

Avanços Científicos e Tecnológicos em Bioprocessos

Alberdan Silva Santos
(Organizador)



Atena
Editora

Ano 2018

Alberdan Silva Santos
(Organizador)

Avanços Científicos e Tecnológicos em Bioprocessos

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A946 Avanços científicos e tecnológicos em bioprocessos [recurso eletrônico] / Organizador Alberdan Silva Santos. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-47-5

DOI 10.22533/at.ed.475180110

1. Bioprocessos. 2. Bioquímica. 3. Biotecnologia. I. Santos, Alberdan Silva.

CDD 553.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Avanços Científicos e Tecnológicos em Bioprocessos é uma obra que reúne vinte e três capítulos com temas em pesquisas científicas realizadas no campo da biotecnologia, e que envolve agentes biológicos e bioquímicos na geração de produtos ou processos. Nesta obra se concentram diversos avanços descritos nas metodologias e nos resultados, distribuídos em quatro tópicos principais, envolvendo: processos químicos e biotecnológicos no aproveitamento de resíduos; produção de metabólitos e enzimas; métodos analíticos e de simulação; e biotratamentos envolvidos na geração de energias. Esta obra foi escrita por jovens pesquisadores brasileiros que estão desenvolvendo suas teses e/ou dissertações em instituições nacionais. Por este motivo, os aspectos inovadores e o alcance dos resultados apresentados podem ser um grande estímulo para aqueles que visam conhecer com maior amplitude alguns dos aspectos biotecnológicos estudados em algumas das instituições de nosso país.

Alberdan Silva Santos

SUMÁRIO

EIXO 1: PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS APLICADOS NA PRODUÇÃO DE ENZIMAS E PROTEÍNAS

CAPÍTULO 1 1

AMYLASES IN PROTEIN SECRETOME PROFILE FROM *Aspergillus sp* WITH POTENTIAL TO DECONSTRUCT INTEGRAL STARCH

Patrícia Suelene Silva Costa Gobira
Rubens Menezes Gobira
Ricardo Felipe Alexandre de Mello
Hellen Kempfer Phillippsen
Nelson Rosa Ferreira
Alberdan Silva Santos

CAPÍTULO 2 7

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA DE FRUTOSILTRANSFERASE EXTRACELULAR MICROBIANA PARA A SÍNTESE DE FRUTOOLIGOSSACARÍDEOS EM ESCALA LABORATORIAL

Rafael Firmani Perna
Josivan de Sousa Cunha
Sergio Andres Villalba Morales
Michelle da Cunha Abreu Xavier
Cristiane Angelica Ottoni
Elda Sabino da Silva
Alfredo Eduardo Maiorano

CAPÍTULO 3 23

ENZYMATIC COCKTAIL PRODUCED BY *Fusarium sp* WITH POTENTIAL TO DECONSTRUCT CRUDE CASSAVA STARCH (*Manihot esculenta Crantz*).

Patrícia Suelene Silva Costa Gobira
Elaine Cristina Souza Medeiros
Rubens Menezes Gobira
Ricardo Felipe Alexandre de Mello
Alberdan Silva Santos

CAPÍTULO 4 28

THE SYSTEMATIC INVESTIGATION OF L-ASPARAGINASE PRODUCED BY FILAMENTOUS FUNGI

Eliane Silva e Silva
Alberdan Silva Santos
Márcia Gleice da Silva Souza
Rubens Menezes Gobira
Maria Inez de Moura Sarquis

CAPÍTULO 5 33

EVALUATION OF METHYLOCYSTIS HIRSUTA GROWTH ON SUPPLEMENTED MINERAL MEDIA USING METHANE AS CARBON SOURCE

Rodrigo Pimentel Fernandes
Ana Cristina Pantoja Simões
Manuela Temtemples de Carvalho
Camila Ruiz Lopes
Nei Pereira Jr

CAPÍTULO 6 37

BIOTECHNOLOGICAL PRODUCTION OF ENZYMATIC EXTRACT WITH CELULOLYTICAL ACTIVITY FROM AGROINDUSTRY RESIDUES

Ivanilton Almeida Nery
Karine Belo Rocha de Lima
Marlon Castro da Silva
Edmir Fernandes Ferreira

EIXO 2: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS EM PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS E QUÍMICOS

CAPÍTULO 7 41

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA PALMA DE ÓLEO (*ELAEIS SP*) PARA PRODUÇÃO DE POLISSACARÍDEOS EXTRACELULARES POR *PLEUROTUS OSTREATUS*

Jhonatas Rodrigues Barbosa
Maurício Madson dos Santos Freitas
Marcos Enê Chaves Oliveira

CAPÍTULO 8 50

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE *Bacillus subtilis* UFPEDA 86 E DA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE UTILIZANDO RESÍDUOS DE FRUTAS COMO SUBSTRATOS

Camylla Carneiro Soares
Adrielly Silva Albuquerque de Andrade
Fábio Cirqueira da Silva
Andréa Farias de Almeida
Janice Izabel Druzian
Ana Katerine de Carvalho Lima Lobato

CAPÍTULO 9 65

ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA CACAUEIRA.

