



# 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<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> 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](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>16</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>30</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>54</b>
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 TEXTURAS 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**

## USO DA ENERGIA SOLAR NA DESTILAÇÃO DO ETANOL APLICADO NA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE COCO

Data de submissão: 23/11/2019

Data de aceite: 21/01/2020

Uberaba – Minas Gerais

<http://lattes.cnpq.br/9680475824447820>

### **Lucas Rodrigo Custódio Silva**

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,  
Departamento de Química  
Uberaba – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9281477228100823>

### **Marina Barbosa Maluf Ribeiro**

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,  
Departamento Engenharia Química  
Uberaba – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/4141996792834715>

### **Amanda Dornelas Oliveira**

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,  
Departamento Engenharia Química  
Uberaba – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/1038731583779846>

### **Caroline Santos Silva**

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,  
Departamento Engenharia Química  
Uberaba – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/0354040436518609>

### **Érica Victor de Faria**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Química  
Uberlândia – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9209918562242436>

### **Kássia Graciele dos Santos**

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,  
Departamento Engenharia Química

**RESUMO:** O uso da energia solar como fonte de energia renovável tem se tornado uma boa alternativa sustentável nos dias de hoje e seu emprego tem crescido. Os destiladores solares têm como fonte de energia a luz solar, afim de tornar o processo de destilação mais sustentável. Nesse contexto, o presente trabalho consistiu em destilar uma mistura de etanol e óleo de coco com a intenção de reuso do solvente em futuros experimentos, de maneira a tornar o processo mais econômico e sustentável. Para o processo de destilação, construiu-se um destilador solar de duas vertentes variando-se três volumes de mistura a serem colocados para destilação em batelada, a fim de estudar a influência da espessura da película na eficiência da recuperação do solvente. Obteve-se um rendimento máximo de 84,2% e a espessura de líquido ótima obtida através dos experimentos foi de 0,16 cm, na qual, obteve-se a maior taxa de recuperação do álcool. O presente trabalho apresentou um processo de destilação completamente sustentável e sem gastos energéticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar. Etanol. Destilação Solar. Sustentabilidade.

## THE USE OF SOLAR ENERGY IN THE ETHANOL DISTILLATION APPLIED IN COCO OIL EXTRACTION

**ABSTRACT:** The use of solar energy as a renewable energy source has become a good sustainable alternative today and its employment has grown. Solar distillers are powered by sunlight to make the distillation process more sustainable. In this context, the present work consisted of distilling a mixture of ethanol and coconut oil with the intention of solvent reuse in future experiments, in order to make the process more economical and sustainable. For the distillation process, a two-strand solar distiller was constructed by varying three volumes of mixture to be placed for batch distillation in order to study the influence of film thickness on solvent recovery efficiency. A maximum yield of 84.2% was obtained and the optimum liquid thickness obtained through the experiments was 0.16 cm, where the highest alcohol recovery rate was obtained. The present work was satisfactory in relation to the proposed objectives, presenting a completely sustainable process and without energy expenditure.

**KEYWORDS:** Solar Energy. Ethanol. Solar Distillation. Sustainability.

### 1 | INTRODUÇÃO

Uma extensa lista de trabalhos têm sido relatados na literatura quanto o uso da energia solar empregado nos processos de destilação da água, seja para obtenção de água potável (SOARES, 2004;) ou para tratamento de efluentes (SOUZA 2010), visando melhorar a qualidade dos mesmos para despejo.

Sabe-se que a destilação é uma Operação Unitária que integra o conjunto das operações baseadas na transferência de massa. O mecanismo subentendido a esta operação de separação é o do equilíbrio líquido/vapor. Ao fornecer calor a uma mistura líquida, se promovermos a sua vaporização parcial, obtemos duas fases, uma líquida e outra de vapor, que têm composições diferentes. As aplicações industriais do processo de destilação são várias, sendo uma das mais conhecidas a separação de misturas de hidrocarbonetos na indústria petroquímica.

A aplicação do processo de destilação solar foi estudada para a finalidade de recuperação de etanol, empregado anteriormente como solvente na extração de oleoresina de coco (*Cocos nucifera*) cuja concentração em extrato etanólico permitiu que a destilação se mostrasse vantajosa na possível reutilização.

No processo de extração por solvente, normalmente utiliza-se o hexano como solvente, que tem ponto de ebulição ao redor de 70°C. Apesar de seu alto poder extrativo, o hexano começou a perder espaço como solvente no mercado a partir do final da década de 1970, visto que nesse período teve um aumento no preço de derivados de petróleo e sua alta toxicidade (CRUZ, 2012-b).

O etanol tem ganhado espaço como solvente, pois trata-se de uma substância que é polar, biodegradável, não tóxico e possui grande potencial para a extração de óleo (TOMAZIN JUNIOR, 2008). Dessa forma, este se destaca como sendo uma boa

alternativa para a substituição do hexano como solvente de extração sem perdas de rendimento.

Devido à alta produção nacional, a utilização do etanol como solvente para a extração de óleos se tornou atrativa (RODRIGUES, 2011). Além disso, apresenta baixo custo, disponibilidade e independe do mercado internacional.

