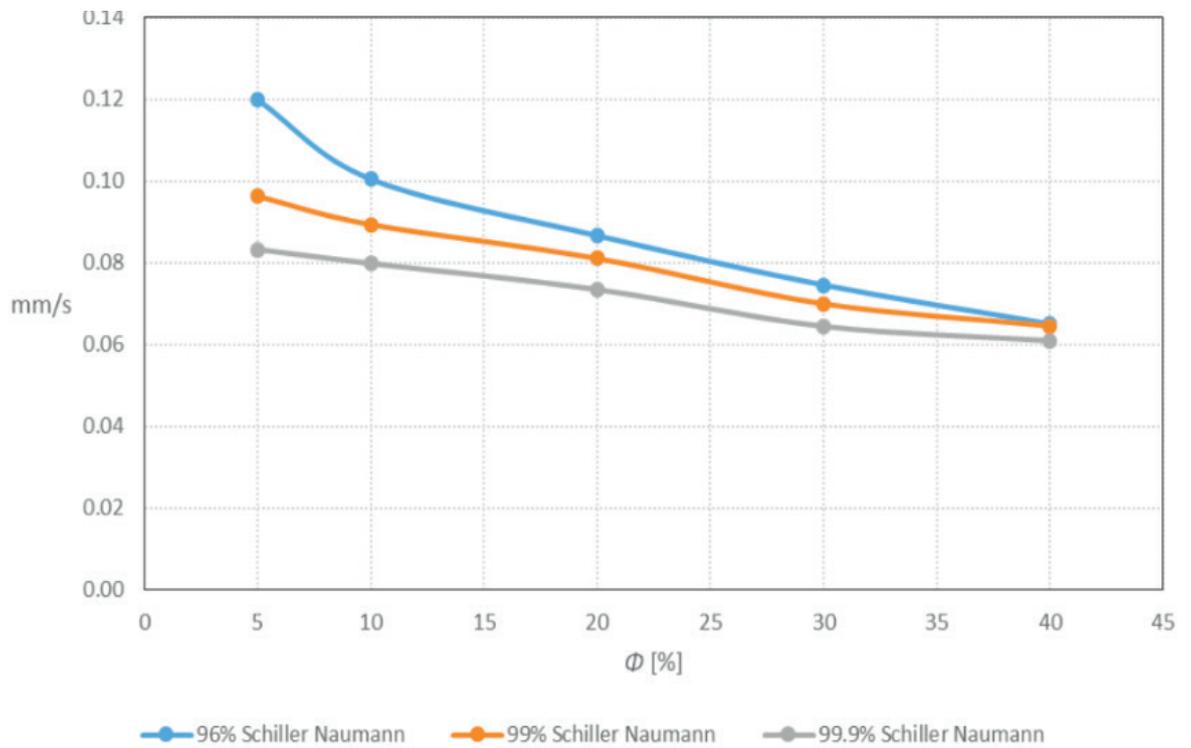


Figura 7 – Velocidades de Sedimentação empregando o modelo de Schiller e Naumann com diâmetro de 50 μm para diferentes interfaces.