Rhuany de Oliveira Silva
Iara Rebouças Pinheiro
Isabela Nascimento Tavares Ferreira

CAPÍTULO 10 70

BIOPRODUCTS FROM *Trichoderma harzianum* AS INDUCER OF RESISTANCE TO ANTHRACNOSE IN BEANS

Emanuele Junges
Marlove Fátima Brião Muniz
Ângela Diniz Campos
Thiarles Brun
Cleudson José Michelin
Marcio Antônio Mazutti

CAPÍTULO 11 81

ANALYSIS OF PRE-TREATMENT OF PINEAPPLE WASTE WITH HYDROGEN PEROXIDE IN THE OBTENTION OF TOTAL REDUCING SUGARS

Fernanda Ferreira Freitas
Lorena Costa Vasconcelos Macedo

Carlos Alberto Galeano Suarez
Araceli Aparecida Seolato
Inti Doraci Cavalcanti-Montaño,
Paula Rubia Ferreira Rosa

EIXO 3: MÉTODOS ANALÍTICOS, CINÉTICA, SIMULAÇÃO E MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS EM PROCESSOS

CAPÍTULO 12 86

USE OF LINEAR EQUATIONS FOR DETERMINATION OF APPARENT KINETIC PARAMETERS IN CELLULOLYTIC MEDIUM WITH *Trichoderma virens*

Nelson Rosa Ferreira
Suelem Paixão da Silva
Rubens Menezes Gobira
Maria Inez de Moura Sarquis
Alberdan Silva Santos

CAPÍTULO 13 92

PRODUCTION OF COMMON ORANGE FERMENTED BEVERAGE: KINECTIC STUDY AND SENSORY ANALYSIS

Jacqueline de Moraes Campêlo
Olga Martins Marques

CAPÍTULO 14 97

MATHEMATICAL MODELING OF GLUCOSE ACCUMULATION DURING ENZYMATIC HYDROLYSIS OF CARRAGEENAN WASTE

Samuel Conceição Oliveira
Fernando Roberto Paz Cedeno
Fernando Masarin

CAPÍTULO 15 104

PRODUÇÃO DE ESPOROS DE *Metarhizium anisopliae* POR CULTIVO SÓLIDO EM BIORREATOR DE TAMBOR ROTATIVO COM ROTAÇÃO INTERMITENTE: APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA PREDIÇÃO DE PERFIS DE TEMPERATURA

Érika Fernanda Rezendes Tada
Lucas Portilho da Cunha
João Cláudio Thoméo

CAPÍTULO 16 121

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE EFETIVIDADE PARA ENZIMAS IMOBILIZADAS USANDO MÉTODOS DE REGRESSÃO SIMBÓLICA VIA PROGRAMAÇÃO GENÉTICA

Félix Monteiro Pereira
Luciano Eduardo Gomes Junior
Fabrício Maciel Gomes
Messias Borges Silva
Samuel Conceição Oliveira

CAPÍTULO 17 133

DEVELOPMENT OF ANALYTICAL METHOD, BY SPECTROSCOPY IN THE MIDINFRARED, AND MULTIVARIATE CALIBRATION FOR ETHANOL QUANTIFICATION IN THE FERMENTED MANGO

PULP (*Mangifera indica* L.) VARIETY BACURI.

Rubens Menezes Gobira
Patrícia Suelene Silva Costa Gobira
Ricardo Felipe Alexandre de Mello
Graziela Cristiane Telles da Silva
Sanclayton Geraldo Carneiro Moreira
Alberdan Silva Santos

CAPÍTULO 18 138

MÉTODOS DE IMOBILIZAÇÃO PARA ESTABILIZAÇÃO DE ENZIMAS

Anderson dos Santos Barbosa
Danyelle Andrade Mota
Lays Carvalho de Almeida
Juliana Lisboa Santana
Nayára Bezerra Carvalho
Sílvia Regina Soares Martins

CAPÍTULO 19 156

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DAS ANTOCIANINAS E DA CORDO EXTRATO DE *Eugênia involucrata* NA PRESENÇA E NA AUSÊNCIA DE AGENTES CONSERVANTES NA TEMPERATURA DE 90°C

Lauren Menegon de Oliveira
Francine Antelo

EIXO 4: BIOTRATAMENTOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA E BIOPRODUTOS

CAPÍTULO 20 163

BIOTRATAMENTO DE VINHAÇA SINTÉTICA E GERAÇÃO DE ELETRICIDADE UTILIZANDO UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL MICROBIANA

Cristiane Angélica Ottoni
Marta Filipa Simões
Jonas Gomes dos Santos
Luciana Peixoto
Rodrigo Fernando Brambilla de Souza
Almir Oliveira Neto
Antônio Guerreiro de Brito
Alfredo Eduardo Maiorano

CAPÍTULO 21 172

RECUPERAÇÃO DE BIOPRODUTOS A PARTIR DA GASEIFICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO

Renan Barroso Soares
Ricardo Franci Gonçalves

CAPÍTULO 22 179

BIOPROSPECTING CAROTENOIDS PRODUCTION IN THREE BRAZILIAN MICROALGAE SPECIES

Sabrina da Silva Mesquita
Natália Guimarães Figueiredo
Inaiã Costa Cutrim
Simone Carvalho Chiapetta
Cláudia Maria Luz Lapa Teixeira
Eliana Flávia Camporese Sérvulo

CAPÍTULO 23 184

EFFECT OF TEMPERATURE AND SALINITY ON THE PRODUCTION OF CAROTENOIDS AND LIPIDS BY MARINE MICROALGA

Nicéia Chies Da Fré
Alessandro de Oliveira Rios
André Jablonski
Rosane Rech
Nilson Romeu Marcílio