A destilação é um processo que utiliza o calor para separar os componentes de uma mistura homogênea com base na diferença de suas temperaturas de ebulição. Devido ao fato da energia solar ser uma fonte de energia limpa, abundante e inesgotável, sua utilização em diversos processos, como na destilação solar, desperta grande interesse e vem sendo objeto de diversos estudos atualmente. De acordo com Arslan (2012), o processo de destilação solar tem um futuro promissor, sendo esta uma fonte de energia limpa e abundante, sendo assim um método acessível a todos.

A destilação solar pode ser dividida como direta (passiva) e indireta (ativa). O sistema passivo recebe energia proveniente apenas do sol e já no caso da ativa, o sistema recebe além da radiação solar, uma parcela extra de calor advinda de outra fonte de energia (JORGE, 2011). Sabe-se que, em relação à produtividade, a destilação solar ativa possui vantagens com relação à passiva, porém do ponto de vista ambiental, a destilação passiva é mais favorável visto que utiliza apenas uma fonte de energia limpa, o sol (TIWARI et al. 2007).

Existem alguns parâmetros influentes na destilação solar, que Garg et al. (1976) cita sendo os parâmetros climáticos, como por exemplo, a radiação solar, a velocidade do vento, a temperatura do ambiente, as condições do céu e a umidade. Ainda de acordo com o autor, os ventos aumentam a produtividade do destilador, elevando a taxa de condensação.

Além dos fatores climáticos, o design do destilador e sua disposição influenciam bastante na eficiência térmica do mesmo, bem como nos rendimentos. Quanto ao ângulo de inclinação da cobertura, comumente admite-se que a melhor inclinação para a cobertura é a soma da latitude local mais  $15^\circ$ .

A destilação realizada em destilador solar do tipo tanque raso (basin type) é um processo bastante simplificado, semelhante ao processo natural. A radiação solar esquentando o líquido contido no tanque (ou cuba rasa de material específico) construído ou não com material escuro (a fim de reter calor). O líquido se vaporiza e o vapor se condensa na cobertura de vidro (que tem uma temperatura mais baixa). A lâmina de água destilada é então coletada em uma canaleta construída na parte interna lateral do destilador.

A energia solar fica retida no equipamento devido ao vidro ter transparência alta. Quando o líquido evapora, as impurezas com menor poder de evaporação ficam retidas no fundo do equipamento. Ao manter a cobertura de vidro inclinada, evita-se o retorno das gotas do líquido para o tanque. Os melhores materiais para a cobertura são os vidros temperado ou comum. Os plásticos não são tão apropriados porque podem gerar um efeito chamado de wetttable - em que gotas de água não se fixam

bem à cobertura e acabam por cair de volta no tanque (MALUF, 2005).

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Construção da Unidade Destiladora

Baseado nas informações coletadas na revisão da literatura optou-se pela construção de um destilador do tipo tanque raso, constituído por uma cobertura de vidro tipo telhado duas vertentes. Seu interior possui um recipiente revestido por uma cobertura preta, no qual fica contida a mistura a ser destilada, canaletas em suas laterais inferiores e recipientes para a coleta do condensado.

Para construção do destilador, utilizou-se como base as medidas de um destilador construído por Faria et.al. (2015), porém de outra geometria. Primeiramente, realizou-se a confecção da cobertura de vidro no formato de um telhado, apresentada na Figura 1. Tal geometria foi escolhida devido à sua maior superfície de condensação, a fim de facilitar a passagem do vapor de álcool para o estado líquido. De acordo com a literatura, o melhor ângulo para a cobertura, a fim de maximizar a incidência solar é a latitude local mais  $15^\circ$ , logo, considerando a latitude da cidade de Uberaba  $19^\circ$  aproximadamente, o ângulo de inclinação da cobertura de vidro foi de  $34^\circ$ .

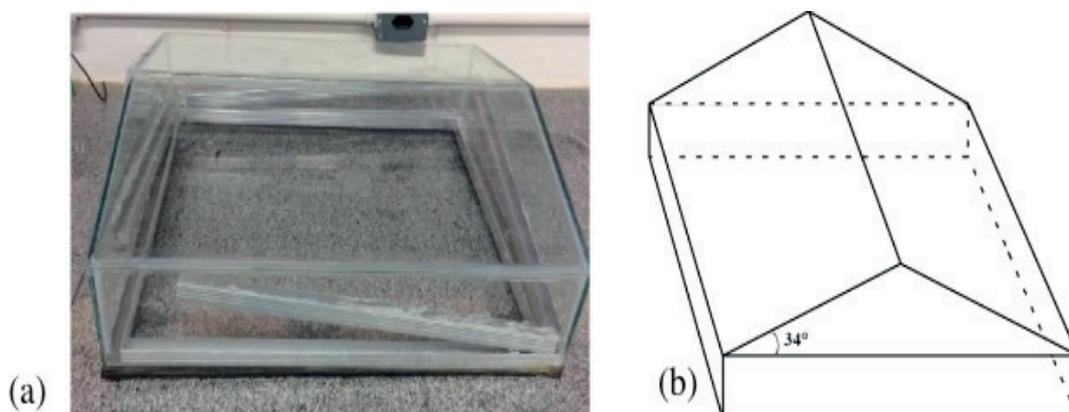


Figura 1: Cobertura do destilador: (a) Aspecto da cobertura e canaletas de alumínio; (b) representação esquemática e ângulo de inclinação

Fonte: Autores (2017).