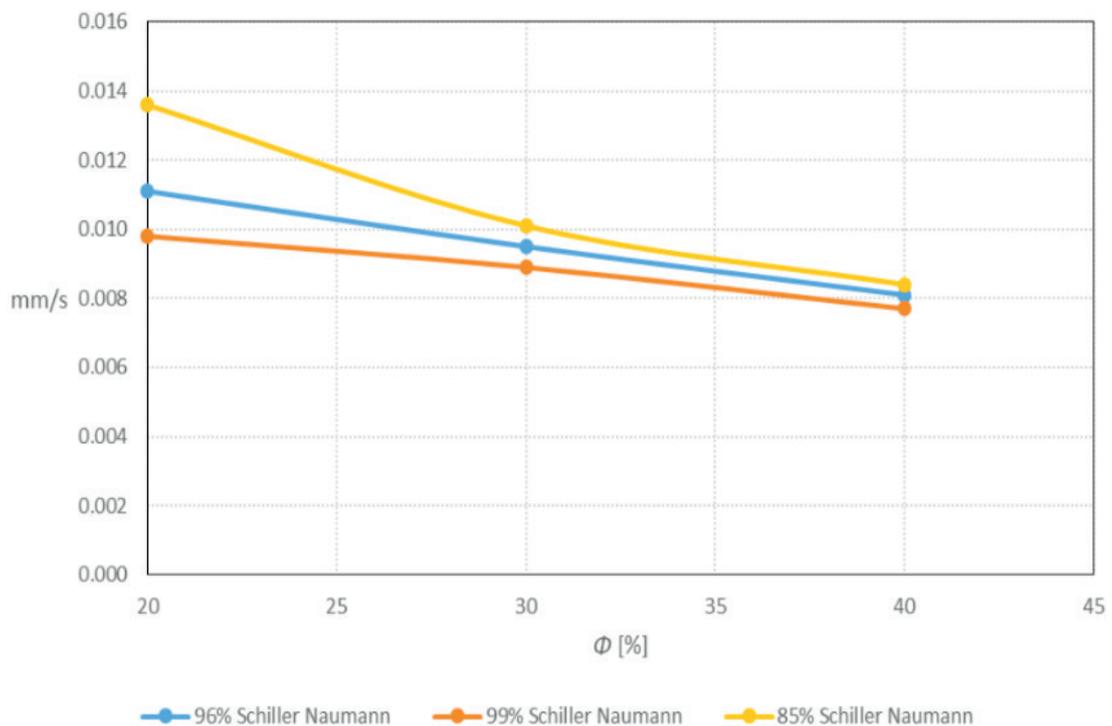


Figura 8 – Velocidades de Sedimentação utilizando o modelo de Schiller e Naumann com diâmetro de 20 μm para diferentes interfaces.

Na Figura 9 é apresentado o gradiente de distribuição da fração volumétrica da fase dispersa para o diâmetro de 50μm e igual a 5% e 40%. As marcas representam as posições das interfaces de 96% e 99%. É possível observar que o gradiente de concentração é maior na parte superior do separador e uniforme na região central.

Assim, quanto maior o valor de, menor é o gradiente de concentração entre a região intermediária uniforme e a região superior com óleo puro, e concordância com o resultados experimentais obtidos por Abeynaike e outros (2012) na apresentados na Figura 1.

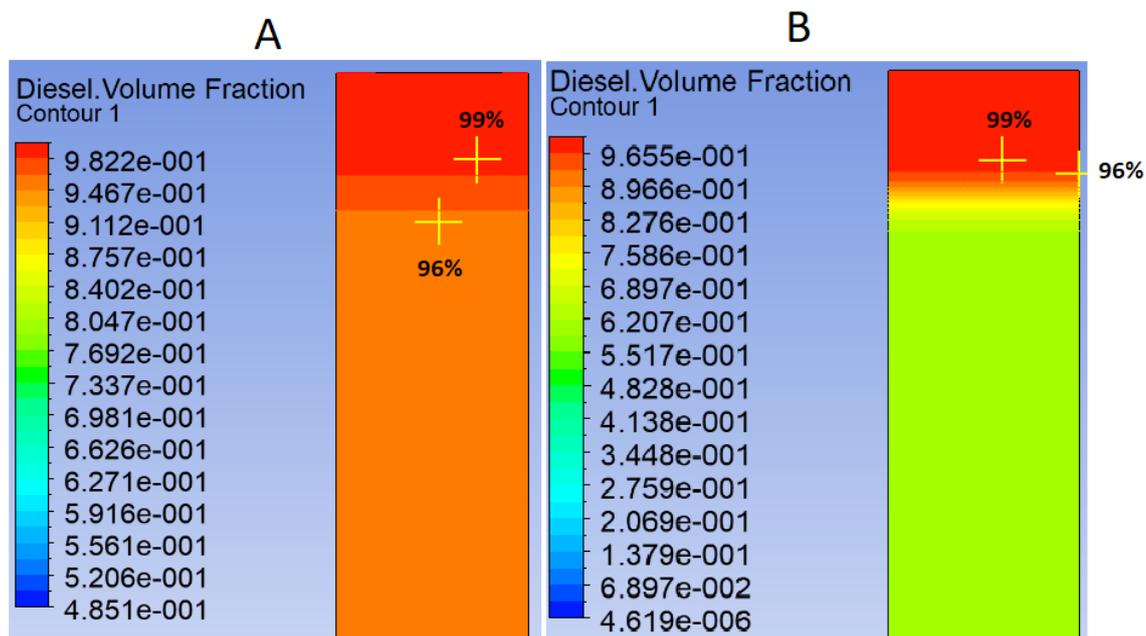


Figura 9 – Variação do gradiente de concentração da fase dispersa com igual a 5% (A) e 40% (B).