SOBRE O ORGANIZADOR..... 193

BIOTRATAMENTO DE VINHAÇA SINTÉTICA E GERAÇÃO DE ELETRICIDADE UTILIZANDO UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL MICROBIANA

Cristiane Angélica Ottoni

Instituto de Biociências - Câmpus do Litoral
Paulista – UNESP
São Vicente – São Paulo

Marta Filipa Simões

Departamento de Biologia, Edge Hill University
Ormskirk, United Kingdom

Jonas Gomes dos Santos

Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de
São Paulo, BIONANO
São Paulo-São Paulo

Luciana Peixoto

Centro de Engenharia Biológica, Universidade do
Minho
Braga-Portugal

Rodrigo Fernando Brambilla de Souza

Departamento de Química, Universidade Federal
do Amazonas
Manaus-Amazonas

Almir Oliveira Neto

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares,
IPEN/CNEN
São Paulo-São Paulo

António Guerreiro de Brito

Departamento de Ciências e Engenharia de
Biosistemas, Universidade de Lisboa
Lisboa-Portugal

Alfredo Eduardo Maiorano

Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de
São Paulo, BIONANO
São Paulo-São Paulo

RESUMO: O Brasil é um dos maiores produtores de etanol no mundo, no entanto, durante o processo de obtenção deste combustível, elevadas quantidades de vinhaça são geradas, em média, para cada litro de etanol produzido são gerados 13 litros deste resíduo. A vinhaça possui propriedades físicas e químicas que podem desencadear efeitos nocivos à biota, deste modo, existe um interesse crescente em identificar novas tecnologias para o seu tratamento. A utilização de células a combustível microbianas (CCMs) apresenta um enorme potencial, uma vez que, pode promover simultaneamente o tratamento deste resíduo e a biogeração de energia elétrica, pela conversão da energia química disponível nesses substratos biodegradáveis diretamente em eletricidade, por meio da ação catalítica de bactérias eletrogênicas aderidas ao eletrodo. Neste contexto, o presente estudo avaliou a utilização de uma CCM de câmara dupla no tratamento de vinhaça sintética. Durante a operação deste reator foi detectada uma máxima densidade de potência de $330 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ e uma redução na demanda química de oxigênio (DQO) em 58,8% após 28 dias. Diante destes resultados preliminares, a tecnologia CCM pode ser considerada promissora no tratamento da vinhaça, contudo, estudos a respeito da configuração, tipo de inóculo e formas de operação da CCM são necessários

para que amplie sua eficiência.

PALAVRAS-CHAVE: Vinhaça sintética, Célula Combustível Microbiana, Bactéria Redutora de sulfato, Demanda Química de oxigênio, Densidade de potência.

ABSTRACT: Brazil is one of the largest producers of ethanol in the world, however, during the process of obtaining ethanol, high quantities of vinasse are generated, on average, for each liter of ethanol produced, 13 liters of this residue is generated. Vinasse has physical and chemical properties that can trigger harmful effects on biota, so there is a growing interest in identifying new technologies for its treatment. The use of microbial fuel cells (CCMs) presents a very high potential, since it can simultaneously promote the treatment of this residue and the biogenesis of electric energy, by converting the available chemical energy in these biodegradable substrates and directly into electricity, by means of the action of electrogenic bacteria adhered to the electrode. In this context, the present study evaluated the use of a double chamber CCM in the treatment of synthetic vinasse. During the operation of this reactor, a maximum power density of 330 mW m⁻² and a reduction in chemical oxygen demand (COD) was detected at 58.8% after 28 days. Considering these preliminary results, CCM technology may be considered promising in the treatment of vinasse, however, studies regarding the configuration, type of inoculum and forms of CCM operation are necessary to increase its efficiency.

KEYWORDS: Synthetic vinasse, Microbial Fuel Cell, Sulfate-reducing bacteria, chemical oxygen demand, power density.

1 | INTRODUÇÃO

O aumento das necessidades energéticas mundiais, o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e os problemas ambientais relacionados ao uso contínuo destes combustíveis definem um novo panorama para o século XXI e determinam que novas políticas referentes a fontes de energia sejam adotadas. O alarmante crescimento da procura por fontes de energia, associado à incerteza quanto à disponibilidade e ao preço do petróleo conduzem à adoção de práticas para o desenvolvimento e exploração de novos recursos energéticos para a manutenção do crescimento sustentável da sociedade (SÁ *et al.*, 2014; HASSAN *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2012). Dentre os biocombustíveis obtidos de matérias-primas renováveis, o etanol da cana-de-açúcar pode dar uma contribuição substancial em termos de quantidade produzida e impacto ambiental (MORAES *et al.*, 2014; HARDE *et al.*, 2014).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Segundo dados do Anuário Brasileiro da Cana-de-açúcar (2012), na safra 2012/2013, estima-se que tenham sido produzidos 596,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar em 8,5 milhões de hectares (2,1 % a mais do que o ciclo anterior) o que representa uma produtividade média de 70 toneladas por hectare. (MORIMOTO; RIZK, 2014; MARTÍNEZ *et al.*, 2013). No ano

de 2012, foi produzido um total de 23,5 bilhões de litros de etanol. Contudo, muito embora o etanol seja um recurso renovável, por cada litro produzido são gerados, aproximadamente, 13 L de vinhaça. Considerando esses números, cerca de 305,5 bilhões de litros de vinhaça foram gerados em 2012 (LAZARO *et al.*, 2014).