Toda a unidade experimental utilizada para os experimentos de destilação é composta por uma mesa de tampo quadrado de madeira, onde é apoiada uma bacia de alumínio coberta com tinta preta. Por cima da bacia, como um telhado, está a cobertura de vidro construída. Nas paredes da cobertura há canaletas de alumínio para a coleta do álcool condensado (Figura 1). O líquido desce por mangueiras para dois recipientes de vidro graduados. As mangueiras foram coladas na saída das canaletas com cola de silicone.

Entre a bacia e a mesa, foi colocado uma placa quadrada de isopor revestida

com papel filme preto fosco. O interior da bacia foi pintado com tinta automotiva preta fosca. Nas bordas da cobertura de vidro, que ficava em contato com o isopor, foram coladas com cola silicone, tiras de borracha. Também para auxiliar na vedação do equipamento, amarrou-se elásticos em sua volta para pressionar a cobertura de vidro sobre a base de isopor como mostrado na Figura 2. A amostra utilizada para a destilação foi uma mistura de óleo e álcool de concentração 0,12%. Foram utilizados cinco termopares e um multímetro.

Nas duas extremidades do destilador por onde o álcool escoava, foram fixadas duas mangueiras de ¼ in de diâmetro. Na saída das mangueiras haviam recipientes de vidros graduados para a coleta do álcool condensado.

Foi empregada uma bacia de alumínio de dimensão 45x45x7 cm, que foi pintada em seu interior com tinta automotiva de cor preta fosca, a fim de uma melhor absorção da radiação solar. Apoiou-se a bacia em uma superfície de isopor revestido com papel filme fosco, para o auxílio na vedação. Encaixou-se a estrutura de vidro sobre a bacia e foi utilizada uma mesa de madeira como suporte para o destilador, a qual também possuía dois buracos em suas extremidades para a passagem das mangueiras.

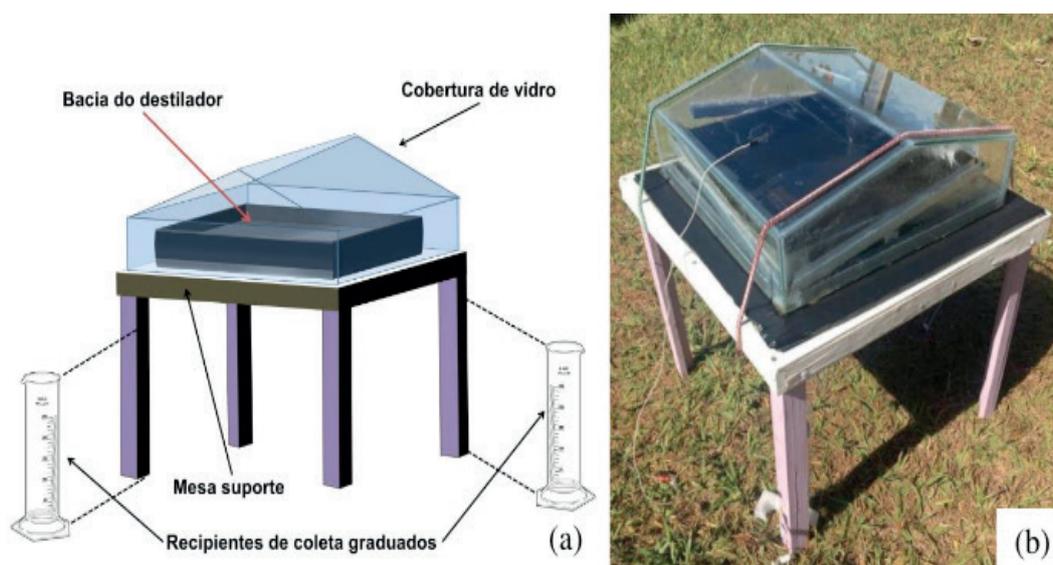


Figura 2: Destilador solar construído: (a) Representação esquemática; (b) Unidade em operação.

Fonte: Autores (2017).

## 2.2 Processo de Destilação

Com a construção da unidade experimental finalizada, foram feitos os experimentos de destilação empregando o destilador solar. Determinou-se três volumes de amostra para realizar o procedimento: 500, 750 e 1000 mL da mistura. Para cada volume, é possível calcular a espessura da película de líquido que preenche a bacia, através de sua área superficial. Os testes foram feitos com três volumes distintos com a finalidade de estudar a influência da espessura de líquido na eficiência da destilação.

O destilador foi montado em local com alta incidência de radiação solar durante o decorrer do experimento. Os experimentos foram realizados em dias com clima

ameno e baixa nebulosidade no local de operação. A cada trinta minutos, media-se o volume de álcool coletado nos recipientes e as seguintes temperaturas: do ar dentro do destilador, do lado de dentro e do lado de fora da cobertura de vidro, da parede interior da bacia e do líquido dentro da bacia. As temperaturas foram medidas utilizando termopares tipo K.

Os fatores meteorológicos como a velocidade do vento, dados de radiação solar e temperatura ambiente foram obtidos pelo site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio da central meteorológica localizada na Unidade II do Campus Univerdecidade da UFTM, em Uberaba.

