

COLEÇÃO

DESAFIOS

DAS

ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

 Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO

DESAFIOS

DAS

ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

 Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe	
Prof ^a Dr ^a Antonella Carvalho de Oliveira	
Assistentes editoriais	
Natalia Oliveira	
Flávia Roberta Barão	
Bibliotecária	
Janaina Ramos	
Projeto gráfico	
Natália Sandrini de Azevedo	
Camila Alves de Cremo	
Luiza Alves Batista	
Maria Alice Pinheiro	2021 by Atena Editora
Imagens da capa	Copyright © Atena Editora
iStock	Copyright do Texto © 2021 Os autores
Edição de arte	Copyright da Edição © 2021 Atena Editora
Luiza Alves Batista	Direitos para esta edição cedidos à Atena
Revisão	Editora pelos autores.
Os autores	Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof^a Dr^a Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Elio Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^a Dr^a Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
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. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Dr^a 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. Fágnier Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^a Dr^a Gílrene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Prof^a Dr^a Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^a Dr^a Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Prof^a Dr^a Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^a Dr^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^a Dr^a Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^a Dr^a Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Prof^a Dr^a Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^a Dr^a Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^a Dr^a Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Dr^a Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^a Dr^a Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^a Dr^a Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Prof^a Dr^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof^a Dr^a Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Coleção desafios das engenharias: engenharia química

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Maiara Ferreira
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia química /
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. –
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-226-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.262212307>

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel
da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declararam que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de e-commerce, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

O e-book: “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Química” constituído por dezessete capítulos de livros apresenta trabalhos das mais diversas áreas e que demonstram o quanto à área de Engenharia Química é interdisciplinar.

O primeiro trabalho avaliou a importância de se trabalhar em equipe por meio de projetos que contribuíra para um processo de ensino-aprendizagem mais significativo. No capítulo 2 e 3 são apresentados trabalhos sobre temáticas que geram muita discussão e resistência por parte da sociedade em aceitar: o potencial de contaminação dos cemitérios localizadas dentro do perímetro urbano da cidade e o tratamento de efluentes da indústria farmacêutica.

Os capítulos de 4 a 6 apresentam estudos que objetivam remover classes de contaminantes utilizando processos de adsorção tendo como adsorventes resíduos provenientes de garrafas PET e carvão ativado obtido a partir de ossos bovinos. Além disso, é apresentado um trabalho que avaliou a eficiência de um Processo Oxidativo Avançado (H_2O_2/UV) para remoção do corante verde Malaquita. Já os capítulos 7 e 8 apresentam estudos que utilizam biomassa provenientes do caroço do abacate e da fibra da casca de coco verde com o intuito de melhorar o processo de inibição da corrosão do aço carbono e o galvanizado, aumentando sua durabilidade e reduzindo custos. O capítulo 9 apresenta a aplicação em processos biotecnológicos que visam o isolamento de fungos por intermédio de atividades enzimáticas a partir da utilização de casca de café.

Os capítulos de 10 a 13 apresentam trabalhos que buscaram avaliar a potencialidade de matérias-primas provenientes de fontes naturais para a obtenção de uréia a partir de biogás; obtenção de energia a partir de células combustíveis proveniente de micro-organismos; obtenção de briquetes a partir de co-produtos da agroindústria e caracterização de microplásticos encontrados em ecossistemas aquáticos. Já os capítulos de 14 a 17 tratam de temas bem diversificados: *i*) caracterização físico-química de briquetes a partir do tratamento térmico; *ii*) estudo comparativo do calor específico do leite provenientes de diferentes espécies de animais; *iii*) proposta de um método colorimétrico alternativo e de baixo custo para quantificação de glicose e *iv*) análise da intensidade do refino sobre as propriedades do papel de fibras de NSBK.

Neste sentido, a Atena Editora vem trabalhando e buscando cada vez mais a excelência em publicação de livros e capítulos de livros de acordo com os critérios estabelecidos e exigidos pela CAPES para obtenção do *Qualis L1*. Com o compromisso de colaborar e auxiliar na divulgação e disseminação de trabalhos acadêmicos provenientes das inúmeras instituições de ensino públicas e privadas do Brasil e de outros países com acesso gratuito em diferentes plataformas digitais.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A PERCEPÇÃO DOS ESTUDANTES DO TRABALHO EM EQUIPE NO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA NA FES ZARAGOZA

Ana Lilia Maldonado Arellano

María Esmeralda Bellido Castaños

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2622123071>

CAPÍTULO 2..... 11

ANÁLISE DA ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO E SOLO DO CEMITÉRIO MUNICIPAL FREI EDGAR – JOAÇABA – SC

José Carlos Azzolini

Daniel Claudino de Mello

Fabiano Alexandre Nienov

Eduarda de Magalhães Dias Frinhani

Adriana Biasi Vanin

Analu Mantovani

Leonardo Henrique de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2622123072>

CAPÍTULO 3..... 27

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA, MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO DO TRATAMENTO VIA DIGESTÃO ANAERÓBIA DO LODO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Thalles de Assis Cardoso Gonçalves

Mário Luiz Pereira Souza

João Victor Silva Cardoso

Hugo Lopes Ferreira

Vitor Miller Lima Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2622123073>

CAPÍTULO 4..... 39

ESTUDOS INICIAIS DO USO DE RESÍDUOS DE PET (POLITEREFTALATO DE ETILENO) COMO ADSORVENTE DO ÍON METÁLICO MANGANÊS (Mn^{2+}) EM SOLUÇÕES AQUOSAS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Vanessa Pires

Priscila Afonso Rodrigues de Sousa

Bruno Elias dos Santos Costa

Luciana Melo Coelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2622123074>

CAPÍTULO 5..... 51

ADSORÇÃO DO HORMÔNIO 17β -ESTRADIOL EM CARVÃO ATIVADO DE OSSO BOVINO

Ramiro Picoli Nippes

Paula Derksen Macruz
Fernando Henrique da Silva
Aline Domingues Gomes
Patricia Lacchi da Silva
Camila Pereira Girotto
Mauricio Khenaifes
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2622123075>