A vinhaça é um resíduo da produção do etanol que apresenta um baixo valor de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), uma alta Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH baixo e é rica em substâncias orgânicas e minerais, com predominância do potássio (Tabela 1). Esta complexa composição pode causar alterações nas propriedades físicas e químicas dos solos que recebem descargas frequentes deste resíduo, resultando em efeitos nocivos à agricultura e à biota em geral (SANTOS *et al.*, 2014; SYDNEY *et al.*, 2014; POTENTINI *et al.*, 2006).

A carga orgânica da vinhaça provoca a proliferação de microrganismos que consomem o oxigênio dissolvido na água, desencadeando assim, a destruição da fauna e flora aquática e reduzindo também a possibilidade do consumo da água dos locais contaminados. Além disso, o descarte de vinhaça nos cursos de água contribui para o agravamento de doenças endêmicas, como a malária, amebíase e esquistossomose, além do odor desagradável (LAIME *et al.*, 2011). A vinhaça pode ser também uma fonte significativa de emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, devido à decomposição aeróbia e anaeróbica da matéria orgânica que ocorre durante o transporte, armazenamento temporário ou até mesmo descarte deste resíduo (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

| Parâmetros | Valores* | Parâmetros | Valores* |
|---------------|----------|------------|----------|
| pH | 3,9 | As | na** |
| DBO | 5046 | Ba | 0,41 |
| DQO | 13380 | Cd | na** |
| Potássio | 2056 | Cr | 0,04 |
| Sódio | 50,2 | Cu | 0,35 |
| Sulfato | 710 | Hg | 0,0019 |
| Cálcio | 719 | | |
| Magnésio | 237 | | |
| Fósforo total | 190 | | |
| Dureza | 2493 | | |

Tabela 1. Características físico-químicas da vinhaça. Adaptado de CHRISTOFOLETTI *et al.* (2013).

*Valores expressos em mg/L, exceto o pH.

** na: dados não avaliados.

O uso da vinhaça em bioprocessos apresenta potencialidade, visto que, este resíduo é rico em carbono e em alguns sais de potássio e de cálcio, tornando-se um substrato importante para o crescimento microbiano (CAMPOS *et al.*, 2014; HIGA *et al.*, 2014). Recentemente, a vinhaça foi descrita como fonte de carbono para a produção de biossurfactantes (LIMA; SOUZA, 2013; OLIVEIRA; GARCIA-CRUZ, 2013). O tratamento de vinhaça por meio de digestão anaeróbia é uma abordagem

promissora, uma vez que os subprodutos desse processo, metano (CH₄) e outros gases são produzidos em quantidade suficiente para produzir (3,6 a 10,6) MW de electricidade quando a DBO da vinhaça assume valores entre (17.000 e 50.000) mg/L, porém, tal processo ainda não é viável economicamente (HIGA *et al.*, 2014). A Tabela 2 resume as principais alternativas para o uso da vinhaça oriunda da cana-de-açúcar com as suas principais vantagens e desvantagens.

Além das aplicações listadas, a utilização da tecnologia de Células a Combustível Microbianas (CCMs) apresenta-se como promissora para o biotratamento deste efluente. Esta tecnologia promove simultaneamente o biotratamento de resíduos e a produção de energia elétrica, sendo ambientalmente sustentável (HIDALGO *et al.*, 2014). Diversos substratos, tais como glicose, sacarose e xilose; e, até mesmo, substratos complexos, tais como a palha de milho hidrolisada, águas residuais domésticas, efluentes de processamento de alimentos, de papel reciclado e matéria orgânica do sedimento aquático, têm sido utilizados em CCMs para a geração de energia elétrica e tratamento de resíduos (ZHANG *et al.*, 2011; PANT *et al.*, 2010; RACHINSKI *et al.*, 2010).

| Processo/uso final | Vantagens | Desvantagens |
|------------------------|---|--|
| Fertirrigação | Baixo custo Fácil de ser implementada | Elevado valor de transporte Falta de estudos sobre as consequências a longo prazo |
| Rações animais | Baixo custo Fácil de ser implementada | Poucos estudos |
| Biodigestão/Biogás | Produção de energia Redução da DBO Efluente utilizado como fertilizante | Custo elevado Tecnologia de ponta |
| Combustão em caldeiras | Eliminação completa Produção de energia Recuperação de potássio em cinzas | Poucos estudos Teste em pequena escala |
| Produção de proteínas | Alimentos | Custo elevado |

Tabela 2. Aplicação de vinhaça: vantagens e desvantagens. Adaptado de CHRISTOFOLETTI *et al.* (2013).

As CCMs utilizam bactérias eletroquimicamente ativas que oxidam espécies orgânicas e inorgânicas convertendo-a em electricidade (JADHAV *et al.*, 2014; PEIXOTO *et al.*, 2013). Tipicamente, as CCMs compreendem dois compartimentos, um anódico e outro catódico, separados por uma membrana condutora de íons (CAMPO *et al.*, 2013; SHARMA *et al.*, 2010). O compartimento anódico de uma CCM é um reator de biofilme. O material utilizado no ânodo deve compartilhar propriedades comuns com outros reatores de biofilme, ou seja, alta área superficial específica, alta porosidade e com propensão limitada à incrustação ou à corrosão. Além disto, o ânodo deve ser altamente condutor, o que sugere ser constituído de prata, cobre, ouro, alumínio ou mesmo carbono; este último, por razões econômicas e de biocompatibilidade, é geralmente o selecionado, quer na forma de papel, tecido ou grânulos. O material

selecionado para o cátodo é normalmente o mesmo utilizado no ânodo, sendo frequentemente revestido com um catalisador para aumentar a velocidade de redução de oxigênio (LEFEBVRE *et al.*, 2011).