### 2.3 Aspectos Quantitativos do Processo de Destilação

A fim de determinar a espessura de filme ótima que maximiza a eficiência do processo de destilação, calculou-se a espessura através da Equação 1:

$$e = \frac{V_{bacia}}{A} \quad (1)$$

Sendo  $e$  a espessura de líquido na bacia (cm),  $V_{bacia}$  o volume ainda disponível na bacia ( $m^3$ ) e  $A$  é a área útil da bacia do destilador ( $m^2$ ).

Um aspecto muito importante a ser analisado no destilador é sua eficiência, a qual expressa de acordo com a Equação 2, a relação entre a radiação solar incidente sobre o destilador e o calor transferido pela evaporação-condensação (DUFFIE; BECKMAN, 1991).

$$\eta = \frac{q_e}{A \cdot I} = \frac{m_p \cdot h_{vap}}{A \cdot I} \quad (2)$$

em que  $\eta$  é a eficiência do destilador,  $q_e$  é a quantidade de calor transferida pelo processo de evaporação-condensação,  $m_p$  é a taxa de destilado produzido ( $Kg \cdot h^{-1}$ ),  $h_{vap}$  é o calor latente de vaporização do líquido a ser destilado ( $Kcal \cdot Kg^{-1}$ ) e  $I$  é a radiação solar incidente durante a operação ( $Kcal \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ ).

Também foi possível analisar a variação das temperaturas e velocidade do vento durante a operação, bem como suas influências na produtividade volumétrica  $P_v$  do destilador. Esta foi calculada pela Equação 3, na qual  $V$  é o volume de álcool coletado (mL).

$$P_v = \frac{V}{A} \quad (3)$$

A eficiência do destilador foi estimada utilizando a Equação 4.

$$\eta = \frac{m_P \cdot h_{vap}}{A \cdot I} \cdot 100 = \frac{P_m \cdot h_{vap}}{I} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que  $P_m$  a produtividade mássica ( $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Para o cálculo da produtividade mássica, usou-se a densidade do álcool como sendo  $0,79 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

## 2.4 Destilação por alimentação contínua

Posterior a realização dos experimentos em batelada, os cálculos efetuados acerca da espessura ideal de líquido para o processo, permitiram determinar a espessura da lâmina de líquido em que a destilação é maximizada e a vazão que deve ser alimentada, de acordo com a área útil da bacia. Neste intuito, foi avaliada a performance do destilador frente a alimentação contínua realizada através de uma bomba peristáltica.

Foram feitos dois experimentos com duração de duas horas cada e efetuada a leitura das medidas de temperaturas a cada 10 minutos plotadas em gráfico. Também foram obtidas novas medidas para o rendimento global de coleta de destilado e novos valores para a eficiência térmica do destilador.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Influência das Condições Meteorológicas no Processo De Destilação

Durante os experimentos, mediu-se as temperaturas mais relevantes no processo, sendo elas: do líquido dentro da bacia, da parede interna da bacia, do ar dentro do destilador e da parte interna e externa da cobertura de vidro. Para analisar a influência da velocidade do vento na variação das temperaturas medidas, foram obtidos os dados meteorológicos para cada hora na cidade de Uberaba através do site do INMET. Todos os experimentos foram realizados por 2 h, tendo início às 10 horas e término quando o líquido presente na bacia se esgotasse.

A Figura 3 mostra a variação das temperaturas medidas e da velocidade do vento em cada intervalo de tempo para cada experimento. A velocidade do vento interfere nas temperaturas, pois, o vento, ao passar por uma superfície, troca calor com a mesma através do processo de convecção. Como é possível observar nos gráficos, quando a velocidade do vento aumenta, as temperaturas diminuem. Isso é favorável, pois uma menor temperatura na superfície da cobertura, favorece a condensação do álcool para recuperação. Porém, um grande aumento na velocidade do vento pode fazer com que a temperatura da bacia diminua, prejudicando o processo de evaporação.

Outro fator que influencia na variação da produtividade do destilador, é a radiação solar. Dessa forma, estudou-se também a interferência da radiação na produtividade, como pode ser observado na Figura 4. Através dos dados de produtividade volumétrica e radiação em função do tempo, fica evidente a influência direta da radiação solar

na produtividade do destilador. A radiação solar atua como fonte energética para a processo, fazendo com que as temperaturas de operação se elevem, e, com isso, a produtividade.