Vale também ressaltar que o modelo numérico não leva em conta a aglomeração e a floculação das gotas. Logo, mesmo que não haja coalescência em um experimento de sedimentação real, a floculação e a deformação das gotas, devido a ação de agentes surfactantes, deverão influenciar nos resultados. Isso faz com que o agregado de gotas se comporte como uma gota maior, porosa e irregular, tornando ainda mais complexa a modelagem de sua velocidade de sedimentação.

6 | CONCLUSÕES

Prever a velocidade de sedimentação das gotículas em uma emulsão é importante para a avaliação do tempo de residência de separadores de óleo e água utilizados na indústria petrolífera.

Contudo, em uma mistura concentrada efeitos como o fluxo ascendente da fase contínua, a interferência de uma gota na outra e a circulação do interior das mesmas fazem a análise de separação de emulsões complexa.

Muitos trabalhos experimentais publicados na literatura indicam apenas o diâmetro médio das gotas. Porém, com base nos resultados obtidos no presente trabalho e no trabalho de Souza e outros (2015) é possível perceber que o diâmetro médio das gotas pode não ser o mais adequado para a análise da sedimentação, uma vez que uma emulsão real não será perfeitamente monodispersa e que as gotas

maiores sedimentarão mais rápido. Assim, a interface verificada visualmente pode na verdade representar a velocidade das gotas menores e não do tamanho médio das gotas.

É possível observar também uma convergência entre as velocidades de sedimentação com o aumento de Φ . Essa convergência provavelmente é causada pelo aumento das interferências das gotas umas nas outras, o que dificulta e uniformiza a sedimentação.

NOMENCLATURA

- Φ Fração Volumétrica da Fase Dispersa;
- μ_c Viscosidade Absoluta da Fase Continua [Pa.s];
- μ_d Viscosidade Absoluta da Fase Dispersa [Pa.s];
- r_c Massa específica da fase continua [kg/m³];
- r_d Massa específica da fase dispersa [kg/m³];
- c_d Coeficiente de Arrasto das Gotas em uma Mistura;
- c_{d0} Coeficiente de Arrasto de uma Única Gotas;
- d Diâmetro de uma gota [m];
- f Coeficiente de Correção de Rusche e Issa;
- g Aceleração da Gravidade [m/s²];
- K_1 Constante do Modelo Rusche e Issa;
- K_2 Constante do Modelo Rusche e Issa;
- n Constante do modelo de Richardson e Zaki em Função do Número de Reynolds;
- Re Número de Reynolds da Sedimentação da Dispersão;
- Re_0 Número de Reynolds de uma única Esfera Sedimentando;
- V_{R1} Velocidade Terminal de Sedimentação Segundo o Modelo de Hadamard - Rybczynski [m/s];
- V_{R2} Velocidade Terminal de Sedimentação Segundo o Modelo de Rusche e Issa [m/s];
- V_{R3} Velocidade Terminal de Sedimentação Segundo o Modelo de Richardson e Zaki [m/s];
- V_s Velocidade de Sedimentação das Gotas [m/s];
- V_{s0} Velocidade Terminal de Sedimentação Segundo a Lei de Stokes [m/s];

REFERÊNCIAS

ABDEL—ALL, H. K.; AGGOUR, M.; FAHIM, M. A. **Petroleum and Gas Field Processing**. Marcel Dekker INC, New York, 2003.

ABEYNAIKE, A. et al. **The experimental measurement and modelling of sedimentation and creaming for glycerol/biodiesel droplet dispersions**, *Chemical Engineering Science*, v. 79, p. 125-137, 2012.

ALI, M. F.; ALQAM, M. H. **The role of asphaltenes, resins and other solids in the stabilization of water in oil emulsions and its effects on oil production in Saudi oil field**, *Fuel*, v. 79, n. 11, p. 1309-1316, 2000.

FRISING, T., et al. **The Liquid/Liquid Sedimentation Process: From Droplet Coalescence to Technologically Enhanced Water/Oil Emulsion Gravity Separators: A Review**, *Journal of Dispersion Science and Technology*, v. 27, p. 1035–1057, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01932690600767098>.

FRISING, T. et al. **Contribution of the sedimentation and coalescence mechanisms to the separation of concentrated water-in-oil emulsions**, *Journal of Dispersion Science and Technology*, v. 29, n. 6, p. 827–834, 2008. ISSN: 0193-2691 (print)/1532-2351 (online), DOI: 10.1080/01932690701781501.