Mediante ao atual cenário de crise energética e da necessidade de utilização de resíduos, este estudo objetivou avaliar a potencial utilização da tecnologia CCM no tratamento de vinhaça reduzindo os impactos deste problema nacional.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O protótipo de uma CCM de câmara dupla foi desenvolvido conforme apresentado na Figura 2. Os eletrodos foram constituídos de tecido de carbono (2,5 cm x 2,5 cm) aderidos a uma tela metálica. Neste sistema, a distância entre os eletrodos foi considerada nula, uma vez que, apenas uma membrana de permuta iônica (Nafion 117, DuPont Co.) foi utilizada para separar as câmaras anódica e catódica. Em acréscimo, os eletrodos foram conectados a uma resistência fixa de 1000 Ω (PEIXOTO *et al.*, 2013). Ambos os compartimentos possuíam o volume de trabalho de 50 mL. O compartimento anódico foi preenchido com vinhaça sintética (melaço) e inoculado com cultura pura de bactérias redutoras de sulfato (BRS-IPT 032) em volumes de 2, 4 e 6 mL. O compartimento catódico foi preenchido com meio sintético (tampão fosfato). Os experimentos eletroquímicos foram realizados utilizando potenciostato/galvanostato PGSTAT 30 a cada 24 horas. Os açúcares foram medidos por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) com uma coluna Aminex HPX-87C (300 x 7,8 mm, Bio-Rad Laboratories) e um sistema composto por: um detector diferencial de índice de refração e um processador de dados com registro (Waters, EUA). A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada a cada 7 dias usando o kit HEXIS. O experimento foi realizado por um período de 28 dias em triplicata. Na CCM utilizada como controle não foi inserida BRS ao ânodo).

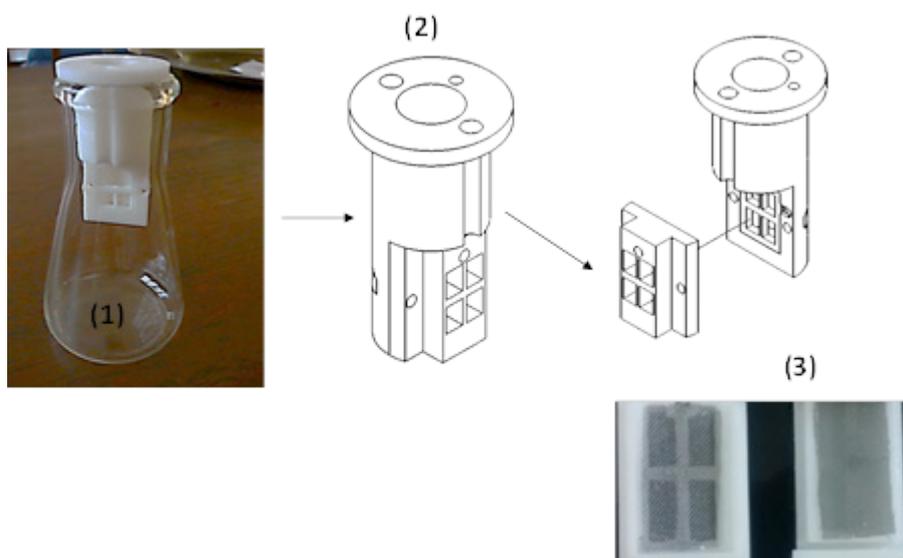


Figura 1. Representação esquemática da Célula a Combustível Microbiana: (1) câmara anódica; (2) câmara catódica; (3) eletrodos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, a relação entre a concentração de inóculo e a atividade da MFC observada foi direta e linear (Fig. 2A). Os maiores valores de densidade de potência (Fig. 2B) foram detectados na CCM contendo a maior concentração de inóculo, correspondente a $330 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$. Nenhuma atividade foi detectada no controle durante o período do estudo.