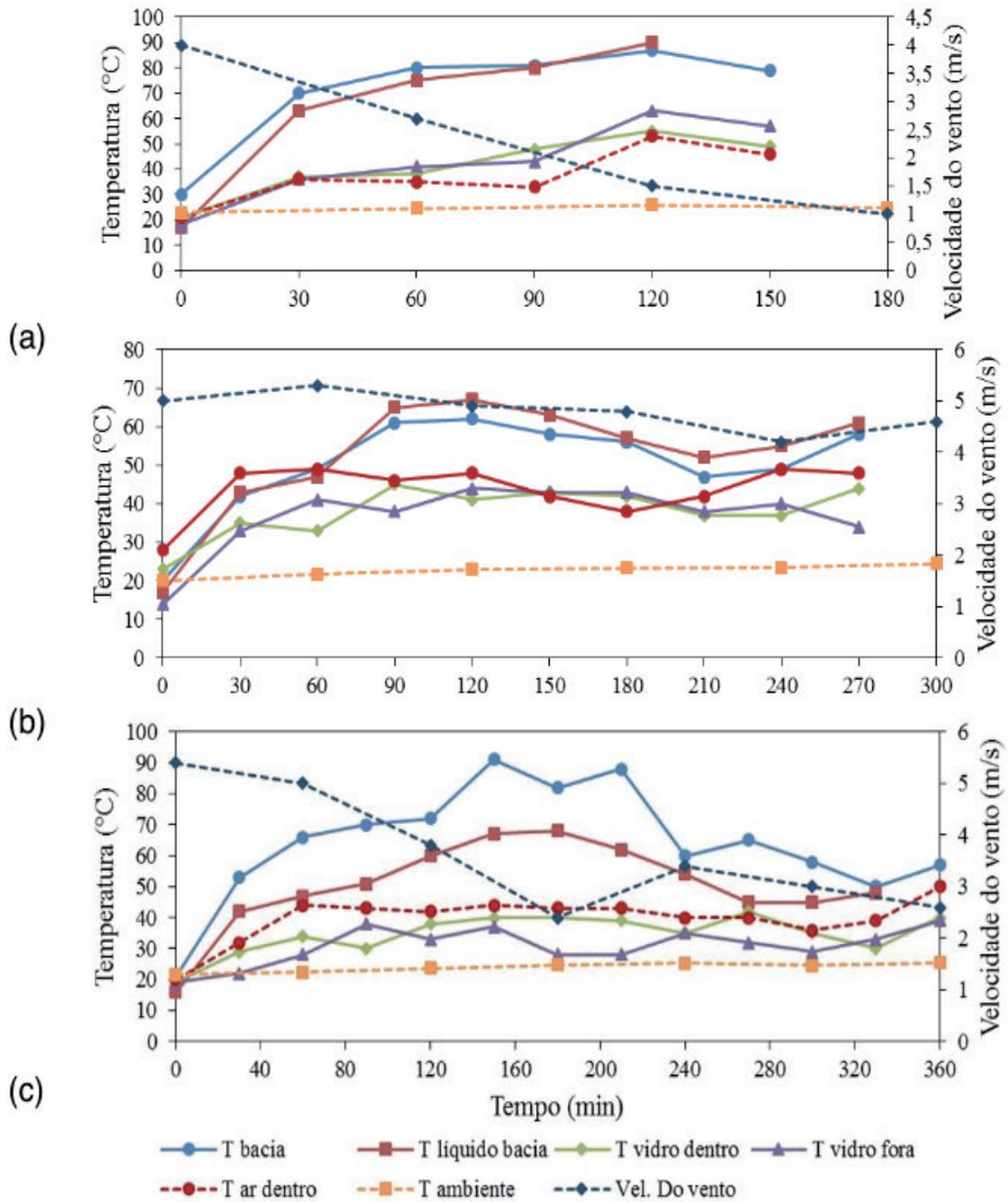


Figura 3. Temperaturas medidas e dados obtidos no INMET para o experimento com volumes iniciais de: (a) 500 mL; (b) 750 mL; (c) 1000 mL.

Fonte: Autores (2017)

### 3.2 Estudo da Espessura de Líquido Ótima Para o Processo

Um dos objetivos do presente trabalho foi a determinação da espessura de líquido ótima na bacia para uma melhor eficiência de recuperação do álcool. Assim, calculou-se a espessura do filme para cada intervalo de tempo. Os valores obtidos são mostrados na Tabela 1. É possível observar que para os intervalos de tempo em que

houveram um maior volume coletado (valores em **negrito**), as espessuras de líquido para cada experimento ficaram bem próximas entre si, em torno de 0,16 cm. Dessa forma, pode-se concluir que a espessura de líquido na bacia que promove a maior taxa de evaporação é por volta de 0,16 cm, que equivale a 324 mL de mistura no interior da bacia.

