

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos



Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª 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  
Profª Drª 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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
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  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
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



# Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0198-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.988221306>

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](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## 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. Declaram 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: “Engenharia química: Desenvolvimento de novos processos e produtos” é constituído por nove capítulos de livros que apresentaram estudos aplicados a diferentes segmentos industriais e ambientais.

O primeiro capítulo avaliou as propriedades e capacidade de escoabilidade de materiais pulverulentos a base de celulose e lactose na fabricação de medicamentos na forma de comprimidos ou cápsulas, os resultados foram satisfatórios e possibilita a substituição da lactose pela celulose. O segundo trabalho avaliou o processo de cavitação no canal do bico injetor ao se substituir o tipo de combustível em motores que operam a diesel, a viscosidade do combustível e a pressão de injeção foram os fatores que mais influenciaram na cavitação. O terceiro capítulo avaliou diferentes modificações químicas no óleo de soja refinado a partir da reação de inúmeras reações com o intuito de melhorar as características lubrificantes, obtendo-se um lubrificante biodegradável a partir do óleo de soja. O capítulo 4 apresenta o estudo da incorporação do extrato de frutos – cupuaçu – e do mesocarpo do coco de babaçu a fim de conferir atividade antioxidante para biofilmes com potencial utilização em biopolímeros.

O capítulo 5 realizou uma análise bibliográfica de catalisadores e suas propriedades que viabilizam reações de transesterificação heterogênea a fim de obter biocombustíveis. Já o capítulo 6 realizou um estudo apresentando a importância da Espectroscopia Raman como técnica de caracterização de óxidos com propriedades catalíticas. O capítulo 7 apresentou um estudo de desenvolvimento de uma planta pirolítica de baixo custo utilizando resíduos de colheita de Eucalipto como biomassa para a combustão. O capítulo 8 apresentou uma técnica de conversão integral de gás metano em gás carbônico em um reator de leito fixo. Por fim, o estudo de potencialidade de biorremediação utilizando a biomassa de *Chlorella Vulgaris* em processos de tratamento de águas residuárias.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE FLUXO DE MISTURAS DE EXCIPIENTES FARMACÊUTICOS**

Marlen Ussifati Rocha

Rodrigo Condotta


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213061>

### **CAPÍTULO 2..... 11**

#### **AVALIAÇÃO DO FENÔMENO DE CAVITAÇÃO EM INJETORES DO CICLO DIESEL OPERANDO COM BIODIESEL: MODELAGEM E SIMULAÇÃO**

Luís Felipe Nunes Truta

Boniek Evangelista Leite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213062>

### **CAPÍTULO 3..... 24**

#### **PREPARAÇÃO DE POTENCIAIS BIOLUBRIFICANTES A PARTIR DE MODIFICAÇÕES QUÍMICAS NO ÓLEO DE SOJA REFINADO**

Paulo Roberto de Oliveira


Ana Flávia de Oliveira

Patrick Rodrigues Batista

Carlos Itsuo Yamamoto

Francisco de Assis Marques

Palimécio Gimenes Guerrero Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213063>

### **CAPÍTULO 4..... 37**


#### **INFLUÊNCIA DO MESOCARPO DE COCO BABAÇU NA FORMAÇÃO DE BIOFILMES ADITIVADOS COM COMPOSTOS ANTIOXIDANTES – CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum*)**

Meyrelle Figueiredo Lima

Dennys Correia da Silva

Audirene Amorim Santana

Harvey Alexander Villa Vélez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213064>


### **CAPÍTULO 5..... 44**





#### **CATALISADORES QUE VIABILIZAM A TRANSESTERIFICAÇÃO HETEROGÊNEA: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA**