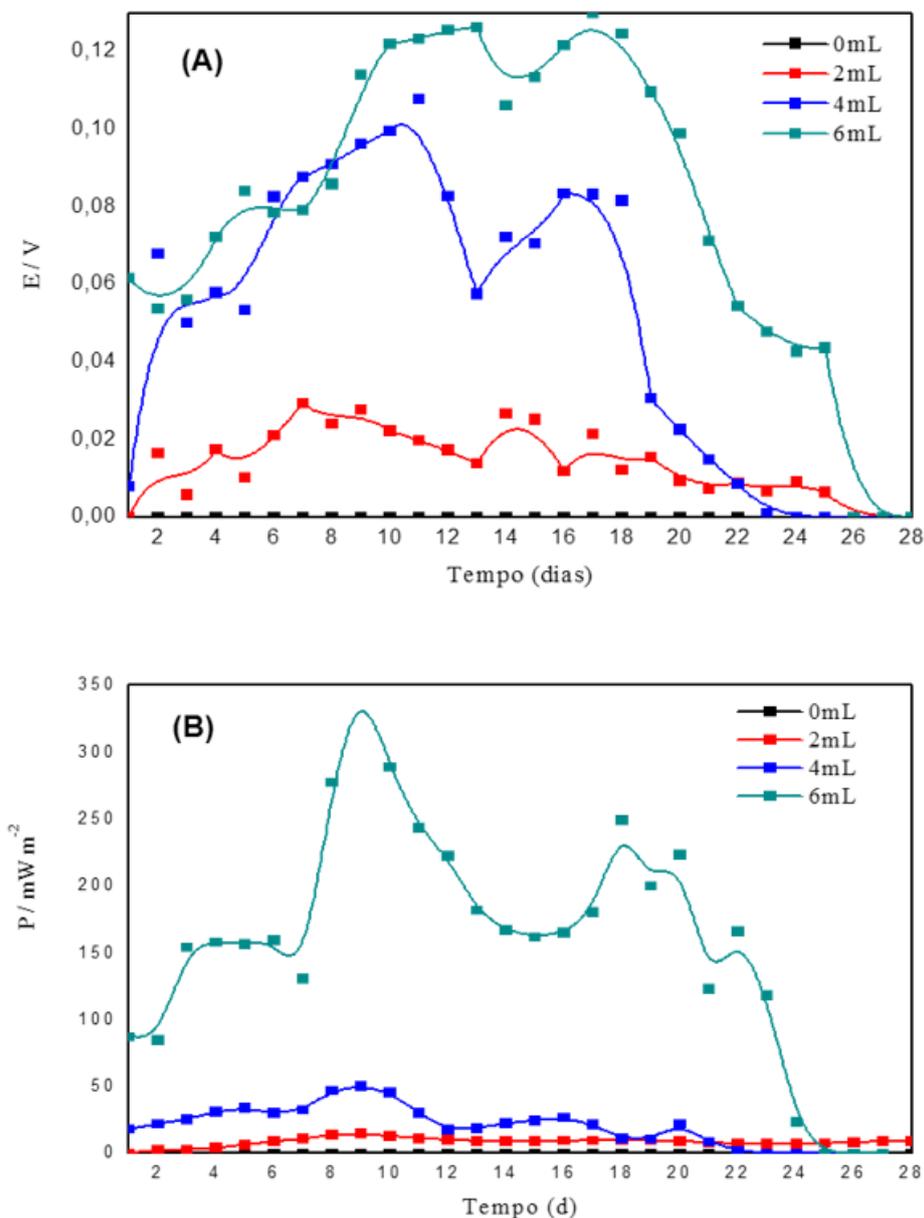


Figura 2. (A) Variação de circuito aberto; (B) Densidade de potência ($\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$).

O perfil de consumo dos açúcares que compunham a vinhaça sintética durante o processo foi também analisado (Fig. 3A, B, C). O tempo de consumo dos monossacarídeos ocorreu entre o sétimo e o décimo quarto dias, enquanto que, o consumo de sacarose ocorreu entre o oitavo e o vigésimo primeiro dia.

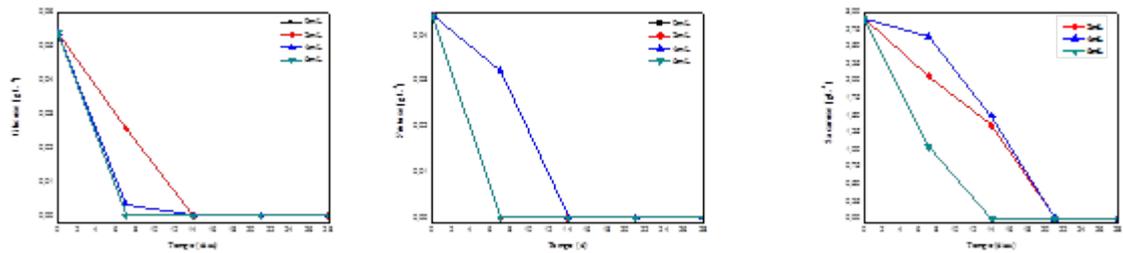


Figura 3. Consumo de açúcares: (A) glicose; (B) frutose; (C) sacarose.

Ao avaliar o desempenho da CCM para a redução da DQO (Fig. 4), foi detectado um valor próximo a 58,8%, o que pode ser justificado pelo reduzido tempo de condução do experimento executado em um único ciclo.

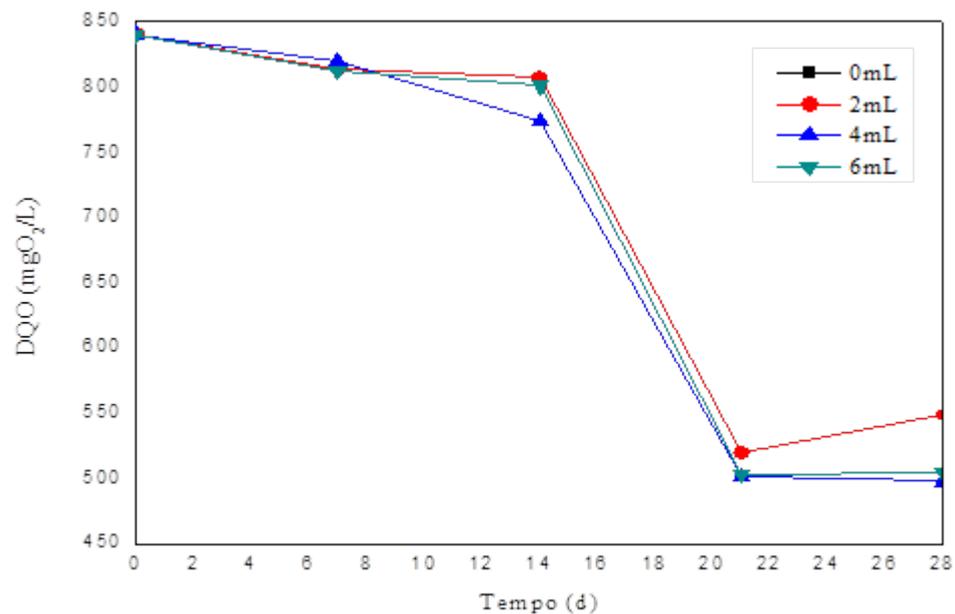


Figura 4. Redução da demanda química de oxigênio (DQO) de vinhaça na CCM ao longo de 28 dias de operação.

