



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
Letícia 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

Rogerio Navarro Correia de Siqueira
Taiane Zocatelli
Eduardo de Albuquerque Brocchi

DOI 10.22533/at.ed.76920300121

SOBRE A ORGANIZADORA..... 201

ÍNDICE REMISSIVO 202

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

Data de submissão: (04/11/2019)

Data de aceite: 21/01/2020

Seropédica – Rio de Janeiro

<http://lattes.cnpq.br/7777291180260276>

Lorena Rodrigues Justino

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Engenharia Química
Seropédica – Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/2482574081301133>

Caroline Eulino Gonçalves Pereira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Engenharia Química
Seropédica – Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/5861902616811620>

Beatriz Rosas Oliveira

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Engenharia Química
Seropédica – Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/4098583156031850>

Eduardo Cunha Hora Paraíso

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Engenharia Química
Seropédica – Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/1025525693706269>

Luís Américo Calçada

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Engenharia Química
Seropédica – Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/5259178085279570>

Cláudia Míriam Scheid

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Departamento de Engenharia Química

RESUMO: O abandono de poço é realizado quando não há mais exploração de petróleo naquele local, ou quando a área apresenta riscos ao meio ambiente. Para isto, diferentes tipos de fluidos são bombeados no poço, dentre eles a pasta de cimento. Este bombeamento pode ser feito por um sistema coiled tubing, que é um tubo de aço longo e flexível enrolado em um carretel. Sabe-se que durante o escoamento, diferentes trocas de calor afetam a temperatura do fluido, sendo importante prever e controlar esta variação a fim de que o cimento não endureça antes do tempo previsto. Este trabalho tem como objetivo avaliar a troca térmica no escoamento em coiled tubing através de experimentos em uma unidade piloto e a partir dos resultados propor e validar um modelo que possa prever a variação de temperatura. Uma unidade experimental foi construída de forma semelhante ao caso real. Experimentos foram realizados utilizando a água, a uma temperatura de 45°C e vazões de 0,20 e 0,65 m³/h, bombeados em coiled tubing de 380 m durante aproximadamente 3 horas. As temperaturas foram aquiritadas, e a partir delas um modelo foi proposto considerando a troca de calor por atrito, por convecção natural

e por radiação.

PALAVRAS-CHAVE: Flexitubos, troca térmica e cimentação.

PRELIMINAR AVALIATION OF HEAT TRANSFER IN A PILOT PLANT OF A COILED TUBING SYSTEM

ABSTRACT: The well abandonment is done when there is no more oil exploration in that area, or when the area presents risks to the environment. For this, different types of fluids are pumped into the well, including cement slurry. This pumping can be done by a coiled tubing system, which is a long and flexible steel tube wrapped in a reel. It is known that during fluid flow, different heat exchanges affect the temperature of the fluid, and it is important to predict and control this variation so that the cement does not dry before the expected time. This article aims to evaluate experimentally the thermal exchange in the fluid flow in a coiled tubing pilot unit and, from the results, propose and validate a model that can predict the temperature variation. An experimental unit was built in a similar way to the real case. Experiments were performed using water, at a temperature of 45°C and flow rate of 0.20 and 0.65 m³/h, pumped in the coiled tubing of 380 m for approximately 3 hours. The temperatures were acquired, and a model was proposed considering the heat transfer by friction, by natural convection and by radiation.

KEYWORDS: Flexitubos, heat transfer and cementing.

1 | INTRODUÇÃO

Sabe-se que na indústria de petróleo, todo poço construído um dia será abandonado seja para evitar um dano ambiental ou quando sua exploração não é mais economicamente viável. Utilizado em diversas aplicações na área do petróleo, o sistema coiled tubing é composto por uma bobina e um tubo de aço enrolado longo e flexível, onde parte do tubo fica enrolado em um carretel, enquanto a outra parte é direcionada ao poço. Neste tubo, bombeia-se água, pasta de cimento e fluido de deslocamento, que são fluidos fundamentais para o abandono do poço. Este é feito por meio de tampões de cimento em diversas profundidades, onde pasta de cimento é bombeada através da parte enrolada do sistema, em que há troca de calor entre o fluido e o ambiente. Torna-se de suma importância o estudo da troca térmica de fluidos em um sistema coiled tubing, principalmente no escoamento de pastas de cimento (Fernandes; Pizzo; Moraes, 2006). Dessa forma será possível evitar que a mesma cure antes do tempo previsto (Pereira, 2018). A Figura 1, apresenta um sistema coiled tubing.