HARTLAND, S.; JEELANI, S; A. K. **Prediction of sedimentation and coalescence profiles in a decaying batch dispersion**, *Chemical Engineering Science*, v. 43, n. 9, p. 2421-2429, 1988.

JAWORSKI, A. J.; GUANGTIAN, M. **On-line measurement of separation dynamics in primary gas/oil/water separators: Challenges and technical solutions—A review**, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 69, p. 47-59, 2009.

KANG, W. et al. **Flocculation, coalescence and migration of dispersed phase droplets and oil-water separation in heavy oil emulsion**, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 81, p. 177-181, 2012.

KILPATRICK, P. K.. **Water-in-crude oil emulsion stabilization: Review and unanswered questions**. *Energy and Fuels*, v. 26, n. 7, p. 4017–4026, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2012.11.006>.

KOKAL, S. L. Crude Oil Emulsions, In: FANCHI, J. R. **Petroleum Engineering Handbook: General Engineering**, v. 1, Society of Petroleum Engineers, 2006.

LAVENSON, D. M. et al. **Gas evolution rates: A critical uncertainty in challenged gas-liquid separations**, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 147, p. 816-828, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2016.10.005>.

MAIA FILHO, D. C. et al. **Aging of water-in-crude oil emulsions: Effect on rheological parameters**, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 405, p. 73-78, 2012.

MCCABE; SMITH; HARRIOTT. **Unit Operations of Chemical Engineering**, Ed 7 ed. McGraw-Hill. NU, USA, 2005.

NADIV, C.; SEMIAT, R. **Batch Settling of Liquid-Liquid Dispersion**, *Ind. Eng. Chem. Res.*, v. 34, p. 2427-2435, 1995.

NOIK, C.; PALERMO, T; DALMAZZONE, C. **Modeling of Liquid/Liquid Phase Separation: Application to Petroleum Emulsion**, *Journal of Dispersion Science and Technology*, v. 34, p. 1029–1042, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01932691.2012.735929>.

PANJWANI, B. et al., **Dense Packed Layer Modeling in Oil-Water Dispersions: Model Description, Experimental Verification, and Code Demonstration**, *Journal of Dispersion Science and Technology*, v. 36, p. 1527-1537, 2015.

RICHARDSON J. F.; ZAKI W. N. **SEDIMENTATION AND FLUIDISATION: PART I**, Institution of

Chemical Engineers, v. 32, p. S82-S100, 1954.

RUSCHE, H; ISSA, R. I. **The Effect of Voidage on the Drag Force on Particles, Droplets and Bubbles in Dispersed Two-Phase Flow**, Exhibition Road, London SW7 2BX, 2000.

SEADER, J. D.; HENLEY, E. J.; ROPER, D. K. **Separation Process Principles: Chemical and Biochemical Operations**. Ed 3, ed. John Wiley & Sons, Inc., USA, 2010.

SINKO, P. J. **Físico-farmácia e ciência farmacêuticas**, Ed 5, Artmed, São Paulo, 2008. ISBN 978-85-363-1329-0.

SJOBLOM, J. **Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology**, Marcel Decker Inc., New York, 2001.

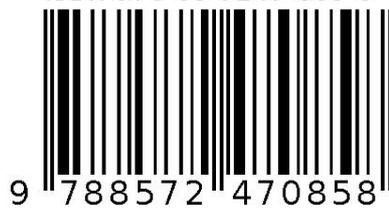
SOUZA, W. J. et al. **Effect of water content, temperature and average droplet size on the settling velocity of water-in-oil emulsions**, Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 32 (2), p. 455-464, 2015. DOI: [dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20150322s00003323](https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150322s00003323).

THOMPSON, D. G.; TAYLOR, A. S.; GRAHAM, D. E. **Emulsification and demulsification related to crude oil production**, Colloids and Surfaces, v. 15, p. 175-189, 1985.

WARREN, K. W. Emulsion Treating. In: ARNOLD, K. E. **PETROLEUM ENGINEERING HANDBOOK: Facilities and Construction Engineering**, v. 3, SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS. USA, 2007

XIA, L.; LU, S.; CAO, G. **Stability and demulsification of emulsions stabilized by asphaltenes or resins**, v. 270, p. 504-506, 2003.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-085-8



9 788572 470858