Priscila Pereira Silva

Thaina Firmino Voltolini

Evandro Roberto Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213065>

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>60</b>
ESPECTROSCOPIA RAMAN <i>IN SITU</i> OU OPERANDO NO ESTUDO DE REAÇÕES CATALISADAS POR ÓXIDOS	
Diego Rodrigues de Carvalho Rômulo Batista Vieira Luelc Souza da Costa	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213066">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213066</a>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>74</b>
CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTA PIROLÍTICA DE BAIXO CUSTO EM ESCALA LABORATORIAL PARA PROCESSAMENTO TÉRMICO	
Victor Hugo Andreis Sebben Fabiano Perin Gasparin Lúcia Allebrandt da Silva Ries	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213067">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213067</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>86</b>
GENERALIZED INTEGRAL TRANSFORM TECHNIQUE APPLIED IN METHANE REFORMING PROCESS WITH CARBON DIOXIDE IN FIXED BED REACTOR	
Josiel Lobato Ferreira Emerson Cardoso Rodrigues Dilson Nazareno Pereira Cardoso Wenderson Gomes dos Santos Romero Moreira de Oliveira Bruno Maués Farias João Nazareno Nonato Quaresma Emanuel Negrão Macêdo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213068">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213068</a>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>106</b>
BIOREMEDIATION POTENTIAL OF <i>Chlorella vulgaris</i> (CHLOROPHYCEAE) IN CASSAVA-PROCESSING WASTEWATERS	
Verónica de Medeiros Carla Cristina Almeida Loures Conceição Fernandes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213069">https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213069</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>112</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>113</b>

## BIOREMEDIATION POTENTIAL OF *Chlorella vulgaris* (CHLOROPHYCEAE) IN CASSAVA-PROCESSING WASTEWATERS

Data de aceite: 01/06/2022

Data de submissão: 23/05/2022

### Verónica de Medeiros

Centro de Investigação de Montanha (CIMO).  
ESA-Polytechnic Institute of Bragança  
Bragança, Portugal

### Carla Cristina Almeida Loures

Mechanical Engineering Department.  
Technological and Education Federal Center  
Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brazil

### Conceição Fernandes

Centro de Investigação de Montanha (CIMO).  
ESA-Polytechnic Institute of Bragança  
Bragança, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0003-2873-501X>

**ABSTRACT:** Most cassava processing industry generates a large volume of wastewater effluent with high contaminating load of COD and BOD and cyanide concentration, posing to a serious threat to the environment. A variety of processes has been tested to treat this wastewater effluent, where the effectiveness in reducing the toxicity varies greatly. Microalgae are photosynthetic microorganisms that can rapidly generate biomass from solar energy, CO<sub>2</sub> and nutrients in water, namely those present in wastewater effluents. Also, algal biomass and algae-derived compounds are potentially useful in industrial applications, as well as for biodiesel production. Taking this into account, the aim of this work was evaluated the ability of *Chlorella vulgaris*

to growth on cassava-processing effluent and assess the bioremediation potential by evaluating toxicity of effluent. Batch cultures, with *C. vulgaris* in suspended and in immobilized-cell systems, under different dilutions (20-50%) of cassava effluent were tested. The effectiveness of the process has been assessed by phytotoxicity, in germination trials of *Lactuca sativa*. Best results were obtained with *C. vulgaris* in immobilized-systems and carried out with higher initial cell concentrations. Regarding the phytotoxicity, after biotreatment we can conclude that microalgae can reduce the toxicity of cassava effluent, leading to Germination Increase index (GI) range of 88-100%.

**KEYWORDS:** Cassava wastewaters; bioremediation; *Chlorella vulgaris*; phytotoxicity; *Lactuca sativa*.

### POTENCIAL DE BIORREMEDIAÇÃO DE *Chlorella vulgaris* (CHLOROPHYCEAE) EM ÁGUAS RESIDUAIS DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA

**RESUMO:** A maior parte da indústria de processamento de mandioca gera um grande volume de efluentes residuais com alta carga contaminante de COD e BOD e concentração de cianeto, representando uma séria ameaça ao meio ambiente. Vários processos têm sido testados para tratar este efluente de águas residuais, variando muito a eficácia na redução da toxicidade. As microalgas são microrganismos fotossintéticos que podem gerar rapidamente biomassa a partir da energia solar, CO<sub>2</sub> e nutrientes na água, nomeadamente os presentes

