



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

P964 A produção do conhecimento na engenharia química 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.
 Modo de acesso: World Wide Web.
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-85-7247-976-9
 DOI 10.22533/at.ed.769203001

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia.

CDD 660.76

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Neste segundo volume, sobre a Produção do Conhecimento na Engenharia Química, apresentamos diversos trabalhos desenvolvidos com pesquisas relacionadas às áreas de energias renováveis, abordando diferentes biomassas, produção de bioetanol, biodiesel e também utilização de energia solar nos processos.

Com intuito de reduzir os impactos gerados pelos combustíveis fósseis, os trabalhos apresentados mostram, por exemplo, o farelo de arroz como suplemento no meio fermentativo para produção de etanol, obtenção de biodiesel a partir de óleo de mamona comparada ao simulador, estudo da biomassa do capim elefante, energia solar para destilação de etanol, entre outros.

Além disto, este volume trás para você pesquisas voltadas à área de bebidas fermentadas, sendo o foco destes estudos a melhoria dos produtos e dos processos de fabricação. Os trabalhos abordam, entre outras coisas, efeitos de produtos adicionados na fermentação, como trub, e no mosto, como chá verde; avaliação microbiológica e melhoria na produção de cerveja artesanal; bem como desenvolvimento de procedimentos para determinação de metais em cachaça de alambique de cobre.

Também é possível visualizar trabalhos com diferentes tipos de métodos empregados com a finalidade de proporcionar melhores processos produtivos e gerar maiores cuidados com o meio ambiente, relacionados à prevenção e remoção de poluentes. Nestes trabalhos verificam-se métodos de adsorção, secagem, caracterização, separação, assim como simulação computacional de processos.

Portanto, os trabalhos selecionados possibilitam conhecimento de novos materiais, técnicas e processos, como também cuidados com meio ambiente e desenvolvimento tecnológico, expondo a produção de conhecimento na Engenharia Química, de grande importância para ciência e para a sociedade.

Fundamentado nestes trabalhos, que você possa aperfeiçoar seus saberes nesta área.

Bom estudo.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL POR <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> SUPLEMENTADO COM FARELO DE ARROZ	
Mariane Almeida Gonçalves Grazieli Tavares Amoglia Daniel Elvis Basílio da Silva Fernanda Palladino	
DOI 10.22533/at.ed.7692030011	
CAPÍTULO 2	8
ESTUDO COMPARATIVO DA OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE MAMONA EM LABORATÓRIO E NO SIMULADOR DE PROCESSOS QUÍMICOS DWSIM	
Anna Luiza Araújo Baptista Clara de Castro Amaral Marcos Vinicius Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.7692030012	
CAPÍTULO 3	16
ESTUDO CINÉTICO DE DIFERENTES CULTIVARES DA BIOMASSA DO CAPIM ELEFANTE (<i>PENNISETUM PURPUREUM</i> SCHUM.)	
Mayara de Oliveira Lessa Renata Martins Braga Emerson Moreira de Aguiar Marcus Antônio de Freitas Melo	
DOI 10.22533/at.ed.7692030013	
CAPÍTULO 4	30
USO DA ENERGIA SOLAR NA DESTILAÇÃO DO ETANOL APLICADO NA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE COCO	
Lucas Rodrigo Custódio Silva Marina Barbosa Maluf Ribeiro Amanda Dornelas Oliveira Caroline Santos Silva Érica Victor de Faria Kássia Graciele dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.7692030014	
CAPÍTULO 5	44
AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE CARVÃO ATIVADO	
Ana Cláudia Rodrigues De Barros Riann de Queiroz Nóbrega Lorena Lucena De Medeiros Flávio Luiz Honorato Da Silva Joelma Morais Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.7692030015	
CAPÍTULO 6	54
AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE CERVEJA TIPO PILSEN ADICIONADA DE CHÁ VERDE NA ETAPA DE FERVURA DO MOSTO	
Natália Pinto Guedes de Moraes Thaís Cardozo Almeida	

João Vitor Cabral Gonçalves
Luana Tashima
Ligia Marcondes Rodrigues dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.7692030017

CAPÍTULO 7 63

PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL COM ADIÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE FRUTO AMAZÔNICO

Catherinne Édi Muniz Pimentel
Igor Lins Santiago
Syra Kelly Murabac Silva Oliveira
Ricardo Lima Serudo

DOI 10.22533/at.ed.7692030018

CAPÍTULO 8 71

DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTO DETERMINATIVO PARA ANÁLISE QUANTITATIVA DE NÍQUEL EM CACHAÇAS DE ALAMBIQUE DE COBRE EMPREGANDO ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Alexandre Mendes Muchon
Karina Moraes Lima
Alex Magalhães de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.7692030019

CAPÍTULO 9 77

PRODUÇÃO DE LIPASES POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO: UMA ANÁLISE PRELIMINAR DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

Enylson Xavier Ramalho
Pedro Henrique Barbosa Fernandes
Cristian Orlando Avila
Rodrigo Silva Dutra
Lina María Grajales

DOI 10.22533/at.ed.76920300110

CAPÍTULO 10 85

SECAGEM DOS FRUTOS DE AÇAIRANA (*MICONIA CILIATA* (RICH.) DC) EM DIFERENTES LEITOS

Letícia Bahia Vieira
Ingrid Layanne dos Santos Pereira
Juliana Ferreira Costa
Lidiane Diniz do Nascimento
Elisangela Lima Andrade
Lorena Gomes Corumbá
Nielson Fernando da Paixão Ribeiro
Elza Brandão Santana
Lênio José Guerreiro Faria
Cristiane Maria Leal Costa

DOI 10.22533/at.ed.76920300111

CAPÍTULO 11 97

COMPORTAMENTO COLORIMÉTRICO DE EXTRATOS DE AÇAIRANA (*MICONIA CILIATA*)

Ingrid Layanne dos Santos Pereira
Leticia Bahia Vieira
Paulo César Souza de Moraes Júnior
Wandson Braamcamp de Souza Pinheiro

Samara de Paula Pinheiro Menezes Marques
Hellen Carvalho Barros
Davi do Socorro Barros Brasil
Elza Brandão Santana
Lênio José Guerreiro Faria
Cristiane Maria Leal Costa

DOI 10.22533/at.ed.76920300112

CAPÍTULO 12 108

HIDROCARBONIZAÇÃO DE EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

Larissa Yukie Pianho
Fernanda Carla Camilo Lima
Thiago Peixoto de Araújo
Maria Angélica Simões Dornellas de Barros

DOI 10.22533/at.ed.76920300113

CAPÍTULO 13 115

MODIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES TEXTURAIS DA PENEIRA MOLECULAR DO TIPO MCM-41 POR DEPOSIÇÃO DE CARBONO