CAPÍTULO 6.....60

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO UV/H₂O₂ NA DESCOLORAÇÃO DO CORANTE VERDE DE MALAQUITA

Nayra Fernandes Santos
Ana Beatriz Neves Brito
Carlos Minoru Nascimento Yoshioka

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2622123076>

CAPÍTULO 7.....71

AVALIAÇÃO DO PÓ DA FIBRA DA CASCA DE COCO VERDE COMO INIBIDOR DE CORROSÃO NATURAL DO AÇO CARBONO EM MEIO ÁCIDO

Stéfany Saraiva Viana
Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves
Lhaira Souza Barreto
Miriam Sanae Tokumoto
Fernando Cotting
Vera Rosa Capelossi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2622123077>

CAPÍTULO 8.....83

APLICAÇÃO DE FILMES DE SILANO VS/GPTMS MODIFICADOS COM O CAROÇO DO ABACATE PARA A PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO DO AÇO GALVANIZADO

Luís Gustavo Costa Nimo Santos
Nayara Maria Santos de Almeida
Franco Dani Rico Amado
Fernando Cotting
Isabella Pacifico Aquino
Vera Rosa Capelossi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2622123078>

CAPÍTULO 9.....94

ISOLAMENTO DE FUNGOS COM ATIVIDADES ENZIMÁTICAS DE INTERESSE BIOTECNOLÓGICO A PARTIR DA CASCA DE CAFÉ

Flaviana Pena Natividade

Boutros Sarrouh

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2622123079>

CAPÍTULO 10.....112**TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EMPREGADAS EM ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS BRASILEIROS**

Maurício Zimmer Ferreira Arlindo

Andressa Rossatto

Taiana Denardi de Souza

Christiane Saraiva Ogrodowski

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26221230710>

CAPÍTULO 11.....118**PIRÓLISE SUAVE DE BRIQUETES DE COPRODUTOS AGROINDUSTRIAS**

Amanda de Araújo Drago

Victória Oliveira Diaz de Lima

Débora Hungaro Micheletti

Aline Bavaresco dos Santos

Adriana Ferla de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26221230711>

CAPÍTULO 12.....126**OBTENÇÃO DE UREIA A PARTIR DE BIOGÁS: BALANÇOS MATERIAIS E ENERGÉTICOS**

Daniela de Araújo Sampaio

Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão

Jeferson Marcos Silva Moraes

Ana Paula Machado Pereira

Antônio Carlos Duarte Ricciotti

Viviane Barrozo da Silva

Hebert Sancho Linhares Garcez Militão

Diogo Kesley Oliveira de Menezes

Avner Vianna Gusmão Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26221230712>

CAPÍTULO 13.....140**INTEGRAÇÃO DE SISTEMA DE ELUTRIAÇÃO EM CÉLULA COMBUSTÍVEL MICROBIOLÓGICA PARA ALIMENTAÇÃO CONTÍNUA DE MATÉRIA ORGÂNICA E GERAÇÃO DE ENERGIA**

Ricardo Pereira Branco

Taiana Denardi de Souza

Christiane Saraiva Ogrodowski

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26221230713>

CAPÍTULO 14.....144**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA DE BRIQUETES DE GUANDU SUBMETIDOS A TRATAMENTO TÉRMICO**

Victória Oliveira Diaz de Lima

Débora Hungaro Micheletti

Matheus de Paula Gonçalves

Fernanda Bach Gasparin

Bruno Aldo de Moura Nekel Ribeiro

Aline Bavaresco dos Santos

Valdir Luiz Guerini

Adriana Ferla de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26221230714>

CAPÍTULO 15.....152

ESTUDO COMPARATIVO DO CALOR ESPECÍFICO DE LEITE DE DIFERENTES ESPÉCIES ANIMAIS: INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO E DA TEMPERATURA

Halissom Clever Sanches

Rodrigo Rodrigues Evangelista

Marcio Augusto Ribeiro Sanches

André Luiz Borges Machado

Ana Lúcia Barreto Penna

Javier Telis Romero

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26221230715>

CAPÍTULO 16.....169

DETERMINAÇÃO COLORIMÉTRICA DE GLICOSE ATRAVÉS DA FORMAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE OURO SOBRE PAPEL

Jacqueline Arguello da Silva

Bernardo Brito Vacaro

Vladimir Lavayen

Thágóor Moreira Klein

Manoelly Oliveira Rocha

Vanessa Cezar Ribas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26221230716>

CAPÍTULO 17.....181

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DO REFINO TIPO PFI NAS PROPRIEDADES DO PAPEL DE FIBRAS DE *NORTHERN BLEACHED SOFTWOOD KRAFT* (NBSK)

Gustavo Batista

Rajnish Kumar

Franklin Zambrano

Hasan Jameel

Ronalds Gonzalez

Antonio José Gonçalves da Cruz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26221230717>

SOBRE O ORGANIZADOR.....187

ÍNDICE REMISSIVO.....188

CAPÍTULO 12

OBTENÇÃO DE UREIA A PARTIR DE BIOGÁS: BALANÇOS MATERIAIS E ENERGÉTICOS

Data de aceite: 01/07/2021

Daniela de Araújo Sampaio

Fundação Universidade Federal de Rondônia
- UNIR
Porto Velho – RO
<http://lattes.cnpq.br/3077711659805726>

Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão

Fundação Universidade Federal de Rondônia
- UNIR
Porto Velho – RO
<https://orcid.org/0000-0002-3989-1096>
<http://lattes.cnpq.br/1678856829160058>

Jeferson Marcos Silva Moraes

Associação de Pesquisadores da Região Norte
- APRENO
Porto Velho – RO

Ana Paula Machado Pereira

Associação de Pesquisadores da Região Norte
- APRENO
Porto Velho – RO
<http://lattes.cnpq.br/3282264818400916>

Antônio Carlos Duarte Ricciotti

Fundação Universidade Federal de Rondônia
- UNIR
Porto Velho – RO
<http://lattes.cnpq.br/9613876404612535>

Viviane Barrozo da Silva

Fundação Universidade Federal de Rondônia
- UNIR
Porto Velho – RO
<https://orcid.org/0000-0002-1948-1532>
<http://lattes.cnpq.br/9428968456380501>

Hebert Sancho Linhares Garcez Militão

Associação de Pesquisadores da Região Norte
– APRENO, Porto Velho – RO
<https://orcid.org/0000-0002-2795-2840>
<http://lattes.cnpq.br/3113366486298848>

Diogo Kesley Oliveira de Menezes

Elera Renováveis

Avner Vianna Gusmão Vieira

Elera Renováveis
<https://orcid.org/0000-0002-1120-1399>
<http://lattes.cnpq.br/5242744472360307>

RESUMO: A indústria de ureia usualmente demanda o uso de combustíveis fósseis ou gás natural. Este estudo levanta a possibilidade de produção de ureia a partir do biogás, uma alternativa mais ecologicamente correta. Foi proposto um diagrama de blocos para um processo de passagem única. Além disto, balanços materiais (em termos molares) e energéticos foram resolvidos para algumas unidades do processo, levando em consideração as principais reações químicas teóricas envolvidas nos processos. A partir da análise de balanço de materiais, é possível estimar uma relação biogás/ureia de 14,8. A partir da análise do balanço de energia, os caracteres endotérmicos e exotérmicos das reações químicas envolvidas foram elementares para a estimativa do regime de calor de cada unidade estudada.