em efluentes de águas residuais. Além disso, a biomassa de microalgas e compostos derivados são potencialmente úteis em aplicações industriais, bem como para a produção de biodiesel. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de crescimento da *Chlorella vulgaris* em efluente resultante do processamento da mandioca, com vista à redução da sua toxicidade. Foram avaliadas diferentes concentrações de efluente, bem como algumas condições de cultura, com o objetivo de maximizar o processo. Foram testadas culturas *batch*, com células de *C. vulgaris* em suspensão e imobilizadas, sob diferentes diluições (20-50%) de efluente de mandioca. O potencial de biorremediação foi avaliado em ensaios de germinação de *Lactuca sativa*. Os melhores resultados foram obtidos com *C. vulgaris* em sistemas imobilizados e realizados com maiores concentrações de inóculo. Em relação à fitotoxicidade, após o biotratamento podemos concluir que as microalgas podem reduzir a toxicidade do efluente da mandioca, levando a um índice de Aumento de Germinação (IG) na faixa de 88-100%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas residuais da mandioca; biorremediação; *Chlorella vulgaris*; fitotoxicidade; *Lactuca sativa*.

## 1 | INTRODUCTION

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is one of the most important food, being produced by more than 80 countries (FAO, 2001). Most cassava processing industry generates a large volume of wastewater effluent with high contaminating load of COD and BOD and cyanide concentration, posing to a serious threat to the environment. Because disposal of effluents from cassava processing is becoming an increasing problem, several treatments were carried out (Barana and Cereda, 2000; Ubalua, 2007; Ferraz et al., 2009; Ribas et al., 2010; Ugwu and Agunwamba, 2012). Nevertheless, the cost of implementing the technology is, in many cases, prohibitive (Ugwu and Agunwamba, 2012), or are not very viable for the treatment.

Microalgae are photosynthetic microorganisms that can rapidly generate biomass from solar energy, CO<sub>2</sub> and nutrients in bodies of water. Algal biomass and algae-derived compounds are potentially useful in industrial applications, as well as for biodiesel production (Mallick, 2002; Olaizola, 2003; Spolaore et al., 2006; Mostafa, 2012; Bellou et al., 2014). Other applications from microalgae are due to their ability to wastewater treatments (Lim et al., 2010; Ruiz-Marin et al., 2010; Abdel-Raouf et al., 2012; Sriram and Seenivasan, 2012; Wang et al., 2013; Martins et al., 2015).

Therefore, the aim of this work was evaluated the ability of *Chlorella vulgaris*, a single-cell Chlorophyceae, to growth in cassava-processing effluent and assess the bioremediation potential by evaluating the toxicity of treated effluent.

## 2 | MATERIAL AND METHODS

**Effluent sampling:** Samples of cassava effluent were collected in Norwest of Brazil

using a 5L plastic bottle in December of 2016. At laboratory arrive the cassava effluent was filtrated, for removal of suspended solids and frozen until use for batch cultures.

**Microalgae cultures:** *C. vulgaris* (CBSC 15-2075), was obtained from the *Carolina Biological Supply Company* (USA) and was pre-cultured in 250 mL flasks with sterilized Bold's Basal medium (BB) in a controlled chamber, under the following conditions: temperature of  $22\pm 0.5$  °C, light intensity of 4500 lux (Gro-Lux fluorescent lamps), 16:8 h light:dark photoperiod, with continuous aeration, until reach exponential growth phase and to be able to be used for essays.

**Effluent biotreatment:** The assays were carried out in batch cultures, with *C. vulgaris* in suspended and in immobilized-cell systems, under different dilutions of cassava effluent. This later consists of effluent dissolved on BB medium in concentrations range between 20% to 50% and sterilized by autoclaving ( $121^{\circ}\text{C}$ , 0.1 Mpa, 20 min). The microalgal immobilization was made in sodium alginate solution at 1.5% and previously washed in distilled water before inoculation.

Batch experiments were developed in 100 mL flasks under no axenic conditions, for 4 days in the following conditions: (i) two distinct initial cell concentrations, approximately  $7\times 10^8$  cells  $\text{mL}^{-1}$  and  $12\times 10^8$  cells  $\text{mL}^{-1}$ ; (ii) a constant ratio of total culture volume to beads volume of 5 (v/v) for suspended system; (iii) initial pH of  $4.45\pm 0.17$ ; (iv) room temperature (approximately  $25.0\pm 1.0$  °C); (v) light intensity of 5000 lux and 16:8h light:dark photoperiod and (vi) continuous aeration with the injection of atmospheric air at the bottom of the flasks. For each condition, two independent experiments were performed.