4 | CONCLUSÃO

Por meio da análise de nossos resultados preliminares, foi possível identificar a potencial aplicação da tecnologia CCM para o tratamento da vinhaça. No entanto, mais estudos sobre o melhor tipo de inóculo a ser utilizado no ânodo, de soluções com diferentes composições a serem utilizadas no cátodo, assim como, configurações e formas operação da CCM são necessários.

Para além dos fatores supracitados, são infimos os relatos em literatura que destacam esta técnica como forma de tratamento da vinhaça, tornando deste modo, um desafio para grupos emergentes trabalhos com tal abordagem.

REFERÊNCIAS

- CAMPO A.G.; CAÑIZARES, P.; RODRIGO, M.A.; FERNÁNDEZ, F.J.; LOBATO, J. Microbial fuel cell with an algae-assisted cathode: A preliminary assessment. *Journal of Power Sources*, v.242, p.638-645, 2013.
- CAMPOS, C.R.; MESQUITA, V.A.; SILVA, C.F.; SCHWAN, R.F. Efficiency of physicochemical and biological treatments of vinasse and their influence on indigenous microbiota for disposal into the environment. *Waste Management*, v.34, p.2036-2046, 2014.
- CHRISTOFOLETTI, C.A.; ESCHER, J.P.; CORREIA, J.E.; MARINHO, J.F.U.; FONTANETTI, C.S. Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Management*, v.33, p.2752-2761, 2013.
- HARDE, S.M.; BANKAR, S.B.; OJAMO, H.; GRANSTRÖM, T.; SINGHAL, R.S.; SURVASE, S.A. Continuous lignocellulosic ethanol production using *Coleus forskohlii* root hydrolysate. *Fuel*, v.126, p.77-84, 2014.
- HASSAN, S.H.A.; GAD EL-RAB S.M.F.; RAHIMNEJAD, M.; GHASEMI, M.; JOO, J-H.; SIK-OK, Y.; KIM, I.S.; OH, S-E. Electricity generation from rice straw using a microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, v.39, p.9490-9496, 2014.
- HIDALGO, D.; TOMMASI, T.; CAUDA, V.; PORRO, S.; CHIODONI, A.; BEJTKA, K.; RUGGERI, B. Streamlining of commercial Berl saddles: A new material to improve the performance of microbial fuel cells. *Energy*, v.71, p.615-623, 2014.
- HIGA, M.; CALDERANI, D.A.; LOPES, K.S. Electric power generation from anaerobic digestion of the sugar cane vinasse - Case study. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v.6, p.83-91, 2014.
- JADHAV, D.A.; GHADGE, A.N.; GHANGREKAR, M.M. Simultaneous organic matter removal and disinfection of wastewater with enhanced power generation in microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, v.163, p.328-334, 2014.
- LAIME, E.M.O.; FERNANDES, P.D.; OLIVEIRA, D.C.S.; FREIRE, E.A. Technological possibilities for the disposal of vinasse: a review. *Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas*, v.5, p.16-29, 2011.
- LAZARO, C.Z.; PERNA, V.; ETCHEBEHERE, C.; VARESCHE, M.B.A. Sugarcane vinasse as Martínez substrate for fermentative hydrogen production: The effects of temperature and substrate concentration. *International Journal of Hydrogen Energy*, v.39, p.6407-6418, 2014.
- LEFEBVRE, O.; UZABIAGA, A.; CHANG, I.S.; KIM, B-H.; NG, H.Y. Microbial fuel cells for energy self-sufficient domestic wastewater treatment-A review and discussion from energetic consideration. *Applied and Microbiology and Biotechnology*, v.89, p.259-270, 2011.
- LIMA, A.M.; SOUZA, R.R. Use of Sugar Cane Vinasse as Substrate for Biosurfactant Production Using *Bacillus subtilis* PC. *Chemical Engineering Transaction*, v.37, p.673-678, 2013.
- MARTÍNEZ, S.H.; EIJCK, J.; CUNHA, M.P.; GUILHOTO, J.J.M.; WALTER, A.; FAIJ, A. Analysis of socio-economic impacts of sustainable sugarcane-ethanol production by means of inter-regional Input-Output analysis: Demonstrated for Northeast Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.28, p.290-316, 2013.
- MORAES, B.S.; JUNQUEIRA, T.L.; PAVANELLO, L.G.; CAVALETT, O.; MANTELATTO P.E.; BONOMI, A.; ZAIAT, M. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense? *Applied Energy*, v. 113, p.825-835, 2014.

MORIMOTO, L.H.; RIZK, M.C.; Remoção de DQO da vinhaça utilizando processo oxidativo avançado e radiação UV solar. *IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*. Centro de Eventos, Porto Alegre, 2014.