PALAVRAS - CHAVE: Ureia, Biogás, Balanço Material, Balanço Energético

OBTAINING UREA FROM BIOGAS: MATERIAL AND ENERGY BALANCE SHEETS

ABSTRACT: Urea industry usually demands the use of fossil fuels or natural gas. This study raises the possibility of urea production from biogas, a more environmentally friendly alternative. A block flow diagram for a single pass process has been proposed, furthermore material, in terms of molecular flow, and energy balances were solved for some process units, taking into consideration the mains theoretical chemical reactions involved at the processes. From the material balance analysis, it is possible to estimate a ratio biogas/urea of 14.8. From energy balance analysis, the endothermic and exothermic characters of involved chemical reactions were elementary for the estimation of heaty duty of each studied unit.

KEYWORDS: Urea, Biogas, Material Balance, Energy Balance.

1 | INTRODUÇÃO

A ureia é um produto de grande importância na agricultura devido ao seu alto conteúdo de nitrogênio (46%), composto necessário para o crescimento das plantas e frutos. Neste sentido, de acordo com Sergeev et al. (2020), aproximadamente 90% da ureia produzida é usada como fertilizante nitrogenado.

Umas das principais rotas químicas para a obtenção de ureia é baseada em três etapas: (1) decomposição de metano (CH_4) em hidrogênio (H_2), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO_2), em altas temperaturas; (2) reação entre o hidrogênio e nitrogênio (N_2) para síntese de amônia (NH_3) e (3) reação entre a amônia e dióxido de carbono para formar carbamato de amônia ($\text{NH}_2\text{COONH}_4$), que será decomposto em ureia ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) e água (H_2O) (DAVEY et al., 2010).

A mistura gasosa proveniente da primeira etapa (decomposição do CH_4), composta por H_2 e CO , é chamada de “gás síntese” e é a rota econômica mais viável para converter metano em produtos químicos de maior valor agregado. Entre os processos químicos para a obtenção de gás síntese estão: (a) reforma a vapor; (b) reforma seca e (c) oxidação parcial (YORK et al., 2003). Segundo Guo (2013), a obtenção de gás síntese (e por consequência, a obtenção de amônia e ureia) é frequentemente conseguida partindo de matérias primas como carvão e gás natural, porém neste estudo volta-se a atenção para o uso de biogás: uma mistura gasosa produzida da decomposição da matéria orgânica, composta majoritariamente por CH_4 e CO_2 .

O uso de biogás tem sido estimulado visto que, como o gás metano é dos constituintes do efeito estufa, seu uso para a obtenção de gás síntese (primeira etapa da obtenção de ureia) não apenas reduziria impactos ambientais como também ofereceria um destino para o uso desta matéria prima, que, por sua vez, apresenta baixo custo e grande disponibilidade (CHAO et al., 2008).

Neste texto, apresenta-se uma análise de balanços materiais e energéticos do processo de obtenção de ureia a partir do biogás. Para tanto, um diagrama de blocos

simplificado do processo foi proposto com o objetivo de viabilizar um entendimento rápido do processo, bem como auxiliar nos cálculos de balanços.

2 | DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO PARA A PRODUÇÃO DE UREIA

Na Figura 1 está apresentado o diagrama de blocos simplificado para o processo de obtenção de ureia a partir de biogás.

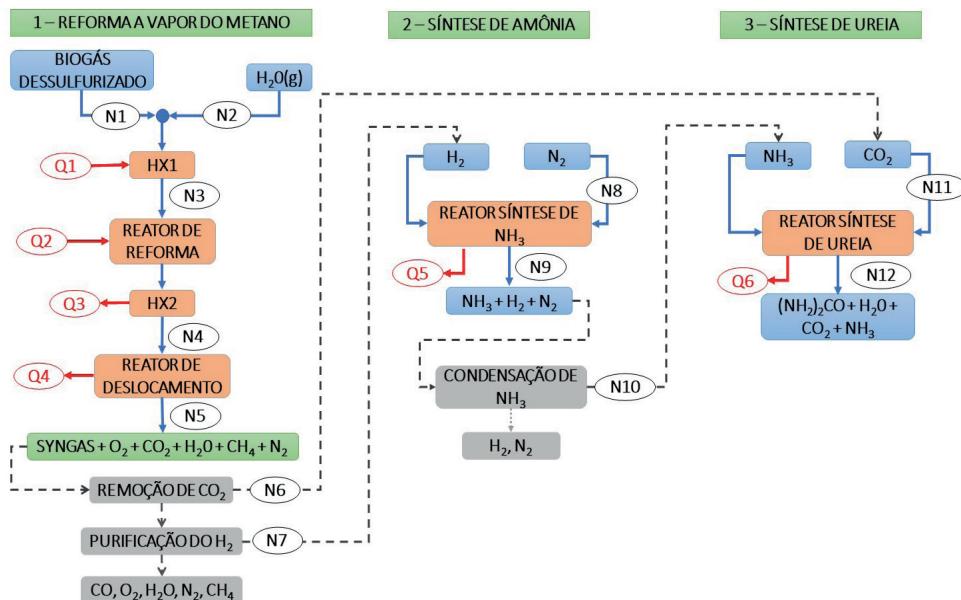


Figura 1. Fluxograma (diagrama de blocos) simplificado para o processo de obtenção de ureia a partir de biogás. As letras “N” se referem à vazão molar das correntes e as letras “Q” se referem ao fluxo de calor

Na Figura 1, as três etapas para a obtenção de ureia a partir de biogás podem ser observadas concomitantemente. Na primeira etapa, para a decomposição do gás metano, sugere-se o processo de reforma a vapor. Neste processo, correntes de biogás (N1) e vapor de água saturado (N2) são misturadas e então pré-aquecidas em um trocador de calor (HX1). A mistura pré-aquecida de CH₄ e H₂O é direcionada ao reator de reforma. A reação de reforma do metano, pode ser descrita por duas reações químicas principais (KOROBITSYN et al., 2000):



A primeira reação é a reação de reforma efetiva e acontece no Reator de Reforma de metano. Zhou et al. (2011), estudaram modelos de equilíbrio termodinâmico para a referida reação e encontraram a temperatura mínima de 630 °C. Os autores concluíram também que a produção máxima de gás síntese (CO e H₂) e a máxima conversão de CH₄ são alcançadas em temperaturas ao redor de 850 °C.