Diogo Pimentel de Sá da Silva
Raul César da Silva Nascimento
Ivo da Silva
Julyane da Rocha Santos
Antonio Osimar Sousa da Silva

DOI 10.22533/at.ed.76920300114

CAPÍTULO 14 123

ESTUDO COM TROCADORES DE ÍONS PARA A DETERMINAÇÃO DE FERRO DISPONÍVEL PARA PLANTAS EM SOLOS DA REGIÃO DE FORMIGA-MG

Luana Cristina Camargos Gomes
Alex Magalhães de Almeida
Anísio Cláudio Rios Fonseca
Alexandre Mendes Muchon

DOI 10.22533/at.ed.76920300115

CAPÍTULO 15 128

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA TROCA TÉRMICA EM UNIDADE PILOTO DE UM SISTEMA COILED TUBING

Lorena Rodrigues Justino
Caroline Eulino Gonçalves Pereira
Beatriz Rosas Oliveira
Eduardo Cunha Hora Paraíso
Luís Américo Calçada
Cláudia Míriam Scheid

DOI 10.22533/at.ed.76920300116

CAPÍTULO 16 136

SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA DE LEITO JORRO RETANGULAR USANDO CFD - COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Ana Paula Silva Artur
Elaine Cristina Batista da Silva
Tuane Tayrine Mendes Cardozo
Welberth Santos Laizo

Aderjane Ferreira Lacerda
Reimar de Oliveira Lourenço

DOI 10.22533/at.ed.76920300117

CAPÍTULO 17 150

SIMULAÇÃO DO CARREGAMENTO DE FERTILIZANTE EM TAMBORES ROTATIVOS COM SUSPENSORES USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

Gabrielle Ferreira Gravena
José Luiz Vieira Neto
Kassia Graciele dos Santos
Beatriz Cristina Silvério

DOI 10.22533/at.ed.76920300118

CAPÍTULO 18 160

SEPARATION OF ACETONA-CHLOROPHORM MAXIMUM BOULATING AZEOTROPE USING METHYL SULPHOXIDE THROUGH PROSIMPLUS SIMULATOR

Guilherme Ferreira da silva
Kerilen Paola Teixeira de Castro

DOI 10.22533/at.ed.76920300119

CAPÍTULO 19 172

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SABONETES LÍQUIDOS E EM BARRA

Vanessa Mendes Santos
Amanda Dias Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.76920300120

CAPÍTULO 20 183

MODELAGEM CINÉTICA DA CLORAÇÃO DO TA_2O_5 COM C_2CL_4

Rogério Navarro Correia de Siqueira
Taiane Zocatelli
Eduardo de Albuquerque Brocchi

DOI 10.22533/at.ed.76920300121

SOBRE A ORGANIZADORA 201

ÍNDICE REMISSIVO 202

SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA DE LEITO JORRO RETANGULAR USANDO CFD - COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Data de Submissão: 29/10/2019.

Data de aceite: 21/01/2020

Ana Paula Silva Artur

Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Química - PPGEQ, Campus Alto Paraopeba –
Ouro Branco, MG;

e-mail: anaps.artur@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1280313078245213>

Elaine Cristina Batista da Silva

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP,
Faculdade de Engenharia Química, Pós-
Graduação em Engenharia Química – Campinas,
SP;

e-mail: ellainecristinaa@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7831481655803542>

Tuane Tayrine Mendes Cardozo

Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG),
Engenharia de Produção, Campus Congonhas –
Congonhas, MG;

e-mail: tuanetayrine@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0661145892283928>

Welberth Santos Laizo

Engenheiro Químico graduado na Universidade
Federal de São João del Rei - UFSJ, Campus Alto
Paraopeba – Ouro Branco, MG;

e-mail: welbs@msn.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4647926156980030>

Aderjane Ferreira Lacerda

Professora Doutora, da Universidade Federal

de São João del Rei – UFSJ, Departamento
de Engenharia Química (DEQUI), Campus Alto
Paraopeba – Ouro Branco, MG;

e-mail: aderjane@ufsj.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2119761650030809>

Reimar de Oliveira Lourenço

Professor Doutor, da Universidade Federal de
São João del Rei – UFSJ, Departamento de
Engenharia Química (DEQUI), Campus Alto
Paraopeba – Ouro Branco, MG;

e-mail: reimar@ufsj.edu.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1378493726162797>

RESUMO: O leito de jorro tem sua viabilidade de uso ligada à sua eficiência em tratamentos físico-químicos, reações de transferência de calor e massa em partículas de diversos tamanhos, isso devido ao movimento cíclico das partículas no interior do leito. Além disto o uso de ferramentas computacionais apresenta baixo custo e permite verificar, prever e analisar o desempenho e comportamento dos sistemas. O objetivo desta pesquisa foi verificar, por meio de simulação Computational Fluid Dynamics (CFD), o comportamento de um leito de jorro convencional do tipo gás sólido, para o material orgânico soja, além de verificar se a malha, modelo de arraste e incremento de tempo adotados proporcionariam resultados satisfatórios. As simulações obtidas

apresentaram o perfil da dinâmica de escoamento fluidodinâmico no interior do leito, esta foi estabelecida pelas medidas da queda de pressão no leito e velocidade de ar crescentes aplicadas na base do sistema. Foi possível verificar o desenvolvimento do escoamento, passando do estado de leito fixo até o leito pobre, apresentando resultado próximo aos encontrados na literatura com tempo computacional satisfatório. Os dados apontam para a viabilidade do projeto, sendo necessários novos estudos para promover a expansão em escala e verificar a análise econômica de um projeto real.

PALAVRAS-CHAVE: Leito de Jorro, Soja, Ferramenta Computacional, CFD, Perfil da dinâmica do escoamento.

FLUIDODYNAMIC SIMULATION OF RECTANGULAR SPOUTED BED USING CFD - COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

ABSTRACT: The spouted bed has its viability of use linked to its efficiency in physicochemical treatments, heat transfer reactions and mass in particles of various sizes, due to the cyclic movement of the particles inside the bed. Moreover, the use of computational tools presents low cost and allows to verify, predict and analyze the performance and behavior of the systems. The objective of this research was to verify, by means of Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation, the behavior of a conventional solid gas-type spout bed for soybean organic material, and to verify if the mesh, drag model and increment of time taken would provide satisfactory results. The simulations obtained showed the profile of the dynamics of the fluid flow dynamics inside the bed, which was established by the measurements of the increasing pressure drop and the air velocity applied at the base of the system. It was possible to verify the development of the flow from the fixed bed state to the poor bed, presenting results close to those found in the literature with satisfactory computational time. The data point to the viability of the project, requiring further studies to promote scale expansion and verify the economic analysis of a real project.

KEYWORDS: Spouted bed, Soybean, Computational Tool, CFD, Flow dynamics profile.