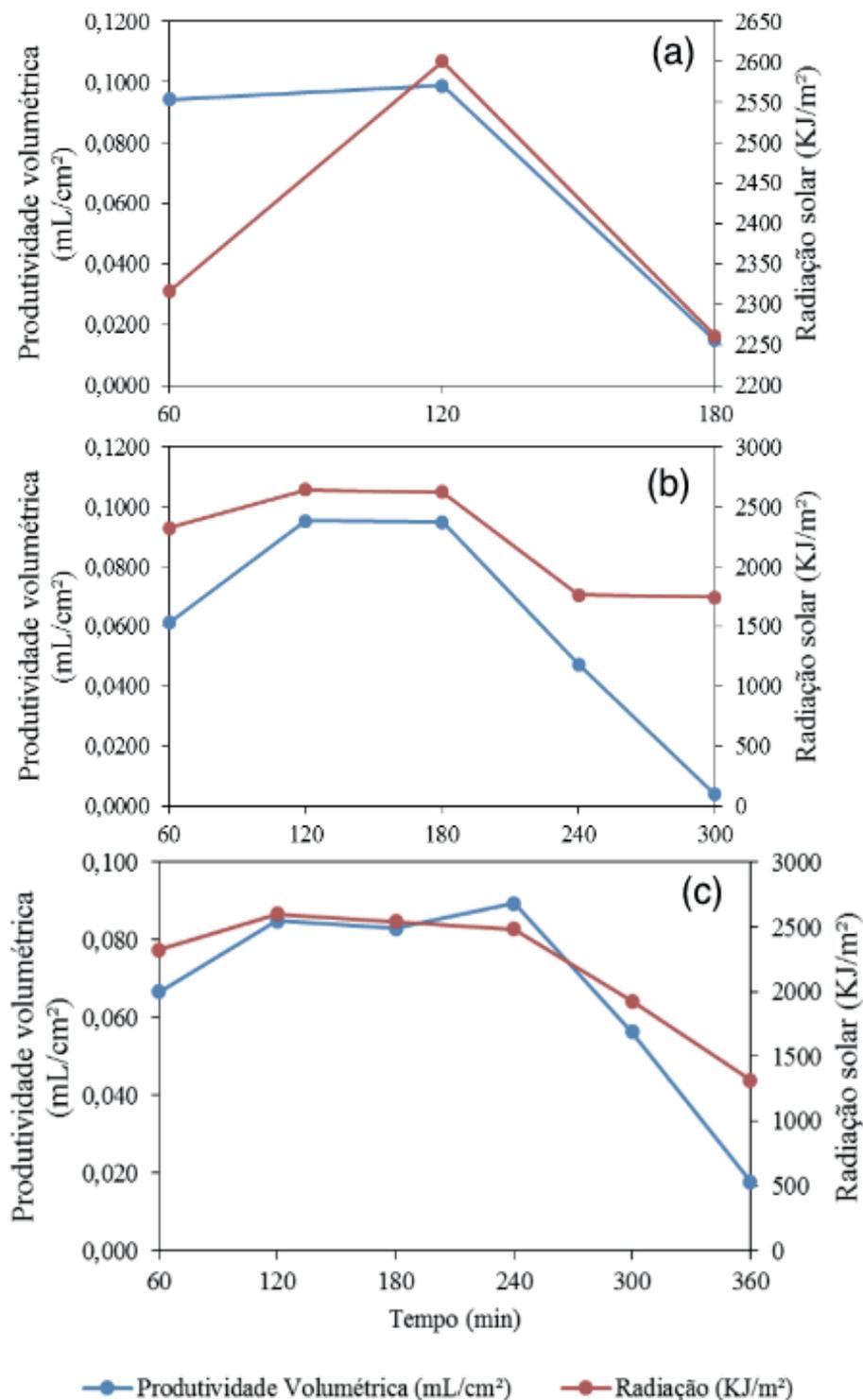


Figura 4. Gráfico de produtividade versus radiação solar para o experimento com: (a) 500 mL; (b) 750 mL; (c) 1000 mL.

Tempo (min)	1000 mL		750 mL		500 mL	
	V (mL)	Espessura (cm)	V (mL)	Espessura (cm)	V (mL)	Espessura (cm)
0	0	0,494	0	0,370	0	0,247
30	46	0,471	43	0,349	70	0,212
60	89	0,427	81	0,309	<b>121</b>	<b>0,153</b>
90	85	0,385	108	0,256	87	0,110
120	87	0,342	85	0,214	113	0,054
150	64	0,311	<b>112</b>	<b>0,159</b>	30	0,039
180	104	0,259	80	0,119		
210	71	0,224	63	0,088		
240	<b>110</b>	<b>0,170</b>	33	0,072		
270	77	0,132	8	0,068		
300	37	0,114				
330	23	0,102				

Tabela 1. Espessura de líquido no tempo para cada experimento.

Fonte: Autores (2017)

### 3.3 Análise da Eficiência do Destilador

Utilizando a Eq. 4 (eficiência), calculou-se a eficiência em cada intervalo de tempo durante a operação do destilador. Esses valores podem ser observados na Tabela 2. Também foi calculado o rendimento considerando que a quantidade de óleo processo através da razão de líquido final presente na mistura inicial é tão baixa que coletado e o inicial inserido na bacia (Tabela 3), pode ser desprezada.

Pelos valores das tabelas, observa-se que a eficiência do destilador em todos os experimentos, se mostrou baixa, sendo que o valor máximo foi de 26,86% no experimento 1. Consta-se em diversas referências que experimentos realizados na Índia mostraram valores de perdas comuns de um destilador solar. Tais perdas se devem à reflexão da radiação incidente no vidro (10%), convecção do vidro para o ambiente (12,2%), absorção no vidro (10%), radiação da cobertura de vidro para o ambiente (3,7%), condução da base do recipiente (16%) e outras perdas devido aos vazamentos de calor (9,7%) (McCracken, 1985, apud Maluf, 2005). Dessa forma, pode-se esperar que a eficiência térmica de um destilador solar apresente valores baixos. Por outro lado, o destilador construído apresentou ótimos valores para a produtividade volumétrica e eficiência de separação, fornecendo valores de rendimento acima de 80%.