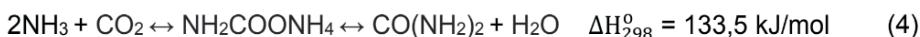
Já a segunda reação, é conhecida como reação de deslocamento “gás-água” e acontece no Reator de deslocamento, em baixas temperaturas. Esta reação tem por objetivo aumentar a razão H₂/CO e possibilitar a conversão de monóxido de carbono em dióxido de carbono, que pode ser posteriormente utilizado na síntese de ureia (VASCONCELOS E LAVOIE, 2018).

Na segunda etapa (síntese de amônia), o hidrogênio purificado proveniente da etapa anterior (corrente N7), reage com nitrogênio para formar amônia (NH₃), conforme apresentado na Equação 3.



Usualmente esta reação acontece sob catalisadores a base de ferro, com pressões entre 150 e 250 bar e temperaturas entre 350 e 550 °C. Nestas condições de operação, o rendimento da reação a cada passe no reator é de 20% a 30% assim, em busca de melhores rendimentos, um mecanismo de reciclo pode ser implementado e a remoção da amônia formada deve ser criteriosa, conseguida por refrigeração mecânica ou destilação (MAXWELL, 2004). O nitrogênio necessário para esta reação, usualmente é obtido do ar atmosférico.

Na terceira etapa, a amônia obtida da etapa anterior (corrente N10) reage com o dióxido de carbono obtido na primeira etapa (corrente N6) para produzir carbamato de amônio (NH₂COONH₄) que, por sua vez, é desidratado pela aplicação de calor, para formar ureia (CO(NH₂)₂) e água (H₂O), de acordo com a Equação 4. A reação ocorre em altas pressões (150 a 160 bar) e temperaturas moderadas (180 °C a 190°C). Segundo MacDowell et al. (2010), a síntese de ureia é uma reação puramente térmica e, portanto, não requer a presença de catalisadores.



3 I BALANÇOS MATERIAIS

Os balanços materiais são uma ferramenta importante para o design de processos químicos uma vez que auxiliam na determinação das quantidades de matérias primas requeridas e de produtos obtidos, em termos de vazão mássica e de composição. O balanço material para qualquer processo é dado pela lei da conservação das massas e pode ser escrito conforme a Equação 5 (CLARK, 2009):

$$\frac{d}{dt}(VC_{sys}) = \sum_{i=1}^N F_{in,i} C_{in,i} - \sum_{j=1}^M F_{out,j} C_{out,j} \quad (5)$$

onde: F representa os valores de vazão mássica entrando (*in*) e saindo (*out*) do sistema; C representa os valores de concentração mássica dos componentes; V é o volume do sistema; C_{sys} é a concentração média do componente de interesse no sistema.

Considerando regime permanente, as variações em função do tempo são desprezadas:

$$\sum_{i=1}^N F_{in,i} C_{in,i} = \sum_{j=1}^M F_{out,j} C_{out,j} \quad (6)$$

Enfim, para sistemas envolvendo reações químicas, um balanço molecular para cada espécie deve ser levado em consideração em termos de consumo e geração, de maneira que a equação geral do balanço molecular em regime permanente pode ser escrita como:

$$\text{entrada} + \text{geração} = \text{saída} + \text{consumo} \quad (7)$$

Uma vez demonstradas as equações de balanço de massa, passa-se à explanação das considerações realizadas para os cálculos. Primeiramente, considerou-se que a matéria prima biogás, que alimenta o processo, está previamente dessulfurizada e com composição molar apresentada na Tabela 1.

ESPÉCIE	FRAÇÃO MOLAR, y_i (%)	MM* Espécie (kg/kmol)	MM* Biogás (kg/kmol)
CH ₄	56,00	16,04	8,98
CO	3,00	28,00	0,84
CO ₂	37,00	44,01	16,28
N ₂	1,00	28,01	0,28
H ₂	1,00	2,02	0,02
O ₂	2,00	32,00	0,64
TOTAL	100,00	-	27,05

Tabela 1. Composição do biogás considerada no presente estudo

*MM = massa molar

Em seguida, considerações a respeito das reações químicas de interesse: (a) razão H₂O/CH₄ na reação de reforma igual a 4 (SHAGDAR et al., 2020); (b) conversão de metano na reação de reforma igual a 90% (SHAGDAR et al., 2020); (c) conversão de H₂ na reação síntese de amônia igual a 26% (MAXWELL, 2004); (d) conversão de CO₂ na síntese de ureia igual a 60% e razão NH₃/CO₂ de 2,95 (MAXWELL, 2004).

Fazendo a relação entre 1 mol de metano para os demais gases constituintes do biogás, apresenta-se na Tabela 2, as quantidades molares envolvidas na reação de reforma a vapor do metano. A corrente de entrada no reator de reforma (corrente N3) é a junção das correntes de biogás (N1) e vapor saturado (N2).

ESPÉCIE	ENTRADA (MOL)	CONSUMO (MOL)	GERAÇÃO (MOL)	SAÍDA (MOL)
CH ₄	1,000	0,900	0,000	0,100
CO	0,054	0,000	0,900	0,954
CO ₂	0,661	0,000	0,000	0,661
N ₂	0,018	0,000	0,000	0,018
H ₂	0,018	0,000	2,700	2,718
O ₂	0,036	0,000	0,000	0,036
H ₂ O	4,000	0,900	0,000	3,100

Tabela 2. Quantidades molares nas correntes de entrada e saída do reator de reforma (Etapa 1)

A corrente de saída do reator de reforma (corrente N4) é a corrente de entrada do reator de deslocamento. Na Tabela 3 pode-se perceber que devido às gerações e consumos provenientes da reação de deslocamento, a corrente de saída (corrente N5) apresenta menor teor de monóxido de carbono e maior teor de hidrogênio e dióxido de carbono, estes últimos desejáveis e necessários para os processos subsequentes.

ESPÉCIE	ENTRADA (MOL)	CONSUMO (MOL)	GERAÇÃO (MOL)	SAÍDA (MOL)
CH ₄	0,100	0,000	0,000	0,100
CO	0,954	0,698	0,000	0,256
CO ₂	0,661	0,000	0,698	1,358
N ₂	0,018	0,000	0,000	0,018
H ₂	2,718	0,000	0,698	3,415
O ₂	0,036	0,000	0,000	0,036
H ₂ O	3,100	0,698	0,000	2,403

Tabela 3. Quantidades molares nas correntes de entrada e saída do reator de deslocamento (Etapa 1)

O consumo de água (0,698 mol) durante reação de deslocamento foi calculado aplicando-se o conceito de extensão da reação ($XR = 0,23$), apresentado na Equação 11. O fato de o valor de extensão da reação obtido ser menor do que 1 ($0,23 < 1$) corrobora reversibilidade da reação, a não existência de reagentes limitantes e a presença de reagentes presentes quando o equilíbrio é alcançado (MORRIS, 2011).

$$XR_{H_2O} = \frac{N_{H_2O}^{in} - N_{H_2O}^{out}}{N_{H_2O}^{in}} \quad (11)$$

onde $N_{H_2O}^{in}$ e $N_{H_2O}^{out}$ representam a quantidade (molar) de H_2O nas correntes de entrada e saída do reator de reforma a vapor, respectivamente.

Na Tabela 3, observa-se que a quantidade de hidrogênio gerada a partir de 1,78 mols de biogás (Etapa 1) é igual a 3,415 mols. Nesta abordagem teórica, considera-se que todo o hidrogênio gerado é purificado (corrente N7) e então utilizado como alimentação para o reator de síntese de amônia (Equação 3). A outra corrente de alimentação deste processo é uma corrente de nitrogênio (corrente N8), conforme apresentado na Tabela 4.

ESPÉCIE	ENTRADA (MOL)	CONSUMO (MOL)	GERAÇÃO (MOL)	SAÍDA (MOL)
H2	3,415	0,888	0,000	2,527
N2	1,138	0,296	0,000	0,842
NH3	0,000	0,000	0,592	0,592

Tabela 4. Quantidades molares nas correntes de entrada e saída do reator de síntese de amônia (Etapa 2)

No item “consumo de H_2 ” na Tabela 4, destacam-se as considerações de 26% de consumo de hidrogênio (0,888 de 3,417 mols) e uma única passagem dos reagentes pelo reator, de forma que a corrente de saída do reator (corrente N8) apresenta tanto o produto amônia, quanto os reagentes não consumidos. Considerou-se, que toda amônia sintetizada (0,592 mol) é separada (corrente N10) e então alimentada na Etapa 3.

Na Etapa 3, a amônia (proveniente da Etapa 2), deve reagir com o gás carbônico (proveniente da Etapa 1) para a obtenção de ureia, de acordo com a Equação 4. Pela estequiometria da reação, observa-se que a razão NH_3/CO_2 requerida é igual a 2. No entanto, destaca-se a consideração de alimentação de NH_3 em excesso (razão igual a 2,95) com o objetivo de favorecer a reação para o lado dos produtos. Assim, a quantidade (molar) de alimentação de CO_2 (corrente N11) foi estabelecida como 0,201 mol (0,592/2,95), quantidade esta, inferior à obtida na Etapa 1, indicando que a quantidade excedente do CO_2 , pode ser estocada e/ou empregada para outro propósito. Na Tabela 5 estão apresentadas as quantidades molares dos reagentes e produtos (corrente N12) da síntese de ureia $(NH_3)_2CO$.

ESPÉCIE	ENTRADA (MOL)	CONSUMO (MOL)	GERAÇÃO (MOL)	SAÍDA (MOL)
NH ₃	0,592	0,240	0,000	0,352
CO ₂	0,201	0,120	0,000	0,080
(NH ₂) ₂ CO	0,000	0,000	0,120	0,120
H ₂ O	0,000	0,000	0,120	0,120

Tabela 5. Quantidades molares nas correntes de entrada e saída do reator de síntese de ureia (Etapa 3)

A conversão de CO₂ considerada nesta abordagem (60%) justifica o valor apresentado no item “consumo de CO₂” (0,120). Na coluna de saída, observa-se que a quantidade de ureia produzida é equivalente à quantidade de água (0,120), indicando a obtenção de uma solução de ureia diluída em água. Outra consideração que deve ser destacada é que a reação de conversão de NH₃ e CO₂ em (NH₂)₂CO ocorre no sentido de seguir a estequiometria ideal da equação química (Equação 4) de forma que não se levou em conta a formação dos produtos intermediários.

4 | BALANÇO ENERGÉTICO

Dados e aplicados os conceitos de balanço material para o processo de obtenção de ureia a partir de biogás, e sabendo que balanços materiais são peças importantes para os balanços energéticos, nesta sessão são apresentados os conceitos de balanço de energia.

As equações do balanço de energia são aplicadas conforme a primeira lei da termodinâmica considerando blocos apresentados na Figura 1 como volume de controle e considerando o processo em regime permanente e desconsiderando as energias cinética e potencial das correntes de entrada e saída. Assim, o balanço de energia pode ser escrito como:

$$\dot{Q} = \Delta \dot{H} = \dot{n}_{out} x \hat{H}_{out} - \dot{n}_{in} x \hat{H}_{in} \quad (8)$$

onde \dot{Q} é a taxa de calor, necessária ou liberada pelo sistema; \dot{n} é a vazão molar e \hat{H} é a entalpia específica de cada espécie entrando (*in*) e saíndo (*out*) dos sistemas.

A entalpia específica de cada espécie química ($\hat{H}_{espécie}$) pode ser estimada levando em consideração a relação entre a entalpia de formação padrão (ΔH_f°), o calor específico (C_p) e a variação de temperatura (T), de acordo com a Equação 9:

$$\hat{H}_{espécie} = \Delta H_f^\circ + \int C_p dT \quad (9)$$

Finalmente o calor específico para cada espécie pode ser estimado conforme descrito por Felder (2016) e apresentado na Equação 10. Os coeficientes da Equação 10 e os valores de Entalpia de formação padrão para cada espécie química envolvida no

processo abordado estão apresentados na Tabela 6.

$$Cp \left(\frac{J}{mol K} \right) = a + b(T) + c(T^2) + d(T^3) \quad (10)$$

ESPÉCIE	a	b	c	d	T	(kJ/mol)
CH ₄	3,43E-02	5,47E-05	3,66E-09	-1,10E-11	°C	-74,84
CO	2,90E-02	4,11E-06	3,55E-09	-2,22E-12	°C	-110,52
CO ₂	3,61E-02	4,23E-05	-2,89E-08	7,46E-12	°C	-393,51
N ₂	2,90E-02	2,20E-06	5,72E-09	-2,87E-12	°C	0
H ₂	2,88E-02	7,65E-08	3,29E-09	-8,68E-13	°C	0
O ₂	2,91E-02	1,16E-05	-6,08E-09	1,31E-12	°C	0
H ₂ Oliq	7,54E-02	-	-	-	°C	-285,84
H ₂ Ogas	3,45E-02	6,88E-06	7,60E-09	-3,59E-12	°C	-241,83
NH ₃	3,52E-02	2,95E-05	4,42E-09	-6,69E-12	°C	-67,20
(NH ₂) ₂ CO	9,00E-02	-	-	-	°C	-333,39

Tabela 6. Valores dos coeficientes da equação do calor específico e Entalpia de Formação Padrão (ΔH_f°)

Os balanços de energia foram empregados para a determinação da quantidade de calor (energia térmica) requerido a ser transferido para o sistema ou removido dele. Os sistemas (unidades) analisados, de acordo com a Figura 1, são: trocador de calor (HX1) = Q1; reator de reforma = Q2; trocador de calor (HX2) = Q3; reator de deslocamento = Q4; reator síntese de amônia = Q5 e reator síntese de ureia = Q6.

Para esse propósito, para a Etapa 1 foi considerado que: (a) temperatura ambiente (25 °C) como temperatura da matéria prima (biogás – corrente N1) e (b) a corrente de água entrando no sistema (corrente N2) como vapor saturado a 100 °C. No trocador de calor (HX1) as correntes N1 e N2 atingem a temperatura de 400 °C, uma vez que a faixa de temperatura viável para a mistura gasosa (corrente N3) de alimentação do reator de reforma varia de 400 a 600 °C (PASHCHENKO, 2019). Em relação ao reator de reforma, estabeleceu-se que sua temperatura de operação como sendo igual a 850 °C, uma vez que foi demonstrado que esta é a temperatura na qual o metano atinge a sua conversão máxima (ZHOU et al., 2011).

Após a reação de reforma, a mistura gasosa deve ser resfriada entre 340 e 370 °C antes de entrar na reação de deslocamento (EYALARASAN et al., 2013), neste sentido estabeleceu-se 370 °C como temperatura de entrada no referido reator (corrente N4). Estabeleceu-se ainda que a temperatura de operação do reator de deslocamento é igual a 630 °C (EYALARASAN et al., 2013), logo esta também é a temperatura da corrente de saída (corrente N5).

Para a Etapa 2 foi considerado que a temperatura de entrada das correntes de hidrogênio (corrente N7) e nitrogênio (corrente N8) é igual a 5 °C. Além disso foi estabelecido que a temperatura de operação do reator de síntese de amônia é igual a 400 °C e que os gases de saída (corrente N9) são resfriados a 30 °C para que a amônia possa ser condensada e separada (corrente N10) (COPPLESTONE & KIRK, n. d.).

Na Etapa 3 foi considerado que a temperatura de entrada do gás carbônico (corrente N11) é igual a 40 °C, visto que, segundo Molburg e Doctor (2003) esta é a temperatura de operação do processo de purificação do gás carbônico proveniente da reação de deslocamento. Considerou-se ainda, 185°C como temperatura de operação do reator de síntese de ureia (MAXWELL, 2004).

Tendo em conta as considerações supracitadas, é possível estimar as entalpias de entrada e de saída de cada componente, e, portanto, de cada corrente relacionada com as taxas de calor que se deseja calcular (vide Figura 1), sabendo que a taxa de calor por ser calculada pela diferença entre o somatório das entalpias de saída e de entrada (Equação 8). Nas Tabelas 7 a 12, estão apresentados os valores de Entalpia obtidos para cada unidade do processo. Para os cálculos, considerou-se a unidade da vazão molar das espécies químicas como sendo mol por segundo (mol/s), consequentemente a unidade da Entalpia para cada espécie é dada em quilojoules por segundo (kJ/s).

ESPÉCIE	Hin (kJ/s)	Hout (kJ/s)
CH ₄	-74,84	-57,61
CO	-5,92	-5,32
CO ₂	-260,00	-249,20
N ₂	0,00	0,20
H ₂	0,00	0,19
O ₂	0,00	0,42
H ₂ O	-956,83	-923,34
TOTAL	-1297,59	-1234,65

Tabela 7. Entalpia das espécies na entrada e entrada (in) e na saída (out) do trocador de calor (HX1)

ESPÉCIE	Hin (kJ/s)	Hout (kJ/s)
CH ₄	-57,61	-4,47
CO	-5,32	-91,51
CO ₂	-249,20	-244,28
N ₂	0,20	0,26
H ₂	0,19	36,68
O ₂	0,42	0,55
H ₂ O	-923,34	-647,78
TOTAL	-1234,65	-950,56

Tabela 8. Entalpia das espécies na entrada e entrada (in) e na saída (out) do reator de reforma

ESPÉCIE	Hin (kJ/s)	Hout (kJ/s)
CH ₄	-4,47	-5,93
CO	-91,51	-95,55
CO ₂	-244,28	-250,16
N ₂	0,26	0,18
H ₂	36,68	27,20
O ₂	0,55	0,38
H ₂ O	-647,78	-711,01
TOTAL	-950,56	-1034,88

Tabela 9. Entalpia das espécies na entrada e entrada (in) e na saída (out) do trocador de calor (HX2)

ESPÉCIE	Hin (kJ/s)	Hout (kJ/s)
CH ₄	-5,93	-5,89
CO	-95,55	-26,20
CO ₂	-250,16	-516,50
N ₂	0,18	0,14
H ₂	27,20	26,29
O ₂	0,38	0,31
H ₂ O	-711,01	-556,40
TOTAL	-1034,88	-1078,25

Tabela 10. Entalpia das espécies na entrada e entrada (in) e na saída (out) do reator de deslocamento

ESPÉCIE	Hin (kJ/s)	Hout (kJ/s)
H ₂	-1,97	28,97
N ₂	-0,66	10,36
NH ₃	0,00	-152,48
TOTAL	-2,63	-113,15

Tabela 11. Entalpia das espécies na entrada e entrada (in) e na saída (out) do reator de síntese de amônia

ESPÉCIE	Hin (kJ/s)	Hout (kJ/s)
CO ₂	-78,86	-31,12
NH ₃	-39,68	-21,51
CO(NH ₂) ₂	0,00	-38,41
H ₂ O	0,00	-28,44
TOTAL	-118,53	-119,47

Tabela 12. Entalpia das espécies na entrada e entrada (in) e na saída (out) do reator de síntese de ureia

Sucedendo a estimativa das entalpias totais de entrada e saída para cada unidade do processo, na Tabela 13 estão apresentados os valores calculados para as taxas de calor demandadas. Como pode ser observado, os valores de \dot{Q}_1 e \dot{Q}_2 são positivos, indicando que energia deve ser fornecida para a unidade. Considerando que a reação de reforma do metano é endotérmica e, portanto, necessita de energia para ser ativada, os dados apresentados estão de acordo com o esperado. Observa-se também que para o caso das reações exotérmicas (deslocamento, síntese de amônia e síntese de ureia), os valores obtidos para \dot{Q}_4 , \dot{Q}_5 e \dot{Q}_6 foram negativos, indicando a liberação de energia pela reação química e, portanto, a necessidade de retirada desta energia da unidade afim de manter a temperatura de operação desejada. Observação análoga pode ser feita em relação à \dot{Q}_3 que representa a quantidade de energia térmica a ser retirada para resfriar os gases de saída do reator de reforma/entrada do reator de deslocamento.

	TAXA DE CALOR	VALOR (kJ/s)
\dot{Q}_1		62.93
\dot{Q}_2		284.10
\dot{Q}_3		-43.36
\dot{Q}_4		-84,32
\dot{Q}_5		-110.51
\dot{Q}_6		-0.94

Tabela 13. Taxas de calor calculadas para os sistemas

5 | CONCLUSÃO

Neste estudo, um diagrama de blocos simplificado para o processo de obtenção de ureia a partir de biogás foi elaborado e utilizado como ferramenta para cálculos e análise de balanços materiais (em termos molares) e energéticos teóricos e estequiométricos do referido processo. A partir do balanço material, é possível apresentar a direção e quantidade de reagentes de mandados e produtos obtidos. especificamente, a partir de 100 kg/s de biogás (contendo 56% de metano) obtém-se aproximadamente 15 kg/s de ureia (14,8). É importante deixar claro que esta relação se refere ao processo no qual os reagentes sofrem uma única passagem pelos reatores (não há refluxo), assim, verifica-se a relevância da recuperação e aproveitamento das espécies químicas não reagidas visando aumentar o rendimento das reações e por consequência a rentabilidade do processo, prática esta que é adotada industrialmente. A análise dos balanços energéticos elucida a necessidade de fornecimento de energia térmica para o trocador de calor que antecede a etapa de reforma do metano bem como o fornecimento de energia para o reator de reforma em si, reforçando o caráter endotérmico da reação. Por outro lado, nas demais unidades de processo, energia precisa ser retirada. Sobretudo, demonstrou-se a exequibilidade da rota química (1) reforma a vapor do metano presente no biogás; (2) síntese de amônia a partir

do hidrogênio obtido na reforma a vapor e (3) síntese de ureia a partir da amônia obtida.

AGRADECIMENTOS

Este estudo é um dos resultados obtidos do projeto de pesquisa intitulado como “Manejo de macrófitas no reservatório Barra do Braúna – controle de florações de cianobactérias com aproveitamento da biomassa excedente para a produção de biogás, energia e ureia”. O referido projeto é financiado com recursos provenientes da ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica, ITIQUIRA ENERGÉTICA SA e BARRA DO BRAÚNA ENERGÉTICA SA, às quais os autores expressam seus agradecimentos. Os autores gostariam ainda de agradecer à NECTAR – NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ARTES, por apoiar a gestão e operacionalização das atividades de execução do projeto.

REFERÊNCIAS

CHAO, Y.; HUANG, C. T.; LEE, W. M.; CHANG, M. B. Hydrogen production via partial oxidation of methane with plasma-assisted catalysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, pp. 664–671, 2008.

CLARK, M. M. **Transport Modeling for Environmental Engineers and Scientists**, John Wiley & Sons, 2009. 664 p.

COPPLESTONE, J. C.; KIRK, C. M.; Ammonia and Urea Production. Available online: <https://nzic.org.nz/app/uploads/2017/10/1A.pdf> (accessed on 28 September 2020).

DAVEY, W.; WURZEI, T.; LURGI, A. G (2010). Method for the production of urea from natural gas. U.S, Patent n. 7674932B2, filled Aug, 18 2005 and issued March 9, 2010.

EYALARASAN, K.; TESFAMARIAM, M. D.; MELEAKE, H.; GEBREYONAS, A. Design of Process Plant for Producing Hydrogen from Steam Reforming of Natural Gas, **International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)**, v. 2, n. 12, pp. 746-754, 2013.

FELDER, R. M. **Elementary Principles of Chemical Processes**. Wiley, 4th ed, 2016, 674 p.

GUO, J. M. Conversion rate of urea synthesis process and enhance research. **Guangdong Chemical Industry**, v. 15, pp. 104–111, 2013.

KOROBITSYN, M. A.; VAN BERKEL, F. P. F. CHRISTIE, G. M. **SOFC AS A GAS SEPARATOR**. Final Report, 2000. Available online: <https://www.yumpu.com/en/document/read/4911894/sofc-as-a-gas-separator-ecn> (accessed on 28 September 2020).

MacDOWELL, N.; FLORIN, N.; BUCHARD, A.; HALLETT, J.; GALINDO, A.; JACKSON, G.; ADJIMAN, C. S.; WILLIAMS, C. K.; SHAH, N.; FENNELL, P. An overview of CO₂ capture technologies. **Energy & Environmental Science**, v. 3, pp. 1645-1669, 2010.

MAXWELL, G. R. **Synthetic Nitrogen Products: A Practical Guide to the Products and Processes**. Kluwer Academic Publishers. 2004. 450 p.

MOLBURG, J. C.; DOCTOR, R. D. Hydrogen from Steam-Methane Reforming with CO₂ Capture. 20th Annual **International Pittsburgh Coal Conference, 2003**. Available online: <https://www.yumpu.com/en/document/read/29644616/hydrogen-from-steam-methane-reforming-with-co2-capture> (accessed on 28 September 2020).

MORRIS, A. E.; GELGER, G.; FINE, H. A. **Handbook on Material and Energy Balance Calculations in Material Processing**, Wiley, 3th ed, 2011, 616 p.

PASHCHENKO, D. Thermochemical waste-heat recuperation by steammethane reforming with flue gas addition. **International Journal of Energy Research**, v. 43, n. 6. Pp. 1-11, 2019.

SERGEEV, Y. A.; ANDERZHANOV, R. V.; VOROB'EV, A. A. Energy- and Resource-Saving Technologies and Equipment in Urea Production. **Russian Journal of General Chemistry**, v. 90, n. 6, pp. 1168–1172, 2020.

SHAGDAR, E.; LOUGOU, B. G.; SHUAI, E. G.; CHINONSO, O. P.; TAN, H. Process analysis of solar steam reforming of methane for producing low-carbon hydrogen. **RSC Advances**, v. 10, pp. 12582–12597, 2020.

VASCONCELOS, B, R de; LAVOIE, J. M. IS DRY REFORMING THE SOLUTION TO REDUCE NATURAL GAS CARBON FOOTPRINT? **International Journal of Energy Production and Management**, v. 3, n. 1, pp. 44-56, 2018.

YORK, A. P. E.; XIAO, T.; GREEN, M. L. H. Brief overview of the partial oxidation of methane to synthesis gas. **Topics in Catalysis**, v. 22, n. 3–4, pp. 345–328, 2003.

ZHOU C., ZHANG, L.; SWIDERSKI, A.; YANG, W.; BLASIAK, W. Study and development of a high temperature process of multi-reformation of CH₄ with CO₂ for remediation of greenhouse gas, **Energy**, v. 36, n. 9, pp. 5450–5459, 2011.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Aço Carbono 11, 71
Adsorção 9, 10, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 61, 78, 157
Adsorvato 43, 44, 46
Adsorvente 10, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 58
Agroindustriais 12, 73, 74, 78, 110, 111, 118, 119, 124, 125, 151
Agronegócio 119, 124, 153
Águas Subterrâneas 11, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 25, 26
Analito 39, 45, 46, 47
Ânodo 84, 141
Atividade Enzimática 94, 102, 106, 107

B

- Bactérias 12, 15, 29, 141, 142
Biocatalisadores 96
Biocombustível 119, 120, 122, 123, 147
Bioconversão 94, 96
Biodegradáveis 41, 71, 73, 76, 86
Biofilme 141, 142
Biogás 9, 12, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 126, 127, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 137, 138
Biomassa 9, 119, 120, 122, 123, 124, 125, 138, 144, 145, 146, 149, 150, 151
Biotecnologia 94, 95, 100, 110
Briquetes 9, 12, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 144, 146, 147, 148, 149, 150, 151

C

- Carbonização 120, 125, 145, 146, 151
Carvão Ativado 9, 10, 48, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58
Cátodo 141
Células Combustíveis 9, 141
Celulose 61, 78, 98, 100, 106, 123, 147, 148, 181, 182, 183
Combustíveis Fósseis 126, 141
Contaminação Ambiental 60
Corante 9, 11, 49, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 106

Corpo Humano 12, 14, 41

Corpos Hídricos 41

Corrosão 9, 11, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 91, 93, 170

D

Desreguladores endócrinos 52, 59

E

Efluentes Líquidos 12

Eletrodo 71, 75, 84, 86, 88, 91, 141, 142, 171

Enzimas 14, 94, 95, 98, 99, 100, 101, 103, 108, 109, 155, 171

F

Fibras 9, 13, 61, 86, 97, 101, 181, 182, 183, 184, 185

Fungos 9, 11, 94, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 107, 109, 110, 122

G

Galvanização 84

Grupos Funcionais 42, 44, 47, 86, 115, 170

H

Hormônio 10, 51, 52, 53, 58, 98

I

Impacto Ambiental 12, 13, 41

Isotermas de adsorção 53, 57

L

Lençol Freático 10, 11, 13, 14, 15, 25

M

Materiais Renováveis 94

Meio Ambiente 14, 17, 25, 26, 28, 29, 41, 48, 49, 52, 59, 80, 84, 92, 95, 142

Metabólitos 95

Metais Pesados 11, 26, 41, 49

Micro-Organismos 9, 95, 99, 155

Micropoluentes Inorgânicos 11

N

Nanopartículas 13, 169, 170, 171, 174

Necrochorume 11, 12, 13, 14, 15, 25, 26

O

Oxidação Fotoquímica 60

Oxirredução 41, 71, 92

P

Peletização 145

Pirólise 12, 118, 119, 120, 124, 145, 146

Potabilidade 41

Processos Biotecnológicos 9, 69, 94, 95, 100, 109

Processos Químicos 72, 95, 127, 129, 145, 147

R

Recursos Hídricos 13

Resíduos Lignocelulósicos 94, 101, 144, 151

S

Silanos 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92

Sistema de elutriação 12, 140, 141

Solo 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 41, 98, 99

Superfície Metálica 85

T

Torrefação 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 144, 145, 146, 148, 149, 150, 151

Toxicidade 48, 61, 73, 84

Tratamento de efluentes industriais 41

COLEÇÃO

DESAFIOS

DAS

ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA



- www.atenaeditora.com.br
- contato@atenaeditora.com.br
- [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- [facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

COLEÇÃO

DESAFIOS

DAS

ENGENHARIAS:

ENGENHARIA QUÍMICA



🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

-instagram [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

-facebook [facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)