1 | INTRODUÇÃO

Os leitos de jorro e leito fluidizado têm sido objeto de intensa pesquisa nas últimas décadas. Os termos jorrando e leito de jorro foram dados pelo Conselho Nacional de Pesquisa (NRC) do Canadá para descrever um dispositivo inovador baseado em tecnologias de fluidização (Moliner et al., 2018). Mathur e Gishler (1955) descreveram esta tecnologia como “um mecanismo de fluxo para sólidos e gás diferente da fluidização, mas atinge o mesmo propósito para partículas grossas, como a fluidização faz para materiais finos”. Moliner e colaboradores (2017) completa informando que os leitos de jorro podem ser descritos como reatores de fluidização convencional no qual ocorreu a substituição da placa perfurada por um único local de orifício, promovendo uma recirculação melhorada de sólidos com um padrão multifásico particular.

Os leitos de jorro continuam a atrair interesse nos últimos anos para uma ampla gama de aplicações, principalmente relacionadas a processos de secagem, devido ao alto contato fluido-sólido alcançado, ter eficácia em tratar transformações físico-químicas, ou mesmo, reações que envolvem simultaneamente transferência de calor e massa em combinação com partículas de diversos tamanhos (Sutkar et al., 2013). Atualmente esse equipamento destacam-se como uma tecnologia promissora para a realização de reações termoquímicas, como a pirólise, a gaseificação e a combustão de diferentes materiais, como carvão ou resíduos (Moliner et al., 2018).

Com a evolução tecnológica os leitos de jorro têm tido ótimas eficiências de secagem nos processos alimentícios, como exemplo dessa aplicação temos secagem da ervilha (Sahin et al., 2013), dos grãos de café (Jindarat, et al., 2015) e da soja (Cao et al., 2017).

A simulação numérica é uma ferramenta útil para obter informações detalhadas sobre fenômenos de fluxo sem perturbá-los (Sutkar, et al., 2013), além de apresentarem custos mais baixos quando comparadas a implementação de plantas piloto, por exemplo, essas ferramentas computacionais permitem verificar e analisar o melhor desempenho desses equipamentos frente a uma operação solicitada (Hosseini, et al., 2009). Uma dessas ferramentas é a Fluidodinâmica Computacional (CFD), posto ser capaz de simular as características do sistema com boa correlação frente ao processo real (Artur et al., 2018).

Quando se faz uso de simulação deve-se inserir o modelo, no caso do CFD eles podem ser divididos em dois grupos, Lagrangeanos e Eulerianos. No primeiro, conhecido também na literatura como modelo de partículas discretas, o movimento bidimensional de cada partícula individual é calculado diretamente a partir das forças que atuam sobre eles, representando a interação entre a partícula e a fase gasosa, sendo que este modelo de colisão implementado se baseia nas leis de conservação para momento linear e angular e requer, além de fatores geométricos, dois parâmetros empíricos: um coeficiente de restituição e um coeficiente de atrito. O modelo fluido dinâmico do gás é baseado nas equações de Navier-Stokes de média ponderada por volume. A vantagem de usar essa abordagem é que cada trajetória de partículas, bem como os parâmetros do sistema, torna-se conhecidas. Os resultados geralmente fornecem uma visão física da natureza da lei. No entanto, como um grande número de trajetórias de partículas é necessário para determinar o comportamento médio de um sistema, o requisito computacional é extremamente alto (Cheng et al., 2001).

No modelo de CFD multifluido, também referido como Euleriano – Euleriano (EE), as fases gasosa e sólida são consideradas contínuas e totalmente interpenetrantes. Ambas as fases são descritas em termos de conjuntos separados de equações de conservação com termos de interação apropriados representando o acoplamento entre as fases (Chiesa et al., 2005).

Segundo Santos (2011), o modelo Euleriano é adequado quando se tem a gravidade atuando de forma relevante na separação entre as fases e devido esta

característica este modelo é apropriado para aplicação em equipamentos como colunas de bolha, risers, suspensão de partículas, leitos de jorros e fluidizados, dentre outros.

O princípio para se ter um projeto com resultados satisfatórios fazendo uso da Fluidodinâmica Computacional, passa pela a escolha e geração adequada da malha (mesh), a geração de malhas é um pré-processamento essencial em simulações computacionais, o que às vezes ainda é um gargalo das simulações gerais (Ito, 2013).

Esta pesquisa teve como objetivo verificar, por meio de simulação CFD (Computational Fluid Dynamics), o comportamento fluidodinâmico de um leito de jorro convencional do tipo gás sólido, em escala de bancada para o material orgânico soja, além de verificar se a malha, modelo de arraste empregado e o incremento de tempo adotados proporcionariam resultados satisfatórios.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

No estudo usou-se como base um leito de jorro do tipo convencional, com dimensões conforme descritas na **Figura 1**. A estratégia de simulação adotada para o presente trabalho, face a capacidade de processamento disponível, foi a simulação tridimensional (3D), com uso de um pacote comercial de CFD que usa a técnica de Volumes Finitos para o processamento numérico do problema. O método de volumes finitos consiste em dividir um volume de controle em vários volumes de controle menores, até quase atingir uma dimensão que torne as equações a serem resolvidas dentro deste volume como uma função de ponto, sendo resolvida de forma iterativa ou simultaneamente todo o conjunto de equações diferenciais obtidas. Este método torna as equações governantes discretizadas dentro do domínio computacional (espaço tempo) (Blanco, 2013).

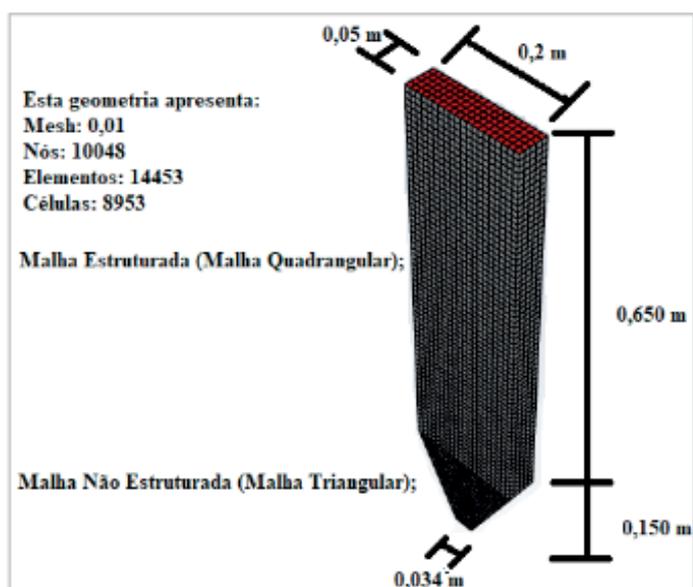


Figura 1: Leito de Jorro cotado e informações do mesh. Fonte: Autores, 2019;

No presente estudo fez-se uso do material orgânicos (Soja) com diâmetro médio (d_p) = 6 mm, esfericidade (ϕ_s) = 0,98 e densidade (ρ_s) = 1173 kg/m³, as demais características de interesse para a simulação desse material utilizado neste projeto junto com os parâmetros (o sistema de medição utilizado foi o SI) encontram-se na Tabela 1 (Cremasco, 2014) e (Lourenço, 2006). Sendo que na simulação via CFD, utilizou-se configuração de malha, não-estruturada (triangular) na base cônica e malha estruturada (quadrangular) na parte cilíndrica, esta configuração onde se faz uso da malha não-estruturada e estruturada recebe o nome de malha híbrida, o motivo no qual ocorreu a escolha dessa composição é que a mesma proporciona um ganho em esforço computacional, melhorando o processamento do computador utilizado. Adotou-se o modelo multifásico euleriano, que trata gás e partículas como um contínuo interpenetrante. Esta abordagem numérica minimiza o custo computacional, principalmente para fluxos com alta concentração de partículas, e também considera os efeitos da interação entre as duas fases. Como o volume de uma fase não pode ser ocupado pela outra, o conceito de fração de volume de fase é introduzido, no qual no projeto em questão, usou-se 40% de ar e 60% de particulado. Essas frações de volume são assumidas como funções contínuas de espaço e tempo. Sendo que as leis de conservação de massa e momento devem ser satisfeitas para cada fase individualmente (Duarte et al., 2008).

Modelo Euleriano Multifásico (implícito)	
Interação fluido-partícula: Gidaspow	
Partícula granular	Diametro partícula: 0,006m
	Viscosidade granular: Gidaspow
	Viscosidade granular: Lun-et-al
	Pressão de sólidos: Syamlal-Obrien
	Distribuição radial: Lun-et-al
Condição de Entrada: Velocidade de Entrada	
Referência da pressão à saída do leito	
Parâmetros de Relaxação	Pressão: 0,2
	Densidade: 1
	Forças de corpo: 1
	Temperatura granular: 0,2
	Momentum: 0,2
	Fração volumétrica: 0,2
Máximo de Iteração/Passo de tempo	200
Critério de convergência dos resíduos	10^{-3}
Passo de tempo (time step)	10^{-3} s

Tabela 1 - Condições de contorno utilizadas nas simulações. Fonte: Autores, 2019;

As equações de conservação são escritas para ambas as fases, o que dá

origem a um sistema de equações similares, facilitando a manipulação matemática do sistema. A descrição adequada das forças interfaciais, presentes nas equações de balanço de quantidade de movimento de ambas as fases, é de suma importância na precisão das simulações, sendo a força de arraste Equação 1 a principal força que age sobre as partículas (Santos, 2011), a força de arraste correspondente a transferência de momento na interface entre as fases gasosa e sólida sendo uma das forças dominantes nos balanços de momento. A força de arraste exercida sobre as partículas em sistemas líquidos-sólidos é representada a diante:

$$\vec{f}_{arraste} = K_{fs}(\vec{v}_s - \vec{v}_f) \quad (1)$$

O modelo de arraste empregado entre a fase gasosa e as fases granulares foi o modelo de (Gidaspow et al., 1992), pois para o leito de jorro este modelo é o mais apropriado, devido à diferença de concentração de partículas existentes nas regiões características do leito de jorro. A modelagem matemática de um sistema como o leito de jorro requer a aplicação da teoria de fluxos granulares, que será informada a diante. Este modelo consiste na combinação do modelo de (Wen e Yu, 2014) (para fase diluída) e a equação de (Ergun, 1952) (para a fase densa). Quando $\alpha_f < 0,8$, o coeficiente de troca fluido-sólido K_{fs} é da seguinte forma **Equação 2**.

$$K_{fs} = 150 \frac{\alpha_s(1-\alpha_f)\mu_f}{\alpha_f d_s^2} + 1,75 \frac{\rho_f \alpha_s |\vec{v}_s - \vec{v}_f|}{d_s} \quad (2)$$

Onde:

μ_f : Viscosidade do fluido;

d_a e d_s são os diâmetros das partículas das fases;

α_s e α_f são as frações volumétricas,

$|\vec{v}_s - \vec{v}_f|$ é a velocidade relativa entre as fases

ρ_f densidade da fase;

Como informado a abordagem do modelo Euler-Euler, considera as fases contínua e interpenetrante, ou seja, não há vazios ou espaços e não tem espaço definido para cada fase. A fração volumétrica α , quantifica cada fase no volume de controle e por definição o somatório das frações é igual a um **Equação 3**.

$$\alpha_s + \alpha_g = 1 \quad (3)$$

Para a caracterização da conservação de massa temos **Equação 4 e Equação 5**:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g \rho_g) + \nabla(\alpha_g \rho_g \vec{v}_g) = \sum_{p=1}^n \dot{m}_{pq} - \alpha_q \frac{d_q \rho_q}{dt} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_s \rho_s) + \nabla(\alpha_s \rho_s \vec{v}_s) = \sum_{g=1}^n (\dot{m}_{fs} \dot{m}_{sf}) + S_s \quad (5)$$

Sendo \dot{m} a taxa de transferência de massa, S o termo de fonte de massa. Como não se considerada a transferência de massa entre as fases, o lado direito das Equações 4 e 5 são nulos.

A Equação 6 de transporte de momentum para a fase gasosa é:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_f \rho_f \vec{v}_f) + \nabla(\alpha_f \rho_f \vec{v}_f \vec{v}_f) = -\alpha_f \nabla p + \nabla \cdot \bar{\tau}_f + \alpha_f \rho_f \vec{g} + \sum_{p=1}^n (\vec{K}_{fs} (\vec{v}_s - \vec{v}_f) - \dot{m}_{fs} \vec{v}_{fs}) + \alpha_f \rho_f (\vec{F}_f + \vec{F}_{lift,f} + \vec{F}_{vm,f}) \quad (6)$$

Onde \vec{g} é a gravidade, \vec{F}_f é a força de campo, $\vec{F}_{lift,f}$ é a força de ascensão que atua na partícula, principalmente devido aos gradientes de velocidade no campo do escoamento da fase primária (f). Esta força de ascensão é a mais significativa para partículas maiores. A força de massa virtual é representada por $\vec{F}_{vm,f}$ a velocidade na interface é representada por \vec{v}_{fs} . A velocidade na interface está relacionada com a transferência de massa, por exemplo, se há transferência de massa da fase sólida para a fase fluida então $\vec{v}_{fs} = \vec{v}_s$. No entanto se há transferência de massa da fase fluida para a fase sólida então $\vec{v}_{fs} = \vec{v}_f$.

A **Equação 7** de transporte de momentum para a fase sólida é:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_s \rho_s \vec{v}_s) + \nabla(\alpha_s \rho_s \vec{v}_s \vec{v}_s) = -\alpha_s \nabla p + \nabla \cdot \bar{\tau}_s + \alpha_s \rho_s \vec{g} + \sum_{p=1}^n (\vec{K}_{fs} (\vec{v}_s - \vec{v}_f) + \dot{m}_{fs} \vec{v}_{fs}) + \alpha_s \rho_s (\vec{F}_s + \vec{F}_{lift,s} + \vec{F}_{vm,s}) \quad (7)$$

Para considerar estes efeitos, várias correlações empíricas foram propostas para quantificar a energia transmitida da fase gás para a fase sólida. Entre as mais utilizadas na modelagem e simulação de leitos fluidizados estão o modelo de (Gidaspow, Bezburuah e Ding, 1992), o de (Syamlal e O'Brien, 1989) e o de (Wen e Yu, 2014). Neste trabalho foi avaliado o modelo de Gidaspow, pois foi o modelo empregado.

A teoria cinética do escoamento granular busca representar as interações entre a fase particulada de um escoamento multifásico. Ela é baseada na teoria cinética dos gases densos, porém a temperatura usual é substituída por uma temperatura granular. As outras propriedades da fase sólida, como a pressão e a viscosidade, são função desta temperatura granular (Hodapp, 2009). A temperatura granular, θ_s , é definida para cada fase sólida, e é descrito como a energia cinética específica das flutuações de velocidade das partículas **Equação 8**:

$$E_{\theta_s} = \frac{3}{2} \theta_s \quad (8)$$

Onde E_{θ_s} é a energia granular. O transporte da energia da mistura granular pode ser resolvido e então a temperatura granular para a fase sólida pode ser obtida.

A **Equação 9** de transporte derivada da Teoria cinética tem a seguinte forma:

$$\frac{3}{2} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_s \rho_s \theta_s) + \nabla (\alpha_s \rho_s \vec{v}_s \theta_s) \right] = (-p_s \bar{\bar{I}} + \bar{\bar{\tau}}_s) : \nabla \vec{v}_s + \nabla (k_{\theta_s} \nabla \theta_s) - \gamma_{\theta_s} + \phi_{fs} \quad (9)$$

$$\text{Onde } - (-p_s \bar{\bar{I}} + \bar{\bar{\tau}}_s) : \nabla \vec{v}_s = \text{geração de energia pelo tensor tensão de sólidos;}$$

- $k_{\theta_s} \nabla \theta_s$ = difusão de energia (é o coeficiente de difusão);
- γ_{θ_s} = dissipação de energia colisional;
- ϕ_{fs} = troca de energia entre fase fluida f e a fase sólida s.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Figura 2** apresenta-se os perfis de porosidade do leito de jorro frente às condições de simulação. Dessa forma pode-se verificar a influência do refino da malha e o incremento de tempo adotado na qualidade dos resultados. Aumentando-se a velocidade nota-se que o leito passa da condição de jorro mínimo para jorro estável até que o mesmo em altas velocidades fique com o jorro pobre. Com a estabilização do jorro, a queda de pressão no leito irá ocorrer devido ao surgimento de duas resistências: a do jorro propriamente dito, que é consequência do transporte no fluxo ascendente numa seção que possui uma alta porosidade; e da região anular, que apresenta um movimento descendente das partículas numa seção de baixa porosidade, em contracorrente com o gás (Mathur e Epstein, 1974).

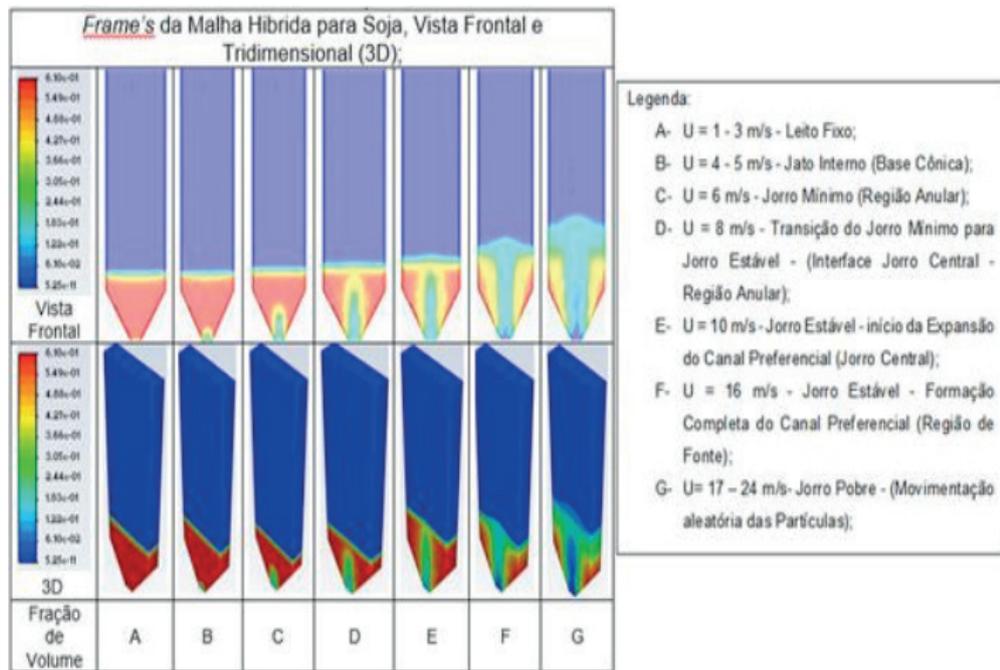


Figura 2: Perfil de Porosidade para Leitos de Jorro para Malha Híbrida mesh de 0,01 para a soja. Fonte: Autores, 2019;

Inicialmente, verificou-se que com pequenas vazões de ar o fluido apenas percolou entre as partículas e o sistema comportou-se como um leito fixo, (velocidade de 1 a 3 m/s). Com o aumento da vazão de ar, notou-se uma agitação maior das partículas na base do leito, caracterizando-se assim a formação de uma cavidade interna devido à ação do jato de ar, já suficiente para deslocar as partículas. Esta cavidade foi aumentando gradualmente dando origem a um canal preferencial central conhecido como jato interno (velocidade de 4 - 5 m/s), que se estendeu até o ponto de jorro incipiente (jorro mínimo), ficando na iminência de aflorar na superfície do leito (8 m/s). A partir do canal interno foi rompido, propiciando a formação do jorro na superfície do leito (velocidade de 10 m/s), o mesmo expande dando origem a região de fonte (velocidade de 16 m/s). Desse ponto em diante (velocidade de 17 – 24 m/s), qualquer incremento na vazão de ar provocou, apenas, a elevação da altura da fonte e diminuição da perda de carga, tendo uma movimentação aleatória das partículas dentro do equipamento.

Posteriormente por meio do software foi realizado a plotagem do gráfico com os pontos de queda de pressão do sistema obtido no tempo de 4s para as velocidades de 0 à 24 m/s. Estes dados estão dispostos na Figuras 3. Nesta foram expostos o gráfico de queda de pressão obtida na Entrada de Ar (Entrada).

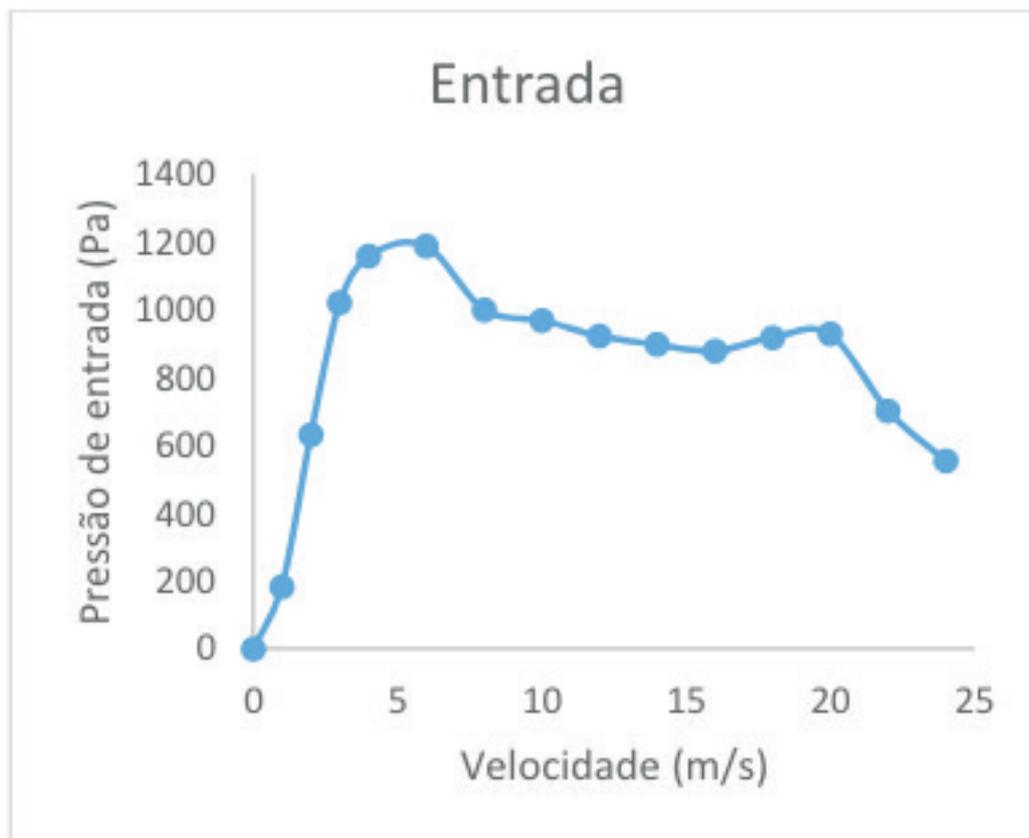


Figura 3: Gráficos de queda de pressão versus velocidade de entrada de ar para o instante 4s, para entrada de ar. Fonte: Autores, 2019;

Pelo gráfico apresentado na **Figura 3** pode-se observar o comportamento de leito fixo à baixas vazões de ar, onde inicialmente o gás somente passa pelas partículas sem movimentá-las, com o aumento da vazão de ar, se tem um deslocamento das partículas próximas a entrada, portanto, com o aumento da vazão de ar é formada uma cavidade circundada por uma camada sólida compacta, essa compactação passa a oferecer grande resistência ao fluxo de ar, resultando em um aumento da queda de pressão. Como o fluxo de ar superou a maior resistência oferecida pelo inerte, qualquer aumento da vazão de ar diminui a queda de pressão, pois a altura de jorro interno é maior que os sólidos compactados acima desta. Nesta fase, o jorro é denominado de incipiente (jorro mínimo), quando qualquer aumento na vazão de gás faz com que a queda de pressão caia bruscamente até que o jorro estável seja estabelecido, quando o jorro aflora através da superfície do leito a velocidade mínima de jorro é obtida. Após este ponto, quando se tem uma redução na taxa de fluxo, ou seja, um maior aumento da velocidade faz com que a pressão caia de forma constante vindo a transição do regime de jorro estável para jorro pobre demonstrado pela formação do pico seguida da queda (região pneumática).

Ainda analisando a **Figura 3** é possível perceber que não há grande variação nas características iniciais do sistema, apenas quando este começa a ter altas velocidades, onde se tem o jorro pobre, pois nessa situação existe uma grande variação na leitura dos dados, como é possível visualizar a partir do ponto de velocidade 18m/s. O que

era esperado devido ao movimento caótico como característica primária quando o sistema toma o regime turbulento como padrão de ação, o que demonstra que o ponto de mínima fluidização se encontra próximo a este ponto.

Outra informação que se pode obter é o mapa de vetores que está representado pela **Figura 4** a mesma está sendo comparada com a **Figura 5** da literatura, onde percebe-se que a simulação teve uma boa correlação com a Literatura.

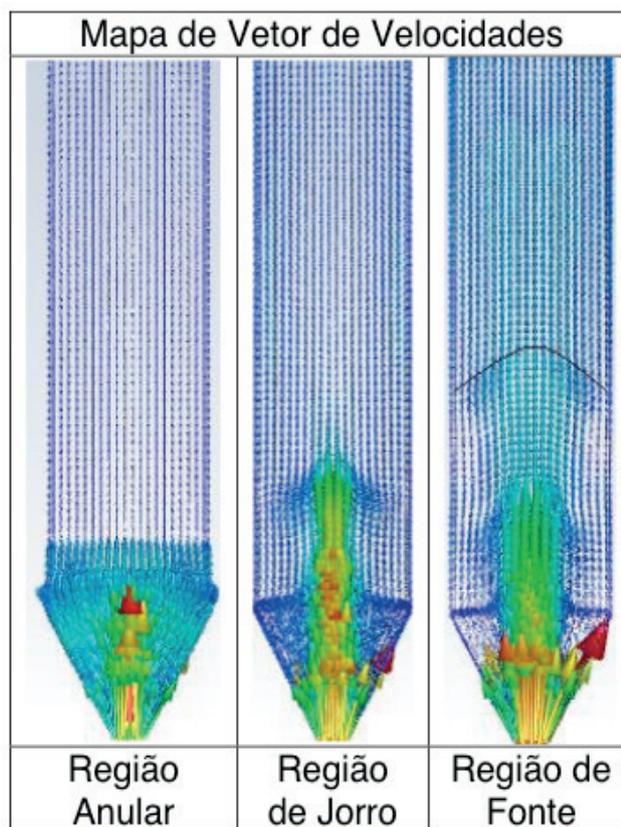


Figura 4: Mapa de Vetor de Velocidade obtida na simulação. Fonte: Autores, 2019;