V <sub>0</sub> =500 mL				
Tempo (min)	Radiação (kJ.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )	Pv (mL.cm <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> )	Taxa (mL.min <sup>-1</sup> )	Eficiência Térmica (%)
60	2316	0,0943	3,183	26,86
120	2601	0,0988	3,33	25,05
180	2261	0,0148	0,50	4,32
V <sub>0</sub> =750 mL				

Tempo (min)	Radiação (kJ.m-2.h-1)	Pv (mL.cm-2.h-1)	Taxa (mL.min-1)	Eficiência Térmica (%)
60	2324	0,0612	2,07	17,38
120	2641	0,0953	3,22	23,80
180	2624	0,0948	3,20	23,83
240	1762	0,0474	1,60	17,75

**V0=1000 mL**

Tempo (min)	Radiação (kJ.m-2.h-1)	Pv (mL.cm-2.h-1)	Taxa (mL.min-1)	Eficiência Térmica (%)
60	2322	0,067	2,25	18,94
120	2602	0,085	2,87	21,53
180	2541	0,083	2,80	21,54
240	2486	0,089	3,02	23,72
300	1925	0,056	1,90	19,29

Tabela 2. Eficiência térmica para o experimento com V0= 500, 750 e 1000 mL.

Fonte: Autores (2017)

	Volume inicial (mL)	Volume final (mL)	Rendimento (%)
Experimento 1	500	421	84,20
Experimento 2	750	613	81,73
Experimento 3	1000	806	80,60

Tabela 3. Eficiências de separação obtidas para cada experimento

Fonte: Autores (2017)

### 3.4 Destilação por alimentação contínua

Os testes de destilação foram feitos nos dias 18 (Experimento 1) e 19 (Experimento 2) de dezembro de 2017, ambos tiveram início às 13:00 do horário de verão. As temperaturas relacionadas ao processo de destilação de modo contínuo são apresentadas nos gráficos da Figura 5.

A Tabela 4 apresenta o volume total de destilado obtido nos dois experimentos. Embora os valores obtidos tenham-se mostrado menores do que o experimento em batelada, cujo rendimento alcançou um máximo de 84,2% de coleta, é importante ressaltar que os testes em regime contínuo foram realizados em tempo de operação bem menores do que o processo em batelada, na qual a duração chegou a uma média de quatro horas para destilar uma mesma quantidade aproximada de líquido.

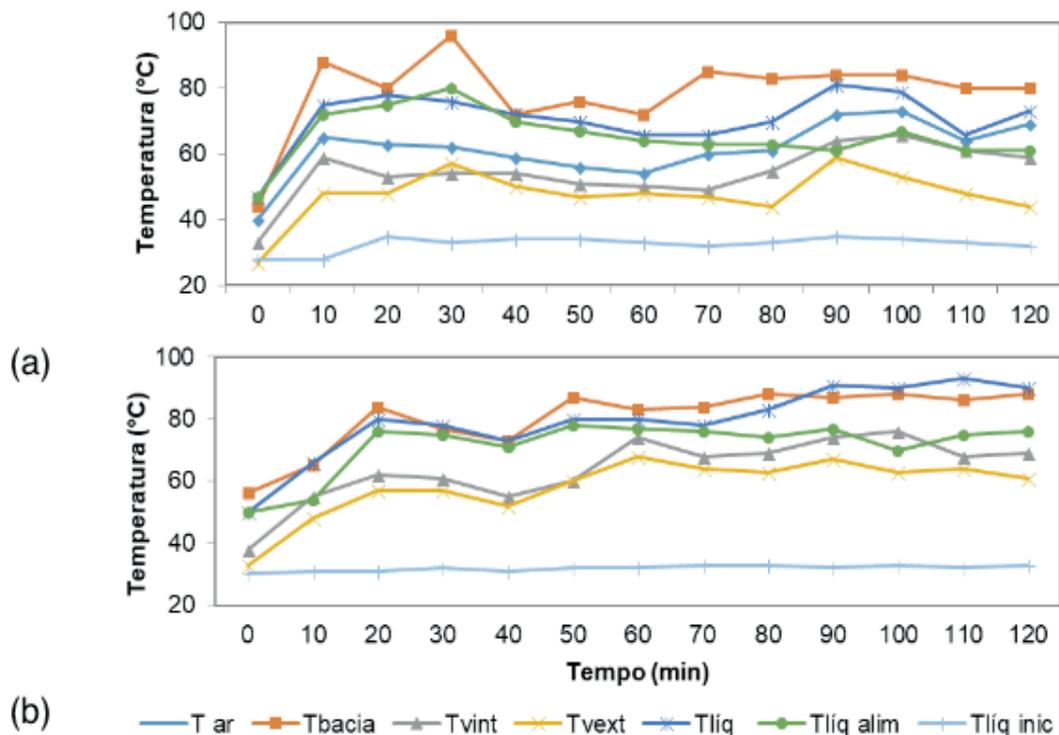


Figura 5. Temperaturas medidas e dados obtidos no INMET para os experimentos de destilação por alimentação contínua: (a) Experimento 1; (b) Experimento 2.

Fonte: Autores (2017)

	V inicial (mL)	V adicionado (mL)	V final (mL)	Rendimento (%)
Experimento 1	324	360	486	71,052
Experimento 2	324	360	517	75,585

Tabela 4. Rendimento global da destilação contínua.

Fonte: Autores (2017)

Por fim, os valores apresentados pela Tabela 5 para eficiência térmica do destilador operando com alimentação contínua aumentaram consideravelmente quando comparados aos valores obtidos para a destilação em batelada, cuja eficiência máxima alcançou 26,86%, o que permite interpretar que o controle da espessura de líquido ideal para o processo favorece a taxa de evaporação.