Neste trabalho, pretende-se prever a troca térmica entre o fluido e o ambiente assim como a troca gerada pelo atrito do fluido ao escoar. Para isso experimentos foram conduzidos em uma unidade piloto e um balanço de energia foi proposto com o intuito de avaliar a variação de temperatura na entrada e na saída do sistema.



Figura 1 – Sistema coiled tubing (Fonte: GROVER e BARDEN, 2015).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, buscou-se construir uma unidade piloto que fosse correspondente ao caso real. Utilizou-se uma bobina com tubo de cobre enrolado, que por sua vez possui uma similaridade com o caso real. Essa bobina possui 375,8 m de comprimento divididos em 8 camadas onde em cada camada há medições de temperatura e pressão. Para determinar as pressões e temperaturas utiliza-se, respectivamente, transmissores de pressão e termopares, que medem a temperatura do fluido, do tubo e do ambiente. A Figura 2 mostra o sistema coiled tubing e um esquema da unidade experimental completa.

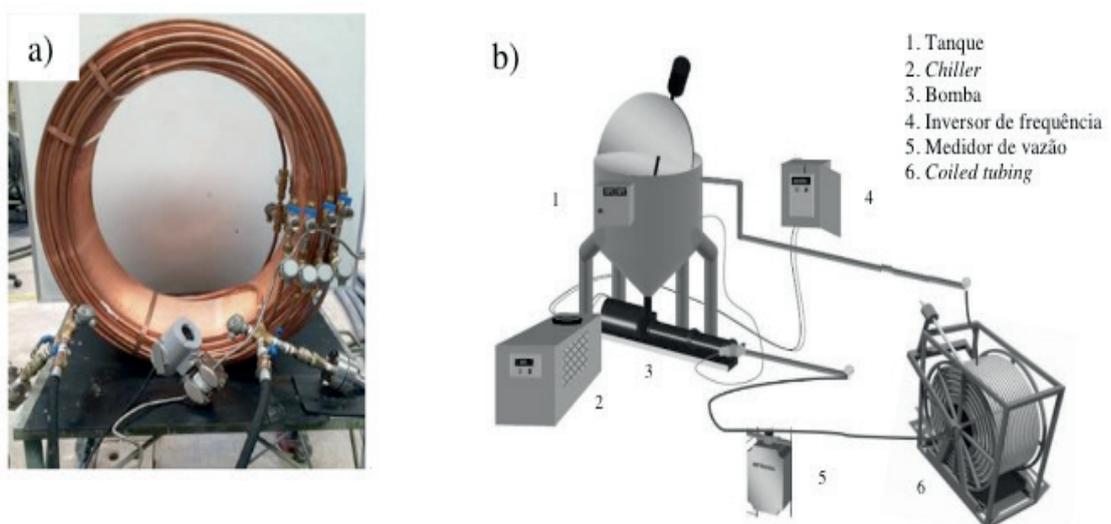


Figura 2 - a) Sistema *coiled tubing* da unidade piloto e b) unidade experimental.

O fluido é preparado em um tanque que possui uma camisa e um *chiller* para controle da temperatura inicial. O *coiled tubing* é acoplado a um sistema de bombeio

composto por uma bomba de deslocamento positivo. Sendo assim, o fluido é bombeado em um sistema fechado retornando para o tanque. Os dados de pressão, temperatura e vazão são adquiridos por um software sendo possível acompanhar os resultados em tempo real.

Os experimentos foram realizados utilizando como fluido a água a uma temperatura inicial constante de 45°C e temperatura ambiente de aproximadamente 25°C. A água foi escolhida por ser um fluido Newtoniano, com propriedades físico-químicas familiares e por ter viscosidade modificada somente pela temperatura. O fluido foi bombeado em duas diferentes vazões (0,2 e 0,65m³/h) a fim de se avaliar a influência da vazão na troca térmica, assim como o atrito gerado. Os dados foram adquiridos a cada minuto durante 3 horas.

A fim de se estudar a troca térmica ao longo do *coiled tubing*, um balanço de energia foi proposto. O calor sensível para alterar a temperatura na entrada e saída do sistema é afetado por duas formas de troca de calor: o calor recebido por atrito e o que é perdido por convecção natural e por radiação. A radiação térmica foi considerada visto que todos os corpos emitem radiações térmicas proporcionais às suas temperaturas. As Equações 1 e 2 representam o balanço de energia proposto.

$$q_{sensível} = q_{atrito} - (q_{convecção\ natural} + q_{radiação}) \quad (1)$$

$$\rho Q c_p (T_{f\ sai} - T_{f\ entra}) = \Delta P \cdot Q - \left[\sum \bar{h}_e A (T_{t\ média} - T_{amb}) + \sigma \varepsilon A (T_{t\ média}^4 - T_{amb}^4) \right] \quad (2)$$

sendo $q_{sensível}$ a taxa de calor sensível (W), q_{atrito} a taxa de calor por atrito (W), $q_{convecção\ natural}$ a taxa de calor por convecção natural (W), $q_{radiação}$ a taxa de calor por radiação (W). Na Equação 2, tem-se ρ a densidade do fluido (kg/m³), Q a vazão volumétrica (m³/s), c_p calor específico do fluido (J/kg.K), $T_{f\ sai}$ temperatura de saída do fluido (K), $T_{f\ entra}$ temperatura de entrada do fluido (K), ΔP queda de pressão total (Pa), \bar{h}_e coeficiente convectivo de troca térmica médio externo (W/m²K), A área de troca térmica (m²), $T_{t\ média}$ temperatura média do tubo de cobre (K), T_{amb} temperatura ambiente (K), σ constante de Stefan Boltzmann (5,67x10⁻⁸ W/m²K⁴), ε emissividade do cobre (0,6 adimensional).

Como o sistema possui diversas faces, foi necessário avaliar a troca térmica separadamente em cada uma delas. Para isso, fez-se uma consideração de que o *coiled tubing* é um cilindro maciço com uma região anular onde a área externa e interna do cilindro foi estendida. Correlações de Nusselt (Nu) foram utilizadas para o cálculo do coeficiente convectivo de calor (h) segundo a Equação 3. As direções de troca térmica consideradas, assim como as correlações de Nusselt, faixa de aplicação, comprimento característico e área de troca térmica correspondentes às faces estão representadas abaixo. As correlações foram propostas Churchill e Chu (1975) apud Bergman et al. (2014).

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h}L_c}{k_f} \quad (3)$$

Escoamento externo em cilindro horizontal (Figura 3 e Equações de 4 a 6):



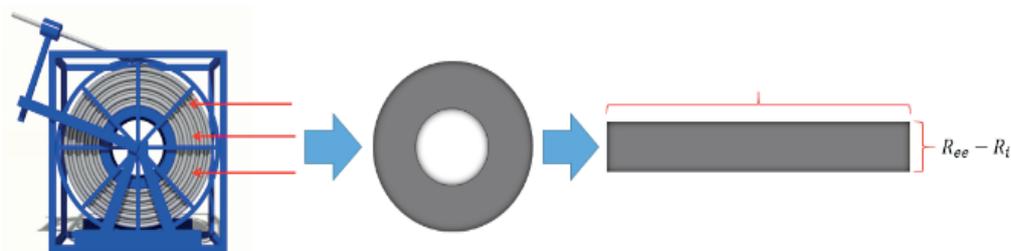
$$\overline{Nu}_D = \left\{ 0,60 + \frac{0,387Ra_D^{1/6}}{[1+(0,559/Pr_r)^{9/16}]^{8/27}} \right\} 2 \quad (4)$$

$$L_c = D_{ee} \quad (5)$$

$$A_c = 2\pi R_{ee}L_e \quad (6)$$

Figura 3 – Esquema do escoamento externo em cilindro horizontal.