**Toxicity evaluation:** The evaluation of the cassava effluent toxicity, after biotreatment, was made by germination tests. These tests were performed with lettuce (*Lactuca sativa*) seeds, incubated in a growing chamber, in the dark, at  $26^{\circ}\text{C}\pm 0.1$ , for 3 days. Six lettuce seeds were disposed on each Petri dishes (diameter of 55 mm), lined with filter paper and watered with 2 mL of sample collected after final biotreatment. For each dilution of cassava effluent, the positive control was distilled water and the negative control was water:BB medium at same dilution than effluent. The effect of biotreatment was made by comparisons of biotoxicity of cassava effluent with and without biotreatment. All the essays were done in triplicates. Results were expressed as number of Germinated seeds (G) and Germination Increase index (GI) according to the formula:

$$\text{GI} (\%) = \left( \frac{\text{G}_{\text{test}}}{\text{G}_{\text{contW}}} \right) \times 100$$

Were:  $\text{G}_{\text{test}}$  = n° of seeds germinated after biotreatment;  $\text{G}_{\text{contW}}$  = n° of seeds germinated without biotreatment.

**Statistical analysis:** Results were expressed as mean values  $\pm$  standard error.

### 3 | RESULTS AND DISCUSSION

To evaluate the growth ability of *C. vulgaris* under the presence of cassava effluent, several effluent dilutions were prepared with BB medium and inoculated with suspended cells or with immobilized cells. Best results were obtained with *C. vulgaris* in immobilized-systems. In fact, results showed that, in generally, *C. vulgaris* in suspended-cell systems can not growth in the tested dilutions of the effluent. Reports have shown that cassava effluent contains harmful cyanides, copper, mercury and nickel which have the capacity to affect native micro-biota (Aiyegoro et-al., 2007), and therefore certainly also affects the microalgae, inhibiting their grow. On the other hand, *C. vulgaris* in immobilized-systems apparently could grow in all tested dilutions of the effluent. The time-course evolution of pH of these cultures, also suggests that the pH increase observed, from 4.45 to 8.00, could be related to cyanide remove, since their presence produces an acidic effect. In cell entrapment, microalgal cells are confined to the polymeric matrix and substrates and products diffuse to and from the cells through the pores present in the matrix. This system had some advantages, since immobilization matrix confers cells higher resistance to harsh environments (Tampion and Tampion, 1987; Mallick, 2002; Ruiz-Marin et.al., 2010), such as with the cassava effluent.

		Without Biotreatment		With Biotreatment		
		Days	G (%)	Days	G (%)	GI (%)
<b>Control +</b>		2	94±9.62	2	100	
<b>Control -</b>		2	100	2	94±9.62	
<b>Effluent dilutions</b>	<b>20%</b>	2	11±9.62	2	94±9.62	<b>88±10.72</b>
	<b>40%</b>	2	5.56±9.62	3	78±9.62	<b>93±11.55</b>
	<b>50%</b>	3	0	3	56±19.25	<b>100</b>

Table 1- Germinated seeds (G) and number of days obtained for controls and for the cassava effluent dilutions, with and without biotreatment (higher inoculum).

The bioremediation potential of *C. vulgaris* in immobilized-systems was evaluated by germination tests and results showed that the toxicity of the effluent after treatment was diminished considerably. Also, results showed that batch cultures carried out with higher initial cell concentrations in alginate beads ( $12 \times 10^6$  cells mL<sup>-1</sup>) showed best results, comparing with lower initial cell concentrations (table 1). As expected, biotreatment carried out in cassava effluent leads to an increase in the number of germinated seeds, comparing with cassava effluent without treatment. This result was expressed as Germination Increase index (GI), which reached 100% for the treatments of cassava effluent diluted at 50%. In general, the increase of effluent concentration affects the seeds germination, inhibiting

the number of germinated seeds (G), namely, cassava effluent diluted at 50% fully inhibits seeds germination. The negative control was prepared to assess the effect of BB medium on seeds germination and since there are no differences between dilutions, the results presented here concerning the water:BB medium at 50 % dilution. These results confirmed that *C. vulgaris* can reduce phytotoxic compounds present in cassava effluent that inhibits germination of *L. sativa*, thus showing a good biotreatment potential.