	Taxa (mL·m <sup>-1</sup> )	Radiação média (kJ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	Pv média (mL·cm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)
Experimento 1	3,508	3460	0,104	34,530
Experimento 2	3,79	3200	0,112	44,226

Tabela 5 – Eficiência térmica do destilador operando em regime contínuo.

Fonte: Autores (2017)

A produtividade média encontrada para o experimento em regime contínuo foi de 0,108 mL·cm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>, enquanto para o experimento em batelada alcançou uma média de 0,0654 mL·cm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>. Quanto às eficiências, embora os valores tenham alcançado

números diferentes, os resultados encontrados ainda estão previstos de acordo com as literaturas visitadas (BEZERRA, 1998).

## 4 | CONCLUSÕES

Foi possível concluir a partir dos bons valores de produtividade e eficiência de separação obtidos para o destilador de duas vertentes, que o uso de destiladores solares para a destilação de álcool é um processo eficiente.

O projeto e construção da unidade experimental do destilador solar de duas vertentes apresentou uma satisfatória eficiência de separação da mistura óleo-álcool, sendo possível recuperar grande parte do solvente utilizado anteriormente na extração de óleo, para reutilização em futuros processos.

Conclui-se através dos experimentos realizados, que a espessura de líquido na bacia que proporciona uma maior taxa de recuperação do álcool evaporado é em torno de 0,16 cm. A introdução de uma alimentação contínua no destilador, a fim de manter a espessura deste dentro da bacia sempre constante e próxima da ótima encontrada no presente trabalho, gerou bons resultados, uma vez que a maior eficiência encontrada foi de 44,23%, que se encontra dentro dos valores aceitos na literatura.

Dessa forma, todo o processo, incluindo a extração e a recuperação do solvente, se torna sustentável e de baixo custo. Vale ressaltar que a maioria dos trabalhos em que se utilizam destiladores solares é para a dessalinização da água, porém, o trabalho em questão mostra que este equipamento também é eficiente quando usado para a destilação da mistura óleo-álcool.

Alguns fatores poderiam auxiliar na maximização da eficiência do processo, como a modificação na forma de coleta do destilado. Retirar as canaletas e construir uma base em que se encaixe a estrutura de vidro e a bacia, para que o álcool escoe diretamente para um único recipiente, visando diminuir as perdas na coleta.

Os dados da central meteorológica localizada dentro da própria instituição, consultados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram de suma importância na validação dos dados experimentos, tendo sido estes corroborados nos testes realizados.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PROPPG da UFTM, pelo apoio financeiro, à Rede Mineira de Química e ao PPGMQMG, e também ao CNPq e à Fapemig.

## REFERÊNCIAS

ARSLAN, M. **Experimental investigation of still performance for different active solar still designs under closed cycle mode**. *Desalination*. v. 307, p. 9-19, 2012.

BEZERRA, A. M. **Aplicações Térmicas da Energia Solar**. Editora Universitária. Terceira Edição,

João Pessoa, 1998.

CRUZ, C. E. M. **Dessalinização da água do mar através da energia solar – Caso de estudo: Salamansa-Cabo Verde**. Dissertação (Mestrado) Engenharia do Ambiente. Universidade do Algarve. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Faro, 2012-a.

DUFFIE, J. A. e BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Process**. John Wiley & Sons, 2nd, New York, 1991.

FARIA, E. V.; ALVES, I. F. B.; ARAÚJO, B. S. A.; BONTEMPO, L. H. S.; LIMA, M. N.; OLIVEIRA, L. C. C. B. **Desenvolvimento e construção de um destilador solar para dessalinização de água salgada em diferentes concentrações de sais**. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 37 p., 2015, São Carlos. UFSCAR.

GARG, H. P., MANN H. S. **Effect of climatic, operational and design parameters on the year round performance of single-sloped and doublesloped solar still under Indian arid zone conditions**. Solar Energy, v. 18, p. 159-163, 1976.

JORGE, B. M. J. **Simulação de processos de destilação solar de água salgada**. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. 2011.

MALUF, A. P. **Destiladores solares no Brasil**. 2005. 38 f. Monografia. (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005.

RODRIGUES, C. E. C. **Utilização de solvente biorenovável nos processos de extração e desacidificação de óleos vegetais**. 2011. 171 f. Tese (Doutorado em equilíbrio de Fases e Processos de Separação na Indústria de Alimentos) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2011.

SANTOS, R. P. **Evaporação solar de água produzida de petróleo**. 2008. Dissertação (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SOARES, C. **Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada**. 2004. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Florianópolis: UFSC, 2004.

SOUSA, M. A. S. B. **Study of solar distillation feasibility for treating of oilfield produced water**. 2010. 149 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

TIWARI, A. K., TIWARI, G. N. **Thermal Modeling Based on Solar Fraction and Experimental Study of the Annual and Seasonal Performance of a Single Slope Passive Solar Still**. Desalination, v. 207, p. 184204, 2007.

TOMAZIN JUNIOR, C. **Extração de óleo de soja com etanol e transesterificação etílica na miscela**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2008.

## 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**