Escoamento em placa vertical nas duas faces (Figura 4 e Equações de 7 a 9):



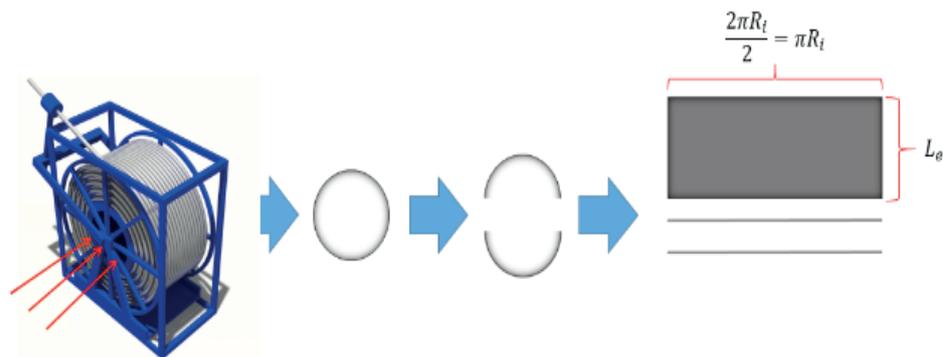
$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra_L^{1/6}}{[1+(0,492/Pr_r)^{9/16}]^{8/27}} \right\} 2 \quad (7)$$

$$L_c = R_{ee} - R_i \quad (8)$$

$$A_L = \pi(R_{ee}^2 - R_i^2) \quad (9)$$

Figura 4 – Esquema do escoamento em placa vertical.

Escoamento em placa plana horizontal (Figura 5 e Equações de 10 a 13):



$$\text{Superfície inferior: } \overline{Nu}_L = 0,15Ra_L^{1/3} \quad (10)$$

$$\text{Superfície superior: } \overline{Nu}_L = 0,52Ra_L^{1/5} \quad (11)$$

$$L_c = \frac{\text{área}}{\text{perímetro}} = \frac{\pi R_i L_e}{2(\pi R_i + L_e)} \quad (12)$$

$$A_L = \pi R_i L_e \quad (13)$$

Figura 5 – Esquema do escoamento em placa plana horizontal.

Sendo \bar{h} o coeficiente convectivo médio (W/m^2K), \overline{Nu}_L e \overline{Nu}_D o número de Nusselt médio, (adimensional), l o comprimento característico (m), Ra_L e Ra_D o número de Rayleigh (adimensional), Pr o número de Prandtl (adimensional), L_c o comprimento característico (m), A_c e A_L a área de troca térmica (m^2), R_i o raio interno do carretel (m), R_{ee} o raio externo do carretel com comprimento estendido (m) e L_e a largura do carretel com comprimento estendido (m).

A taxa de calor por convecção natural é apresentada na forma de somatório na Equação 2 devido às considerações feitas quanto à geometria da unidade. A Tabela 1 apresenta alguns dados utilizados nos cálculos deste trabalho.

Densidade da água (kg/m^3)	Calor específico da água ($J/kg.K$)	Viscosidade da água a $45^\circ C$ ($Pa.s$)	Condutividade térmica da água ($W/m.K$)	Area externa (m^2)	Área interna (m^2)	Área Lateral (m^2)
990	4180	0,0006	0,63	1,17	0,77	0,39

Tabela 1 – Dados para cálculo da troca térmica

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos gráficos da Figuras 6 tem-se a variação da temperatura pelo tempo nas vazões de 0,2 e 0,65 m^3/h .

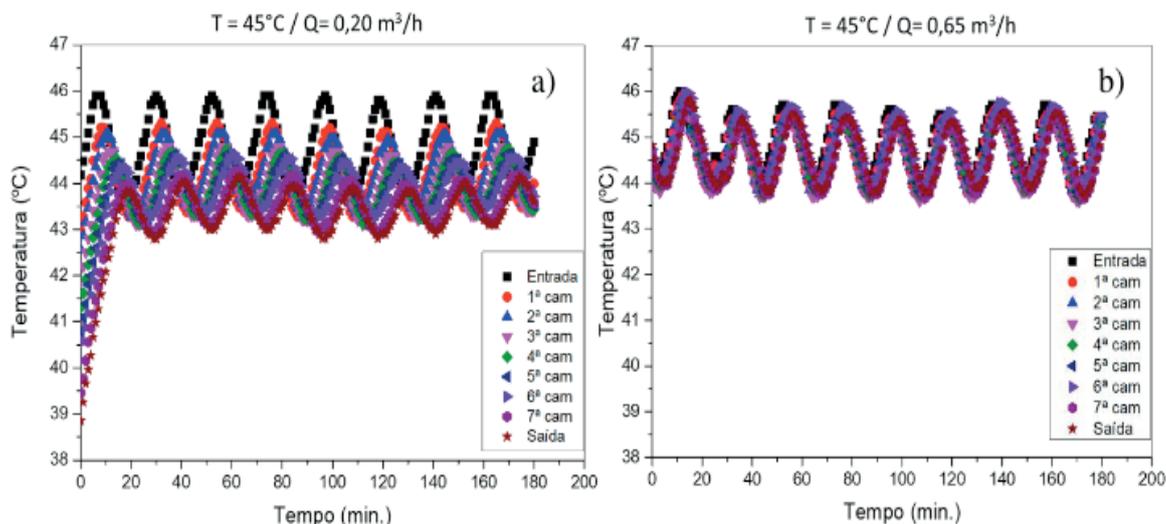


Figura 6 - Temperatura do fluido em todas as camadas com temperatura do fluido de entrada desejada de 45°C a) 0,20 m³/h e b) 0,65 m³/h.

O gráfico tem um comportamento senoidal devido à dificuldade no controle de temperatura do fluido no tanque. Nota-se que quando a vazão é baixa a temperatura de saída é menor que a de entrada, enquanto que em vazão mais alta percebe-se que a temperatura na entrada e na saída são praticamente as mesmas. Isto revela que em uma alta vazão, a perda de calor é compensada pelo ganho de calor por atrito, o que não ocorre em uma baixa vazão.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos pela modelagem proposta assim como o erro absoluto calculado pela diferença entre o calor sensível e a soma dos calores de atrito, convecção e radiação calculados. O calor sensível foi calculado utilizando a diferença de temperatura experimental obtida. Vale ressaltar que devido às oscilações experimentais, foi feita uma média da temperatura em cada camada. Os resultados são: a taxa de calor sensível, atrito, convecção natural e radiação, e o erro absoluto para cada vazão.

Q (m ³ /h)	$q_{sensivel}$ (W)	q_{atrito} (W)	$q_{conv ext}$ (W)	q_{rad} (W)	$q_{atrito} - q_{conv ext} - q_{rad}$ (W)	Erro Absoluto (%)
0,20	-292	10,74	109,63	124,44	-225	23,1
0,65	-23	275,76	131,46	141,87	-2	89,5

Tabela 2 - Resultado do balanço de energia proposto para o experimento de 45°C nas duas vazões.

Pode-se observar que o modelo não se ajusta aos dados experimentais, ainda que em uma menor vazão o erro obtido seja relativamente aceitável. Desta forma, deve-se reavaliar os termos considerados para o cálculo da variação da temperatura do fluido ao escoar.

4 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados, conclui-se a importância do estudo da troca térmica do fluido com o ambiente, bem como o ganho de calor por atrito e a perda de calor por convecção natural e radiação. O modelo proposto ainda não foi capaz de prever satisfatoriamente a variação de temperatura. Logo, pretende-se propor um novo balanço de energia reavaliando os termos considerados no cálculo da variação de temperatura do fluido ao escoar.

REFERÊNCIAS

BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, 7 ed., Rio de Janeiro: LTC, Cap. 9, p. 386, 389, 390, 2014

CHURCHILL, S. W.; CHU, H. H. S. Int. J. Heat Mass Transfer, 18, p. 1049 e 1323, 1975

FERNANDES, F. A. N.; PIZZO, S. M.; MORAES Jr., D. Termodinâmica química, 1ª ed., 2006

GROVER, J; BARDEN, A. Coiled tubing offers pre-commissioning tool for deepwater pipelines. 2015. Disponível em: <<http://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-75/issue-6/pipelines-flowlines/coiled-tubing-offers-pre-commissioning-tool-for-deepwater-pipelines.html>> Acesso em: set. 2017.

PEREIRA, C. E. G. Estudo da Perda de Carga no Escoamento de Fluidos Newtonianos em Coiled Tubing. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

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