## 4 | CONCLUSIONS

In generally, results from this work showed that immobilized *C. vulgaris* could be an alternative to bioremediation of cassava effluent, but more detailed studies are still needed to optimize the process. Biotreatments of wastes using living organisms is an environmentally friendly, relatively simple and cost-effective alternative to physico-chemical processes. Furthermore, the biotechnology of growing microalgae in wastewater is getting importance as biomass production for many other valuable applications.

## REFERENCES

Abdel-Raouf N., Al-Homaidan A.A. and Ibraheem I.B.M., “**Microalgae and wastewater treatment**”, Saudi Journal of Biological Sciences, vol. 19(3), pp. 257-275, 2012.

Aiyegoro O.A., Akinpelu D.A., Igbinosa E.O. and Ogunmwonyi H. I., “**Effect of cassava effluent on the microbial population dynamic and physicochemical characteristic on soil community**”, Sci Focus, vol. 12, pp. 98-101, 2007.

Barana A. C. and Cereda M. P., “**Cassava wastewater (manipueira) treatment using a two-phase anaerobic biodigester**”, Food Science and Technology (Campinas), vol. 20 (2), pp. 183-186, 2000.

Bellou S., Baeshen M. N., Elazzazy A. M., Aggeli D., Sayegh F. and Aggelis G., “**Microalgal lipids biochemistry and biotechnological perspectives**”, Biotechnology Advances, vol. 32(8), pp. 1476-1493, 2014.

FAO, “**The Global Cassava Development Strategy and Implementation Plan**”, FAO/IFAD, 2001.

Ferraz. F. M, Bruni A. T and Del Bianchi V. L., “**Performance of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR) in treatment of cassava wastewater**”, Braz. J. Microbiol. 40 (1), pp. 48-53, 2009.

Lim S., Chu W. and Phang S., “**Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater**”, Bioresource Technology, vol. 101, pp. 7314-7322, 2010.

Mallick N., “**Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: a review**”, Biometals, vol. 15, pp. 377-390, 2002.

Martins B., Monteiro D. and Fernandes C., “**Preliminary results of olive mil wastewater treatment by immobilized microalgae**”, Aperito Journal of Cellular and Molecular Biology, vol. 1(105), pp. 1-7, 2015.

Mostafa S.S.M. , **“Microalgal biotechnology: prospects and applications”**, INTECH Open Access Publisher, 2012.

Olaizola M., **“Commercial Development of Microalgal Biotechnology: From the Test Tube to the Marketplace”**, Biomolecular Engineering, vol. 20, pp. 459-466, 2003.

Ribas M. M. F., Cereda M. P., and Villas Bôas R. L., **“Use of cassava wastewater treated anaerobically with alkaline agents as fertilizer for maize (Zea mays L.)”**, Brazilian Archives of Biology and Technology, vol. 53(1), pp. 55-62, 2010.

Ruiz-Marin A., Mendonza-Espinosa L. G. and Stephenson T., **“Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater”**, Bioresource Technology, vol. 101, pp. 58-65, 2010.

Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E. and Isambert A., **“Commercial applications of microalgae”**, Journal of Bioscience and Bioengineering, vol. 101, pp. 87-96, 2006.

Sriram S. and Seenivasan R., **“Microalgae Cultivation in Wastewater for Nutrient Removal”**, J. Algal Biomass Utiln, vol. 3, pp. 9- 13, 2012.

Tampion J. and Tampion M.D, **“Immobilized cells: principles and applications”**, Cambridge University Press, 1987, Cambridge, UK, pp. 257.

Ubalua A. O., **“Cassava wastes: treatment options and value addition alternatives”**, African Journal of Biotechnology vol. 6 (18), pp. 2065-2073, 2007.

Ugwu E. I. and Agunwamba J. C., **“Detoxification of cassava wastewater by alkali Degradation”**, Journal of Research in Environmental Science and Toxicology, vol. 1(7) pp. 161-167, 2012.

Wang C., Yu X., Lv H. and Yang J., **“Nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater by the green alga Chlorella sp.”**, J Environ Biol., vol. 34, pp. 421-425, 2013.