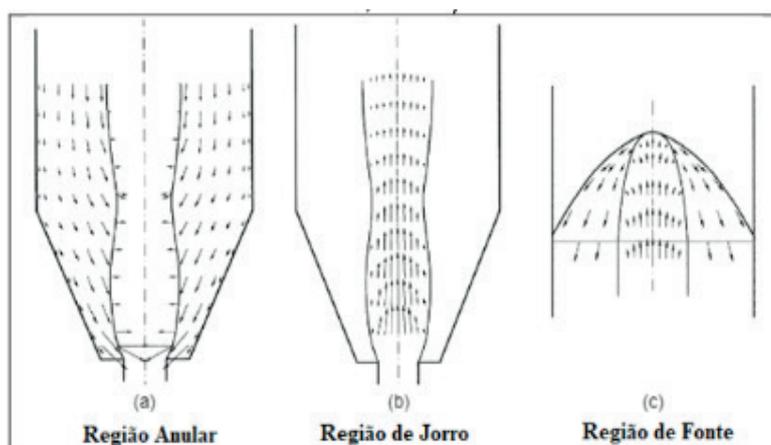


Figura 5: Mapa de Vetor de Velocidade obtida na literatura para comparação. Fonte: (Olazar et al., 2001) gas inlet diameter, stagnant bed height, particle diameter and gas velocity

O que se pode perceber pelas **Figura 4** e **Figura 5** na região anular quando se avalia o componente vertical da velocidade de partículas aumenta de zero na interface

jorro-ânulo para um valor máximo em uma dada posição axial e diminui a partir desse ponto até atingir um valor característico próximo à parede do leito. Quando observa-se os componentes horizontais de velocidade, os mesmos apresentam valores da mesma ordem de magnitude daqueles obtidos para o componente axial da velocidade. Os maiores valores da componente horizontal de velocidade apresentam-se na interface jorro-ânulo da seção cônica do leito. Seu valor máximo decresce de maneira acentuada da interface até a parede do leito, sendo que na seção cilíndrica do leito, a componente horizontal da velocidade diminui e atinge um valor próximo de zero na superfície. Quando passa para a Região de Jorro a componente vertical de velocidade da partícula decresce de um valor máximo no eixo de simetria do leito para zero na interface da região jorro-ânulo, em toda a altura do leito. Os perfis radiais da componente axial de velocidade dos sólidos são parabólicos e se achatam à medida que a superfície do leito é atingida. As componentes horizontais de velocidade são nulas no eixo de simetria do leito e apresentam uma tendência de comportamento até a região de interface jorro-ânulo que varia de acordo com a altura no leito. Perto da base do leito, as componentes horizontais aumentam seguindo um perfil parabólico para atingir um valor máximo em uma posição radial intermediária entre o eixo e a interface jorro-ânulo. Perto da superfície do leito, a componente horizontal de velocidade muda de direção e as partículas atingem um mínimo de velocidade próximo à região de interface. E por último a Região de Fonte que é dividida em duas regiões o núcleo (zona na qual se terá a ascensão das partículas) e a periferia (zona de queda das partículas) (Olazar et al., 2001) gas inlet diameter, stagnant bed height, particle diameter and gas velocity. Para ambas as regiões, a componente vertical da velocidade sofrerá uma diminuição do sentido do topo da fonte e apresentará um aumento no sentido radial. No núcleo, o módulo da componente horizontal da velocidade cresce ao longo do raio, partindo de um valor igual a zero no eixo até atingir seu valor máximo na interface núcleo-periferia. Na periferia da fonte, o módulo da componente horizontal aumenta em direção à superfície externa da fonte e também ao longo da altura da fonte.

Por meio das informações nota-se que existe uma tendência do sistema em manter a condição para uma faixa de variação de vazão de ar. Tornando-o importante por apresentar um parâmetro diretamente ligado ao custo da operação, já que é neste ponto que se consome grande parte da energia do processo.

4 | CONCLUSÃO

Por meio do presente estudo notou-se que o modelo de arraste empregado foi satisfatório, visto que o mesmo apresentou o padrão de escoamento característico do leito de jorro, que consiste na identificação das diferentes regiões (jorro, anular e fonte), além de que avaliamos também a representação do sistema real e o tempo computacional necessário para estabilizar uma condição esperada.

O incremento de tempo usado na simulação foi de 1.10^{-3} s, e neste passo de

tempo (Time Step) observou-se que nas velocidades mais altas onde o leito ficava pobre necessitaram de uma exigência elevada do equipamento, isto se deu devido a simulação estar sendo realizada no modelo tridimensional – 3D, como os resultados quando se avalia os frames e os gráficos já foram satisfatórios, não percebeu-se necessidade de ocorrer a diminuição do time step para 1.10-4s.

Finalmente, os frames de perfil de porosidade, mostram a dinâmica do escoamento no leito, averiguou-se que ocorreu a estabelecimento do jorro estável com uma visualização clara da região de fonte característica, demonstrando que os resultados encontrados nesse estudo apresentam concordância com os da literatura.

Com os resultados obtidos é possível prever como o sistema real deve ser elaborado para uma melhor eficiência de processo. Novos estudos experimentais são necessários para corroborar com os dados obtidos neste, bem como é necessário fazer a extrapolação de escala para verificar quais os melhores padrões de processo para equipamentos industriais.

REFERÊNCIAS

ARTUR, A. P. S.; SILVA, E. C. B. DA; CARDOZO, T. T. M.; LAIZO, W. S.; LOURENÇO, R. DE O. “**SIITA - Estudo Fluidinâmico do Leito de Jorro 2D**”. Revista Higiene Alimentar, v. 32, n. 0101–9171, p. 111–116, 2018.

BLANCO, R., “**Análise De Uma Câmara De Combustão Em Escala Piloto Através De Fluidodinâmica Computacional**”. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista _ UNESP, Guaratinguetá - SP 65p. (Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica), 2013.

CAO, X.; ZHANG, M.; FANG, Z.; MUJUMDAR, A. S.; JIANG, H.; QIAN, H.; AI, H. “**Drying kinetics and product quality of green soybean under different microwave drying methods**”. Drying Technology, v. 35, n. 2, p. 240–248, 2017.

CHENG, Y.; WEI, F.; GUO, Y.; JIN, Y. “**CFD simulation of hydrodynamics in the entrance region of a downer**”. Chemical Engineering Science, v. 56, n. 4, p. 1687–1696, 2001.

CHIESA, M.; MATHIESEN, V.; MELHEIM, J. A.; HALVORSEN, B. “**Numerical simulation of particulate flow by the Eulerian-Lagrangian and the Eulerian-Eulerian approach with application to a fluidized bed**”. Computers and Chemical Engineering, v. 29, n. 2, p. 291–304, 2005.

CREMASCO, M. A. “**Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**”. 2a ed., p.423, 2014.

ERGUN, S. “**Fluid Flow through Packed Columns**”. Journal of Chemical Engineering Progress, v. 48, n. 2, p. 89–94, 1952.

GIDASPOW, D.; BEZBURUAH, R.; DING, J. “**Hydrodynamics of Circulating Fluidized Beds**”. Fluidization VII, Proceedings of the 7th Engineering Foundation Conference on Fluidization, p.75-82, 1992.

HODAPP, M. J. “**Modelagem e Simulação de um Leito Fluidizado: um estudo comparativo**”. Faculdade de Engenharia Química. Área de Concentração; Desenvolvimento de Processos Químicos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 132p. (Dissertação de Mestrado), 2009.

HOSSEINI, S. H.; ZIVDAR, M.; RAHIMI, R. “**CFD simulation of gas–solid flow in a spouted bed with a non-porous draft tube**”. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, v. 48, n. 11–12, p. 1539–1548, 2009.

ITO, Y. “**Challenges in unstructured mesh generation for practical and efficient computational fluid dynamics simulations**”. Computers & Fluids, v. 85, p. 47–52, 2013.

JINDARAT, W.; SUNGSOONTORN, S.; RATTANADECHO, P. “**Analysis of energy consumption in a combined microwave-hot air spouted bed drying of biomaterial: Coffee beans**”. Experimental Heat Transfer, v. 28, n. 2, p. 107–124, 2015.

LOURENÇO, R. DE O. “**Identificação e monitoramento de regimes de escoamento em leito de jorro**”. Faculdade de Engenharia Química. PPGEQ/UFU, Uberlândia – MG, 133p. (Dissertação de Mestrado), 2006.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, P. E. “**Spouted Beds**”. Academic Press Inc. LTD., Nova Iorque, p.304, 1974.

MATHUR, K. B.; GISHLER, P. E. “**A technique for contacting gases with coarse solid particles**”. AIChE Journal, v. 1, n. 2, p. 157–164, 1955.

MOLINER, C.; MARCHELLI, F.; BOSIO, B.; ARATO, E. “**Modelling of spouted and spout-fluid beds: Key for their successful scale up**”. Energies, v. 10, n. 11, 2017.

MOLINER, C.; MARCHELLI, F.; SPANACHI, N.; MARTINEZ-FELIPE, A.; BOSIO, B.; ARATO, E. “**CFD simulation of a spouted bed: Comparison between the Discrete Element Method (DEM) and the Two Fluid Model (TFM)**”. Chemical Engineering Journal, v. 10, n.1, 2018 .

OLAZAR, M.; SAN JOSÉ, M. J.; IZQUIERDO, M. A.; ORTIZ DE SALAZAR, A.; BILBAO, J. “**Effect of operating conditions on solid velocity in the spout, annulus and fountain of spouted beds**”. Chemical Engineering Science, v. 56, n. 11, p. 3585–3594, 2001.

SAHIN, S.; SUMNU, G.; TUNABOYU, F. “**Usage of solar-assisted spouted bed drier in drying of pea**”. Food and Bioproducts Processing, v. 91, n. 3, p. 271–278, 2013.

SANTOS, K. G. “**Aspectos Fundamentais Da Pirólise De Biomassa Em Leito De Jorro: Fluidodinâmica E Cinética Do Processo**”. PPGEQ/UFU, Uberlândia – MG, 266p. (Tese de Doutorado), 2011.

SUTKAR, V. S.; DEEN, N. G.; KUIPERS, J. A. M. “**Spout fluidized beds: Recent advances in experimental and numerical studies**”. Chemical Engineering Science, v. 86, p. 124–136, 2013.

SYAMLAL, M.; O’BRIEN, T. J. “**Computer Simulation of Bubbles in a Fluidized Bed**”. AIChE Symp., n. 85, p. 22–31, 1989.

WEN, C.; YU, Y. H. “**Mechanics of fluidization**”. Chem. Eng. Prog. Symp. Ser., v.62, n.62, p.100.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Açairana 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 112, 116

Ácido ascórbico 74, 76, 78, 79, 80

Análise estatística 5, 97, 111, 162, 167, 168

B

Bioetanol 44, 45, 46, 52

C

Camu-camu 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) 16, 17

Cerveja 54, 55, 57, 58, 59, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

Cerveja artesanal 64, 73, 74, 76, 77, 78, 81

Chá verde 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Cimentação 140

Cinética 7, 18, 23, 27, 44, 48, 49, 50, 51, 97, 98, 103, 104, 105, 106, 153, 154, 160, 194, 196, 204, 209, 210

Cinética de adsorção 44, 48, 50, 51

Colorimetria 109

Corante natural 109

Custos de produção 75, 88, 89, 90, 91, 93

D

Deposição de carbono 126, 127, 203

Destilação Solar 30, 31, 32, 43

E

Efluente 119, 120, 121, 123, 124, 125

Energia Solar 30, 31, 32, 42, 43

Enzimas lipolíticas 89, 92, 94, 95

Espectrofotometria UV-VIS 134

Estatística 1, 5, 72, 97, 111, 115, 162, 167, 168

Etanol 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 16, 17, 30, 31, 32, 43, 45, 46, 52, 53, 70, 91, 92, 109, 110, 114, 115, 116, 128

F

Farelo de Arroz 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Fermentação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 45, 46, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 71, 72, 79, 88, 89, 90, 92, 94, 95, 163

Fermentação em Estado Sólido 88, 89, 90, 94

Flexitubos 140

Furfural 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52

H

Hidrocarbonização 119, 120, 123, 124, 125

I

Inibidor 44, 47, 49, 51, 52

L

Lavanderia 119, 121, 124, 125

Leveduras 6, 7, 45, 46, 54, 58, 61, 63

Lúpulo 55, 57, 65, 67, 68, 71, 72, 75, 76

M

MCM-41 18, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133

Métodos não isotérmicos 16, 19, 27

Miconia ciliata 96, 97, 98, 100, 103, 106, 107, 108, 109, 110, 117

Modelagem 10, 11, 12, 27, 49, 94, 97, 145, 152, 153, 159, 194, 204

Modificação 42, 126

O

Ortofenantrolina 134, 136

P

Parâmetros cinéticos 16, 19, 20, 27, 28, 48, 51

R

Resíduos agroindustriais 89, 90, 95

Resina de troca iônica 134, 136, 138

S

Saccharomyces cerevisiae 1, 2, 3, 6, 61, 63, 64, 68

Sustentabilidade 30

T

Troca térmica 139, 140, 142, 144, 146

Trub 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64

 **Atena**
Editora

2 0 2 0