NAVA, J.L.; BUTRÓN, E.; GONZÁLEZ, I. Importance of hydrodynamic conditions on the electrochemical incineration of cresols, indigo textile dye and vinasses present in industrial wastewater using a filter-press-type FM01-LC reactor with BDD electrodes. *Journal of Environmental Management*, v.18, p.221-230, 2008.

OLIVEIRA, J.G.; GARCIA-CRUZ, C.H. Properties of a biosurfactant produced by *Bacillus pumilus* using vinasse and waste frying oil as alternative carbon sources. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.56, p.155-160, 2013.

OLIVEIRA, B.G.; CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J. Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. *Geoderma*, v.200-201, p.77-84, 2013.

PANT, D.; BOGAERT, G.V.; DIELS, L.; VANBROEKHOVEN K. A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology* v.101, p1533-1543, 2010.

PEIXOTO, L.; RODRIGUES, A.L.; MARTINS, G.; NICOLAU, A.; BRITO, A.G.; SILVA, M.M.; PARPOT, P.; NOGUEIRA, R. A flat microbial fuel cell for decentralized wastewater valorization: process performance and optimization potential. *Environmental Technology*, v.34, p.1947-1956, 2013.

PEIXOTO, L.J.S. Microbial Fuel Cells for autonomous systems: kinetics and technological advances in wastewater treatment and sensor applications. 2012. 166 f. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2012.

POTENTINI, M.F.; RODRÍGUEZ-MALAVERA, J. Vinasse biodegradation by *Phanerochaete chrysosporium*. *Journal of Environmental Biology*, v.27, p.661-665, 2006.

RACHINSKI, S.; CARUBELLI, A.; MANGONI, A.P.; MANGRICH, A.S. Pilhas de combustíveis microbianas utilizadas na produção de eletricidade a partir de rejeitos orgânicos: uma perspectiva de futuro. *Química Nova*, v.33, p.1773-1778, 2010.

SÁ, L.R.V.; CAMMAROTA, M.C.; FERREIRA-LEITÃO, V.S. Produção de hidrogênio via fermentação anaeróbia - Aspectos gerais e possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais brasileiros. *Química Nova*, v. 37, p. 857-867, 2014.

SANTOS, S.C.; ROSA, P.R.F.; SAKAMOTO, I.K.; VARESCHE, M.B.A.; SILVA, E.L. Hydrogen production from diluted and raw sugarcane vinasse under thermophilic anaerobic conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 39, p.9599-9610, 2014.

SHARMA, V.; KUNDU, P.P. Biocatalysts in microbial fuel cells. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 47, p.179-188, 2010.

SYDNEY, E.B.; LARROCHE, C.; NOVAK, A.C.; NOUAILLE, R.; SARMA, S.J.; BRAR, S.K.; LETTI, L.A.J.; SOCCOL, V.T.; SOCCOL, C.R. Economic process to produce biohydrogen and volatile fatty acids by a mixed culture using vinasse from sugarcane ethanol industry as nutrient source. *Bioresource Technology*, v. 159, p. 380-386, 2014.

YANG, F.; HANNA, M.A.; SUN, R. Value-added uses for crude glycerol—A byproduct of biodiesel production. *Biotechnology Biofuels*, v. 5, p.1-13, 2012.

ZHANG, Y.; MIN, B.; HUANG, L.; ANGELIDAKI, I. Electricity generation and microbial community response to substrate changes in microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, v. 102, p.1166-1173, 2011.

SOBRE O ORGANIZADOR

ALBERDAN SILVA SANTOS é Professor associado das faculdades de Química e Biotecnologia da UFPA; É Engenheiro Químico graduado pela UFPA; É Mestre em Química e Biotecnologia pelo Instituto de Química e Biotecnologia da UFAL; É Doutor em Bioquímica (Biotransformações com ênfase em oxidações microbiológicas) pelo Instituto de Química da UFRJ. Realizou Estágio pós-doutoral no Departamento de Biotecnologia do Instituto de Agroquímica e Tecnologia de Alimentos - IATA de Valencia, na Espanha. Atua no ensino de graduação e Pós-graduação no qual orienta Mestrandos e Doutorandos. Coordena projetos de cunho acadêmico-científico nos Laboratórios de Investigação Sistemática em Biotecnologia e Biodiversidade Molecular da UFPA, em áreas estratégicas como: Biotransformações; produção de enzimas; desenvolvimento de processos biotecnológicos no aproveitamento de resíduos agroindustriais para a produção de biomoléculas de interesse médico, cosméticas e farmacêutica; produção de biomoléculas a partir de cultivo de micro-organismos e cultivo de células vegetais. Aplica técnicas avançadas de Metabolômica e Lipidômica (CG/EM, LC/MS) na investigação metabólica de plantas e micro-organismos. Contribuiu na criação do curso de graduação e do programa de pós-graduação em Biotecnologia da UFPA. Foi o 1º Diretor da Faculdade de Biotecnologia da UFPA no período de 2009-2011. Atuou como vice-coordenador protempore do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da UFPA. Possui diversas publicações nas áreas da Química e Biotecnologia, assim como patentes. Recebeu a primeira Carta Patente na UFPA em dezembro de 2013. É pioneiro na otimização de processo de produção de metabólitos secundários e enzimas em cultura de células vegetais e de micro-organismos na Região Norte do Brasil.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-47-5