## **SOBRE O ORGANIZADOR:**

**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA** - Técnico em química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado em Química pela Universidade de Uberaba (2011), Licenciado em Ciências Biológicas pela Faculdade Única (2021). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Docência do Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), Especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021). Mestre em Química (2015), Doutor em Química (2018) e Pós-Doutorado em Química (2020-2022) pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente, vem atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de monitoramento de CIE; (iii) desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CIE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) aplicação de processos oxidativos avançados ( $H_2O_2/UV-C$ ,  $TiO_2/UV-A$  e foto-Fenton entre outros) para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto para fins de reutilização; (v) estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CIE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) educação ambiental e (vii) processos de alfabetização e letramento científico no ensino de ciências, química e biologia.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acetilação 24, 25, 28, 32, 33  
Ácidos graxos 28, 30, 45, 52  
Adsorb 88  
Aeração 2, 4, 5, 7  
Agência Nacional de Petróleo (ANP) 29, 34  
Alimentos 37, 39, 43, 44, 86  
Análise da fluidez 2  
Antioxidante 37, 38, 40, 41  
Atividade catalítica 46, 47, 49, 52, 53, 54, 61, 68

### B

Bico injetor 11, 14, 15, 16, 19, 20, 22  
Biochar 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 84  
Biocombustíveis 12, 23, 34, 44, 45, 59, 76  
Biodegradáveis 24, 26, 37, 38, 43  
Biodiesel 11, 12, 13, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 34, 35, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 106, 107  
Biofarmacêuticas 2  
Biofilmes 37, 40, 42  
Biolubrificantes 24, 26, 28, 33, 34, 36  
Biomassa 12, 45, 74, 75, 79, 80, 83, 84, 85, 106, 107  
Bio-óleo 74, 75, 76, 80, 82, 83, 84  
Biopolímeros 37, 43  
Bioremediation 106, 107, 109, 110  
Boudouard 86, 88

### C

Carbon dioxide 86, 87, 90, 98, 101, 102, 104, 105  
Catalisadores 27, 44, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 68, 69, 72  
Catálise 44, 47, 48, 49, 51, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 68, 72  
Cavitação 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23  
*Chlorella vulgaris* 106, 107, 110  
Cisalhamento 2, 4, 5, 7, 8

Combustíveis 11, 12, 24, 25, 26, 36, 45, 56  
Coupled Integral Equations Approach (CIEA) 86, 93  
Cupuaçu 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43

## D

Densidade relativa 26, 29, 30, 31, 32, 33  
Diesel 11, 12, 13, 16, 20, 22, 23, 34, 35, 36, 44, 45, 68

## E

Efeito Raman 61  
Epoxidação 24, 27, 29  
Escoabilidade 1, 3  
Espalhamento Raman 62, 63, 64  
Espectroscopia Raman 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73  
Excipientes farmacêuticos 1, 2, 6

## F

Fármacos 1, 2, 3, 37, 38, 39  
Fóton 62, 64

## G

Gás de arraste 74, 75, 77, 80  
Generalized Integral Transform Technique (GITT) 86, 87, 95

## H

Hidroxilação 24, 31

## I

Injeção 4, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23

## L

*Lactuca sativa* 106, 107, 108

## M

Materiais pulverulentos 1, 2  
Matrizes energéticas 44  
Microcelulose 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9  
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 3  
Modelo de Schnner e Sauer 11, 16  
Monocromadores 65

Motores 11, 12, 13, 32, 35, 45

## **N**

Não-renováveis 11

## **O**

Óleos vegetais 12, 24, 26, 45, 47, 49, 58

Óxidos 44, 46, 47, 50, 52, 54, 60

## **P**

Petróleo 12, 25, 29, 34, 44, 45

Phytotoxicity 106

Pirólise 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ponto de fluidez 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34

Ponto de fulgor 26, 29, 30, 31, 32

Porosidade 2, 3, 5, 6, 48, 50, 54

Propriedades fenomenológicas 2

## **R**

Renováveis 11, 12, 25, 44

Reômetro 4

Resíduos 34, 53, 55, 57, 75, 84, 85, 112

Reutilização 49, 52, 54, 75, 112

## **T**

Termoconversão 75

Toxicidade 26, 45, 106, 107

Transesterificação heterogênea 44

Triglicerídeos 29, 45, 47, 48, 51, 55

## **V**

Viscosidade 11, 12, 13, 16, 19, 20, 22, 24, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 47

## **W**

Wastewaters 106

## **Z**

Zeólitas 44, 46, 47, 54, 56, 57, 58

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

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos



 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

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

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos