

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 Diocléia 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 Emídio 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 16

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

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 06/04/2021

Jacqueline Arguello da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Química
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4712538462433785>

Bernardo Brito Vacaro

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Química
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0704650789394174>

Vladimir Lavayen

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Química
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4036436694149528>

Thágó Moreira Klein

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Química
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9178342746328530>

Manoelly Oliveira Rocha

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Química
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1759837753533402>

Vanessa Cesar Ribas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Química
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9304713817695418>

RESUMO: Dispositivos em papel para determinação de glicose representam uma alternativa simples, rápida e de baixo custo. Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um método colorimétrico não enzimático baseado na formação de nanopartículas de ouro (AuNPs). A estratégia consiste na redução do ácido cloroaurico imobilizado sobre papel previamente impregnado com silano amino *funcionalizado*. A mudança de coloração de amarelo para rosa é correlacionada com a concentração de glicose, que atua como agente redutor. A influência da temperatura e do tempo na intensidade do sinal foram avaliados. As imagens digitalizadas das tiras de teste de papel foram analisadas empregando o software Adobe Photoshop. O sistema de análise de cores CMYK, mostrou um aumento linear na intensidade de M (magenta) com aumento na concentração de glicose de 0,05 mmol L⁻¹ a 5 mmol L⁻¹. O sensor colorimétrico mostrou boa reprodutibilidade (coeficiente de variação de 4,9%) e ótima seletividade para a determinação de glicose comparado com outros açúcares e agentes redutores.

PALAVRAS - CHAVE: Nanopartículas de ouro, glicose, colorimétrico, dispositivo em papel

COLORIMETRIC DETERMINATION OF GLUCOSE THROUGH THE FORMATION OF GOLD NANOPARTICLES ON PAPER

ABSTRACT: Paper-based devices for glucose determination represent a simple, fast, and low-cost alternative. Here, we present the development of a non-enzymatic colorimetric method based on the formation of gold nanoparticles (AuNPs). The strategy consists of reducing the chloroauric acid

immobilized on sheet of paper previously impregnated with a functionalized amino silane. The correlated color change from yellow to pink with glucose concentration, which acts as a reducing agent. The influence of temperature and time on signal intensity was evaluated. The scanned images of the paper test strips were analyzed using Adobe Photoshop software. The CMYK color analysis system showed a linear increment in M (magenta) intensity, increasing the glucose concentration from 0.05 mmol L^{-1} to 5 mmol L^{-1} . The colorimetric sensor showed good reproducibility (variation coefficient of 4.9%) and excellent selectivity for glucose determination compared to other sugars and reducing agents.

KEYWORDS: Gold nanoparticles, glucose, colorimetric, paper-based device.

1 | INTRODUÇÃO

Nanopartículas de ouro (AuNPs) têm despertado grande interesse em aplicações analíticas devido as suas propriedades ópticas e eletrônicas. Em particular, a dependência da banda de ressonância plasmônica de superfície (SPR) com o tamanho, forma e estado de agregação, tem permitido a fabricação de dispositivos analíticos colorimétricos para detecção e quantificação de diferentes substâncias (DENG; GOLDYS, 2014; GAO; WU; DI, 2017). As principais vantagens das abordagens colorimétricas são a rapidez de análise, custo-benefício e a simples interpretação do resultado, podendo ser observado até mesmo a olho nu (SUN et al., 2020).

Na literatura, há muitos estudos mostrando a utilização das AuNPs em plataformas colorimétricas na detecção de toxinas (CHEN; ZHOU; ZHAO, 2018), pesticidas (FAHIMI-KASHANI; HORMOZI-NEZHAD, 2016), proteínas (WEI et al., 2017), metais (SAHA et al., 2012), e várias outras espécies de interesse biológico e ambiental (YU et al., 2020). Na maioria dessas aplicações, os analitos interagem com os grupos funcionais na superfície das AuNPs e encurtam a distância entre as partículas, essa diminuição da distância leva a um forte acoplamento de plasmon entre as partículas próximas, o que resulta na mudança de cor de vermelho para azul ou roxo. Zhong e colaboradores (2019) desenvolveram um método colorimétrico para determinação de glicose em soro humano baseado na corrosão de nanobastões de ouro empregando pontos quânticos de carbonos, o que resultou em uma maior sensibilidade. Recentemente, Brasiunas e colaboradores (2021) desenvolveram um método colorimétrico para determinação de açúcares redutores (frutose, glicose, lactose, e manose) em solução. O teste foi baseado na redução de íons AuCl_4^- em meio básico, utilizando brometo de cetrímônio (CTAB) como agente estabilizante. A dependência linear da intensidade da banda em 525 nm, correspondente a banda plasmônica das AuNPs, com a concentração dos açúcares, permitiu a construção de curvas analíticas e a determinação desses açúcares em diferentes amostras (refrigerante, leite e saliva).

AuNPs podem ser facilmente imobilizadas sobre uma ampla gama de substratos tais como vidro, metais e filmes poliméricos. Outro suporte que tem ganhado cada vez mais destaque na fabricação de dispositivos ecológicos, leves e de baixo custo é o

papel. O papel tem sido redescoberto como uma plataforma analítica eficaz devido a sua biocompatibilidade, biodegradabilidade, estrutura fibrosa e facilidade de modificação (MARTINEZ et al., 2007; SCOGNAMIGLIO e ARDUINI, 2019). Diversos métodos para detecção de glicose têm sido desenvolvidos utilizando papel como substrato e envolvendo diferentes metodologias, como a utilização de polímeros molecularmente impressos (CHEN et al., 2020), fotolitografia e serigrafia para preparação de eletrodos enzimáticos (Cao et al., 2020), detecção colorimétrica integrada a um smartphone (NGO, et al., 2021) e detecção potenciométrica em eletrodo enzimático (Fernández et al., 2018), entre outros. As propriedades únicas das nanopartículas de ouro, incluindo inércia química e condutividade, favorecem a sua utilização na construção de sensores a base de papel, a partir de síntese *in-situ* (DESMONDA; KAR; TAI, 2016), impressão a jato de tinta (WENG et al., 2018), entre outros, podendo ser empregados na detecção de glicose através de sensores eletroquímicos (NÚÑEZ-BAJO et al., 2018) e colorimétricos (PINHEIRO et al., 2020), por exemplo.

Recentemente, Zhang e colaboradores (2021) desenvolveram um sensor para glicose em papel com detecção óptica utilizando smartphone. O dispositivo proposto apresentou grande potencial para ser um método competitivo para monitoramento da glicose, em especial por se tratar de um método de baixo custo que apresenta alta eficiência e confiabilidade. A maioria dos dispositivos em papel utilizam sistemas bi-enzimáticos, com a glicose oxidase (GOx) catalisando a oxidação da glicose para ácido glicônico, e produzindo peróxido de hidrogênio. Seguido de uma reação catalítica com o uso da peroxidase para oxidar indicadores colorimétricos, resultando em sinais que são proporcionais à concentração de glicose na amostra (ZHANG et al., 2021). A pesar da elevada seletividade das enzimas, abordagens de detecção não enzimática têm sido propostas como alternativas para o desenvolvimento de sensores, que possibilitem uma medição direta da glicose e que apresentem maior durabilidade, estabilidade e facilidade de preparação e conservação (PINHEIRO et al., 2020).

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de um sensor colorimétrico não enzimático para detecção de glicose. O método de detecção é baseado na formação de nanopartículas de ouro (AuNPs) por redução de íons cloroaurico (AuCl_4^-) na presença de NaOH. Na plataforma de papel, sobre o qual AuCl_4^- foi previamente imobilizado, é observada uma cor rosa, que vai se tornando cada vez mais intensa com o aumento da concentração de glicose. Para a construção de uma curva analítica, as imagens das tiras de teste de papel foram digitalizadas com um escâner comercial e analisadas através do sistema de cores ciano, magenta, amarelo e preto (CMYK).

2 | PARTE EXPERIMENTAL

Papel de filtro quantitativo foi cortado em pequenos pedaços de 1 cm^2 , lavado com etanol e água deionizada. O papel foi tratado com uma solução contendo

aminopropiltretoxilano (APTES), etanol e HCl; este último foi adicionado para promover a hidrólise do APTS. O papel foi deixado em repouso por uma noite e posteriormente aquecido em estufa. Após lavagem e secagem foi deixado em contato com uma solução de HAuCl_4 (4 mmol L⁻¹) por 30 minutos com o qual adquiriu uma coloração amarela. O papel foi novamente lavado para remover o excesso de ácido cloroáurico e secado em estufa para a realização dos testes colorimétricos.

A fim de determinar a temperatura e tempo de reações ótimas, o papel modificado foi imerso em soluções de glicose de diferentes concentrações (0,05, 0,5, 1, 5 e 10 mmol L⁻¹) e aquecido a diferentes temperaturas (60, 70, 80 e 90 °C). As reações foram levadas a cabo em meio básico, solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹, o meio básico é necessário para a hidrólise dos íons complexos de ouro.

Com os parâmetros experimentais otimizados, foram realizados os experimentos com diferentes concentrações de glicose (0,05, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 mmol L⁻¹). As diferentes etapas de preparação e teste são representadas na Figura 1.

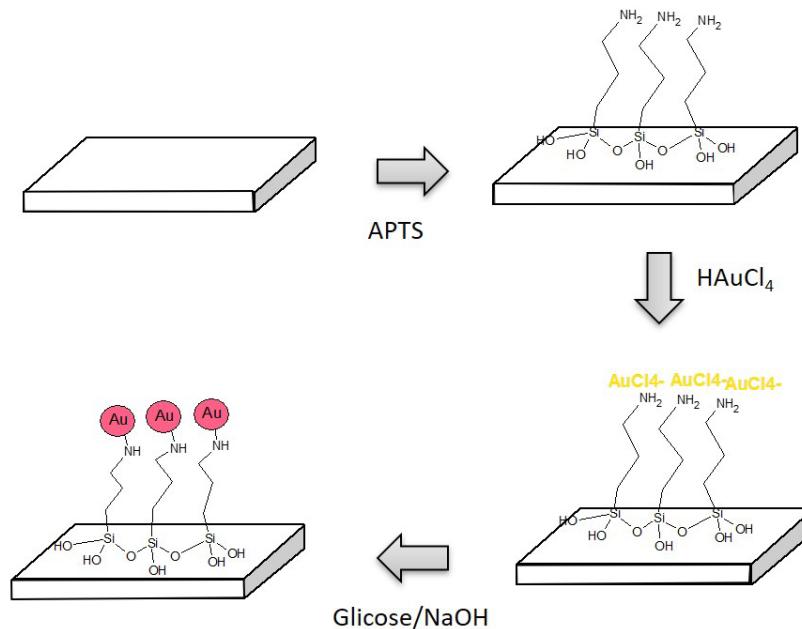


Figura 1. Esquema representando as etapas de immobilização e a reação colorimétrica sobre o papel.

As imagens foram adquiridas através de um escâner com a resolução de 300 ppi (pixels por polegada) e tratadas com o editor de imagens Adobe Photoshop.

3 | RESULTADOS

3.1 Síntese e caracterização

O ácido cloroáurico imobilizado no papel foi reduzido com solução alcalina de glicose. Após a reação foi observada a mudança de coloração de amarelo para rosa claro a vinho dependendo da concentração de glicose e o tempo de exposição. Nas imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) apresentadas na Figura 2 podem ser observados pequenos pontos brancos espalhados em todo o substrato após a redução do ouro. Para avaliar a uniformidade da distribuição dos elementos ouro, silício e nitrogênio foi realizado mapeamento desses elementos através de análise por espectroscopia de energia dispersiva (EDS), Figura 3.

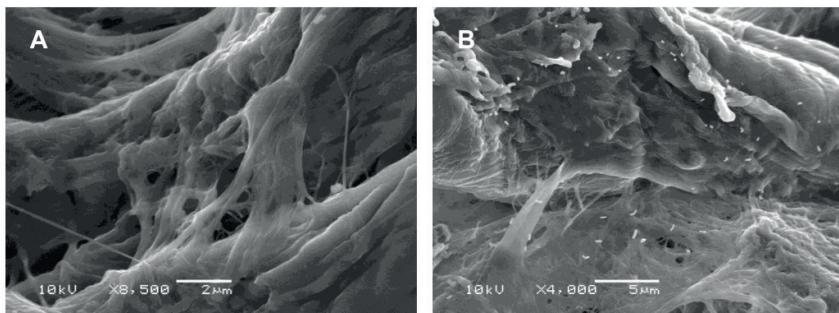


Figura 2. Imagens de microscopia eletrônica de varredura do AuCl_4^- imobilizado sobre o substrato (A) e após redução do ouro (B).

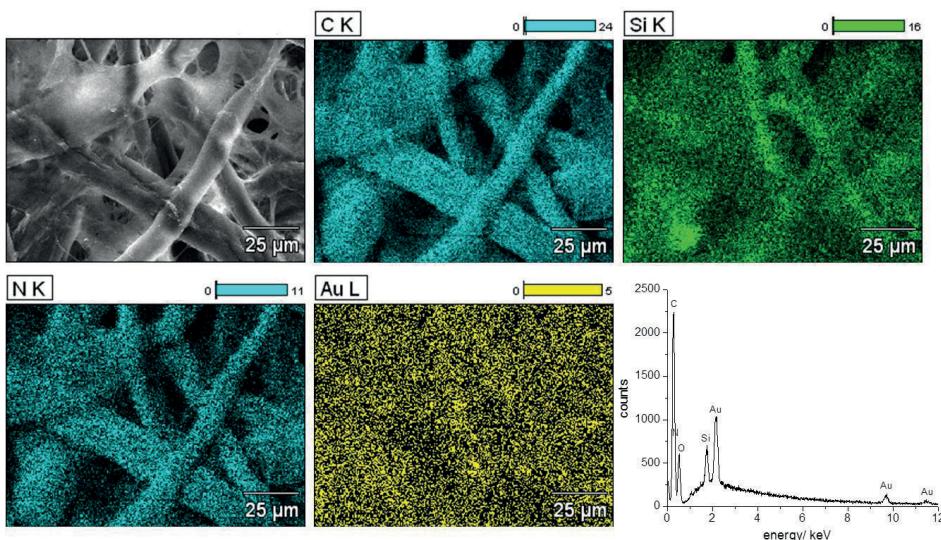


Figura 3. Imagens de mapeamento por EDS/MEV da distribuição dos elementos carbono (C), silício (Si), nitrogênio (N) e ouro (Au), e o espectro.

O aparecimento da banda de ressonância plasmônica em 500 nm no espectro de refletância difusa no UV-Vis evidenciou a formação das nanopartículas, Figura 4.

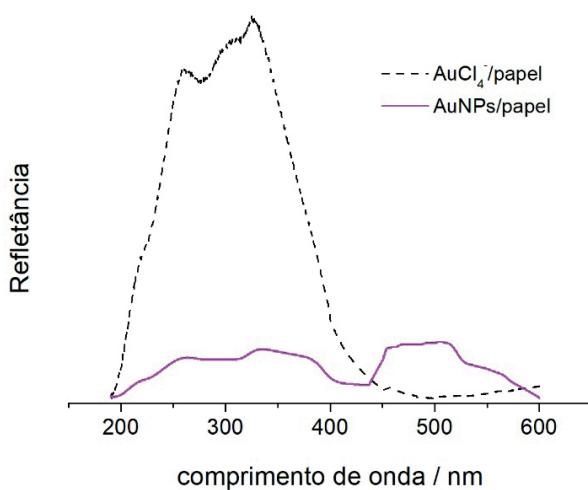


Figura 4. Refletância difusa no UV-Vis do AuCl_4^- immobilizado sobre o papel e após a redução do ouro.

3.2 Aquisição e tratamento de dados

A influência da temperatura sobre a reação foi avaliada a 60, 70, 80 e 90 °C, como mostrado na Figura 5. 80 °C foi escolhido para as análises posteriores devido a maior uniformidade na coloração e dependência da concentração de glicose.

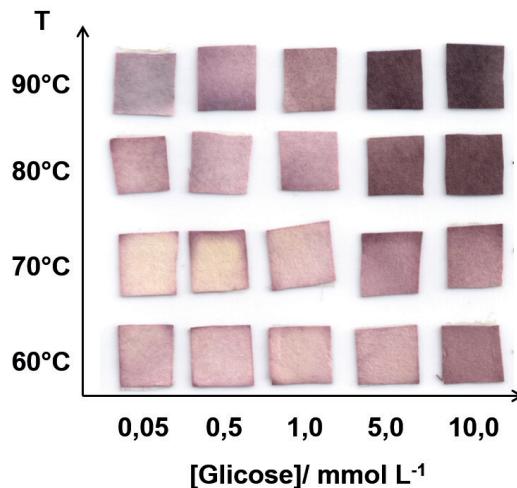


Figura 5. Efeito da temperatura na formação das AuNPs na presença de diferentes concentrações de glicose.

O efeito do tempo na intensidade das cores também foi estudado, Figura 6. Um bom contraste foi constatado após 3 e 5 minutos de reação, 5 minutos foi escolhido para o estudo analítico.

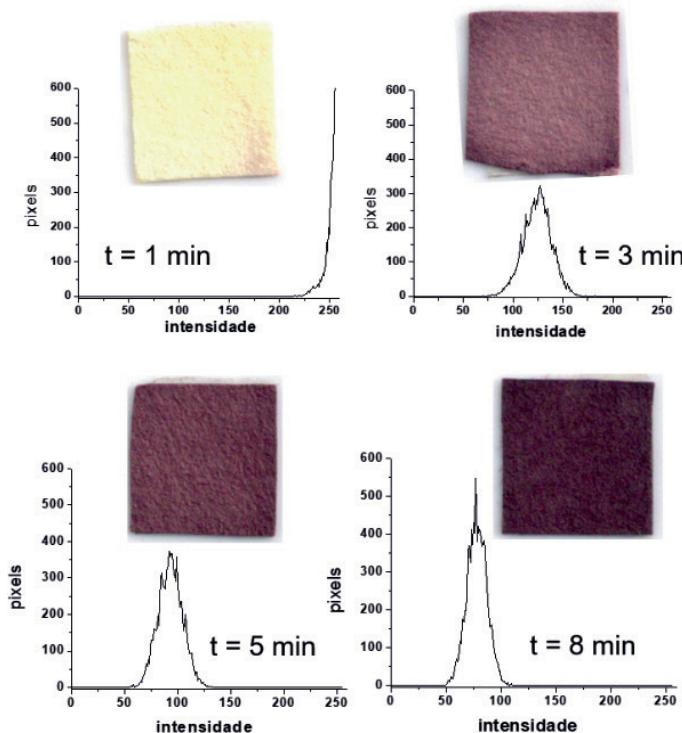


Figura 6. Evolução da formação das AuNPs na presença de 1 mmol L^{-1} de glicose a 80°C e respectivo histograma da componente magenta.

Na Figura 7 são apresentados os resultados das reações a diferentes concentrações de glicose. Pode ser observada uma maior intensidade da cor do papel com o incremento da concentração. Também foi constatada a saturação em concentrações mais elevadas. A fim de correlacionar à intensidade da coloração com a concentração de glicose, as imagens digitalizadas foram processadas no Adobe Photoshop através do sistema de cores CMYK (Cyan, magenta, yellow e black). Cada imagem foi separada nas suas componentes e a partir dos quais os histogramas foram gerados (Figura 8). A componente magenta apresentou maior contraste com a concentração. Por isto, os valores das suas intensidades foram utilizados na construção da curva analítica.

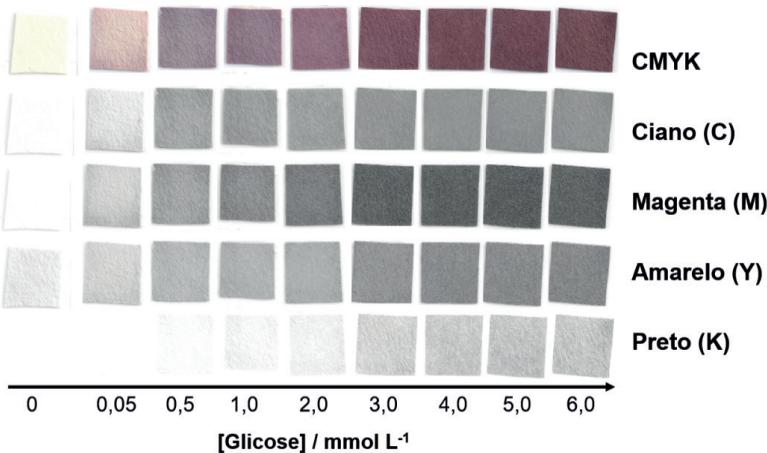


Figura 7. Separação das componentes CMYK a diferentes concentrações de glicose.

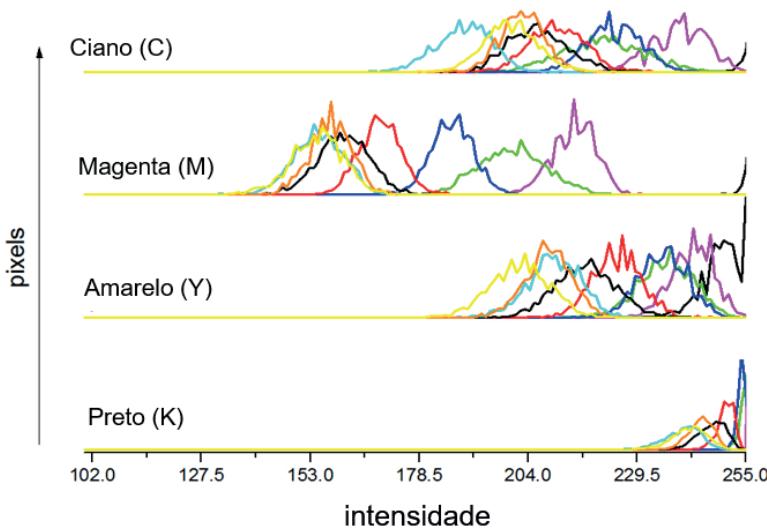


Figura 8. Histogramas das componentes CMYK a diferentes concentrações de glicose.

A melhor correlação foi obtida entre o inverso da intensidade (1/ intensidade) e a concentração de glicose. Uma relação linear foi obtida na faixa de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$ a 5 mmol L^{-1} com um coeficiente de determinação de 0,9449. A equação da reta é $1/\text{intensidade} = 0,00562 + 0,00209 [\text{Glicose}]/\text{mmol L}^{-1}$, Figura 9.

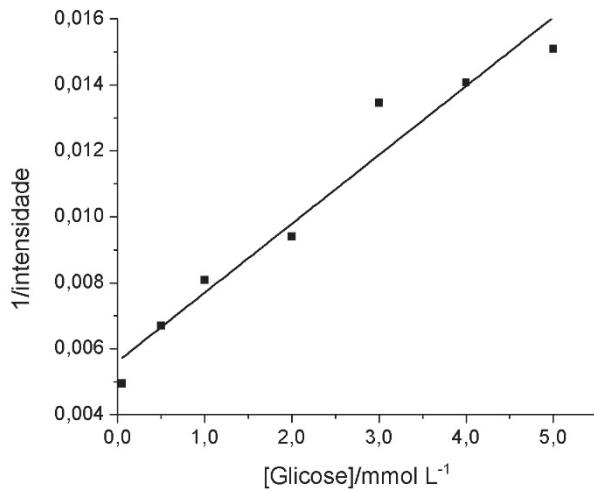


Figura 9. Curva de calibração para a determinação de glicose.

O sensor colorimétrico mostrou boa reprodutibilidade (coeficiente de variação de 4,9% para $n = 3$) e ótima seletividade para a determinação de glicose comparado com outros açúcares e agentes redutores, como mostra a Figura 10.

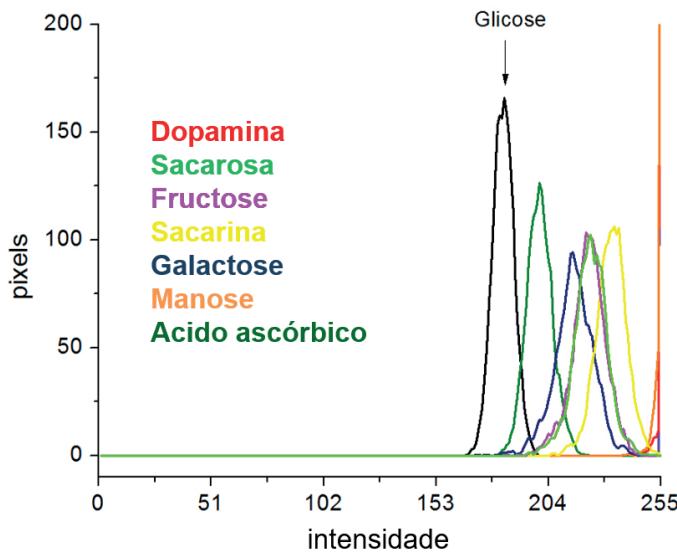


Figura 10. Histograma da componente magenta para a glicose e possíveis interferentes.

4 | CONCLUSÕES

Diferentemente dos testes rápidos em papel para determinação de glicose, que frequentemente empregam sistemas enzimáticos, aqui foi apresentado um método não enzimático de fácil preparação, baseado no princípio de que a glicose pode atuar como um agente redutor para a síntese de AuNPs, resultando no aparecimento de uma coloração vermelho vinho característico, devido a banda de absorção em 500 nm, que se torna mais intensa conforme aumenta a concentração de glicose. A intensidade da componente magenta (M) do sistema de cores CMYK mostrou uma boa correlação com a concentração de glicose na faixa de 0,05 mmol L⁻¹ a 5 mmol L⁻¹. Finalmente, cabe destacar que sensores colorimétricos baseados em papel e combinados com ferramentas digitais são alternativas promissoras e sustentáveis comparado com os métodos tradicionais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do INCTBIO (CNPq/INCT 465389/2014-7), CNPq (Processo: 550441/2012-3), Propesq/UFRGS. Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. J.A. agradece o apoio do centro CMM- UFRGS.

REFERÊNCIAS

BRASIUNAS, B. *et al.* Gold nanoparticle based colorimetric sensing strategy for the determination of reducing sugars. **Food Chemistry**, v. 351, p. 129238, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129238>

CAO, L. *et al.* A novel 3D paper-based microfluidic electrochemical glucose biosensor based on rGO-TEPA/PB sensitive film. **Analytica Chimica Acta**, v. 1096, p. 34-43, Fev. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.10.049>

CHEN, Z. *et al.* A Low-Cost Paper Glucose Sensor with Molecularly Imprinted Polyaniline Electrode. **Sensors**, v. 20, n. 4, Fev. 2020. DOI 10.3390/s20041098. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20041098>

CHEN, H.; ZHOU, K.; ZHAO, G. Gold nanoparticles: From synthesis, properties to their potential application as colorimetric sensors in food safety screening. **Trends in Food Science and Technology**, v. 78, p. 83–94, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.027>

DENG, W.; GOLDYS, E.M. Chemical sensing with nanoparticles as optical reporters: From noble metal nanoparticles to quantum dots and upconverting nanoparticles. **Analyst**, v. 139, n. 21, p. 5321–5334, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c4an01272k>

FAHIMI-KASHANI, N.; HORMOZI-NEZHAD, M.R. Gold-nanoparticle-based colorimetric sensor array for discrimination of organophosphate pesticides. **Analytical Chemistry**, v. 88, n. 16, p. 8099–8106, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b01616>

FERNANDÉZ, L. G; *et al.* A disposable, simple, fast and low-cost paper-based biosensor and its application to the determination of glucose in commercial orange juices. **Food Chemistry**, v. 265, n. 1, p. 64-69, Nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.082>

DESMONDA, C.; KAR, S.; TAI, Y. Formation of gold nanostructures on copier paper surface for cost effective SERS active substrate - effect of halide additives. **Applied Surface Science**, v. 367, p. 362-369, Mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.01.154>

GAO, Y.; WU, Y.; DI, J. Colorimetric detection of glucose based on gold nanoparticles coupled with silver nanoparticles. **Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 173, p. 207-212, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.09.023>

NGO, Y.; *et al.* Simple paper-based colorimetric and fluorescent glucose sensor using N-doped carbon dots and metal oxide hybrid structures. **Analytica Chimica Acta**, v. 1147, Feb., 2021. DOI 10.1016/j.aca.2020.11.023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.11.023>

NÚÑEZ-BAJO, E. *et al.* In situ gold-nanoparticle electrogeneration on gold films deposited on paper for non-enzymatic electrochemical determination of glucose. **Talanta**, v. 178, n. 1, p. 160-165, Fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.08.104>

MARTINEZ, A.W. *et al.* Patterned Paper as a Platform for Inexpensive, Low-Volume, Portable Bioassays. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 46, p. 1318-1320, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/anie.200603817>

PINHEIRO, T. *et al.* Paper-Based In-Situ Gold Nanoparticle Synthesis for Colorimetric, Non-Enzymatic Glucose Level Determination. **Nanomaterials**, v. 10, n. 10, Oct., 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nano10102027>

SAHA, K. *et al.* Gold nanoparticles in chemical and biological sensing. **Chemical Reviews**, v. 112, n. 5, p. 2739–2779, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr2001178>

SUN, J. *et al.* Colorimetric sensor array based on gold nanoparticles: Design principles and recent advances. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 122, p. 115754, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115754>

SCOGNAMIGLIO, V.; ARDUINI F. The technology tree in the design of glucose biosensors. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 120, Nov. 2019. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115642>

YU, L. *et al.* Progress of gold nanomaterials for colorimetric sensing based on different strategies. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 127, p. 115880, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115880>

WEI, X. *et al.* Colorimetric sensor array for protein discrimination based on different DNA chain length-dependent gold nanoparticles aggregation. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 97, p. 332–337, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.06.020>

WENG, G. *et al.* Preparation and SERS performance of Au NP/paper strips based on inkjet printing and seed mediated growth: The effect of silver ions, **Solid State Communications**, v. 272, p. 67-73, Abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2018.01.014>

ZHANG, H. *et al.* A low-cost mobile platform for whole blood glucose monitoring using colorimetric method. **Microchemical Journal**, v. 162, p. 105814, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105814>

ZHONG, Q. *et al.* Colorimetric enzymatic determination of glucose based on etching of gold nanorods by iodine and using carbon quantum dots as peroxidase mimics. **Microchimica Acta**, v. 186, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00604-019-3291-2>

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)