



Impactos das
Tecnologias na
Engenharia Química 3

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

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
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
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 Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
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
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
134	Impactos das tecnologias na engenharia química 3 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-231-9 DOI 10.22533/at.ed.319190104 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

2019

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

O acentuado crescimento da população mundial, bem como a ânsia de melhor nível de vida, têm criado elevadas pressões sobre os recursos naturais, matérias-primas, o solo, a água, o ar e os ecossistemas em geral. A intensificação das atividades humanas nas últimas décadas tem gerado um acelerado aumento na produção de resíduos sólidos urbanos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas.

A indústria química tem contribuído para a geração de efluentes líquidos e gasosos contendo substâncias tóxicas, bem como de resíduos sólidos perigosos que, lançados diretamente ou indiretamente sem qualquer tratamento no meio ambiente, podem provocar grandes desequilíbrios ecológicos. O uso intensivo de produtos químicos, se por um lado trouxe elevados benefícios aos padrões de vida, por outro lado, os níveis de poluição que estão associados à sua produção são por vezes muito elevados.

As novas tecnologias na Engenharia Química auxiliam nos processos de recuperação e reutilização de resíduos, assim como conversão em novas fontes de energia. Além das diversas formas de obtenção de energia renovável já existente, cada vez mais vem surgindo uma maior procura por outras formas de energia não poluentes. Essas razões são as mais motivacionais: a ideia de uma possível escassez de recursos fósseis, a tentativa de reduzir as emissões de gases nocivos para a atmosfera e que causam o efeito estufa, e, além disso, almeja se alcançar certa independência em relação petróleo.

As questões energéticas são extremamente importantes para a sustentabilidade das sociedades modernas, uma vez que a sobrevivência humana depende do fornecimento contínuo de energia. Esse cenário faz com que seja preciso realizar buscas por alternativas energéticas que sustentem a necessidade humana e que não prejudiquem o ambiente.

Para empresas, além da questão ambiental, um excessivo gasto de energia (advinda de recursos não renováveis) é sinônimo de prejuízo. Eis então uma grande oportunidade para engenheiros químicos intervirem na melhoria da eficiência energética dos processos, ajudar a desenvolver tecnologias limpas e promover a utilização de energias alternativas nas indústrias. Com isso, ocorrerá uma redução de custos e será uma contribuição válida ao meio ambiente o que hoje em dia vem gerando maior competitividade para as empresas. O uso de resíduos agrícolas como fonte de bioenergia tem despertado crescente interesse no setor de agroenergia.

Neste terceiro volume, apresentamos trabalhos com impactos tecnológicos relacionados à indústria, focando na reutilização de produtos e conversão em energia renovável, bem como avanço nos processos para redução da poluição atmosférica e em efluentes. Com isso, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos da Engenharia Química voltada para a área ambiental trazendo benefícios para toda a sociedade.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO METAIS PESADOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira	
Pedro Henrique Trindade Dias Cabral	
Roberta Resende Maciel da Silva	
Carla Torres Dias	
José Renato Guimarães	
Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901041	
CAPÍTULO 2	8
RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO COMO MATÉRIA PRIMA DO ETANOL 2G: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS	
Caroline Müller	
Letícia Mara Milani	
Anderson Giehl	
Évelyn Taize Barrilli	
Letícia Deoti	
Ana Carolina Lucaroni	
Viviani Tadioto	
Helen Treichel	
Sérgio Luiz Alves Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3191901042	
CAPÍTULO 3	23
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM BIORREATOR EM BATELADA ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS POR ALGORITMO GENÉTICO	
Júlia do Nascimento Pereira Nogueira	
Ana Luiza Bandeira de Mello de Albuquerque Campos	
Brunno Ferreira dos Santos	
Filipe Alves Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.3191901043	
CAPÍTULO 4	29
VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DO FUNGO ENTOMOPATOGÊNICO <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> POR PROCESSOS DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	
Eloane Daize Gomes Dallastra	
Enylson Xavier Ramalho	
Lina María Grajales Agudelo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901044	
CAPÍTULO 5	40
DESENVOLVIMENTO DE UM COSMÉTICO A PARTIR DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL	
Ana Paula Olivo	
Kátya Regina de Freitas Zara	
Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901045	

CAPÍTULO 6	51
INFLUÊNCIA DA GORDURA RESIDUAL DE UNIDADES INDUSTRIAIS DE AVES NA FABRICAÇÃO DE BASE PARA CREME HIDRATANTE	
Jacqueline Hahn Bernardi Cristina Helena Bruno Andreia Cristina Furtado Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901046	
CAPÍTULO 7	58
ANÁLISE DA COMPRESSÃO AXIAL E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CONCRETO PRODUZIDO COM CAROÇO RESIDUAL DE AZEITONA	
Manoela Silva Lima Mariotini Carotta Alan Carlos de Almeida Ana Paula de Carvalho Faria Luiz Felipe Lima Panizzi Jonas dos Santos Pacheco Cristiane de Souza Siqueira Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901047	
CAPÍTULO 8	63
INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO NA FIBRA DE COCO PARA UTILIZAÇÃO EM COMPÓSITO POLIMÉRICO	
Wenderson Gomes dos Santos Gilmar Alves Borges Lauro Henrique Hamoy Guerreiro Dilson Nazareno Pereira Cardoso Douglas Alberto Rocha de Castro Emerson Cardoso Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.3191901048	
CAPÍTULO 9	68
INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS ORGANOSOLV E HIDROTÉRMICO APLICADOS AO BAGAÇO DE CANA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS COM PEAD	
Bruno Chaboli Gambarato Tatiana Raposo de Paiva Cury Sérgio Teodoro de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901049	
CAPÍTULO 10	74
PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA	
Bruno Chaboli Gambarato Gilson Carlos Rodrigues Paulino Amanda Santos Leopoldino Lucas Bruno de Paiva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010410	

CAPÍTULO 11 79

BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA INTEGRADO DE BIO-COMBUSTÃO

Ihana Aguiar Severo
Yuri Naidon Favero
Mariany Costa Deprá
Rodrigo Stefanello Bizello Barrios
Rosangela Rodrigues Dias
Mariane Bittencourt Fagundes
Roger Wager
Leila Queiroz Zepka
Eduardo Jacob-Lopes

DOI 10.22533/at.ed.31919010411

CAPÍTULO 12 85

CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA PARA BIOENERGIA

Maria Lúcia Ferreira Simeone
Patrícia Abraão de Oliveira
Kirley Marques Canuto
Rafael Augusto da Costa Parrella
Cynthia Maria Borges Damasceno
Robert Eugene Schaffert

DOI 10.22533/at.ed.31919010412

CAPÍTULO 13 90

DESENVOLVIMENTO DE BIODIGESTOR E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO

Flávia Souza Pio
Letícia Tamara Santana
Lorena Kelly Corrêia
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010413

CAPÍTULO 14 97

RESOLUÇÃO DE PROBLEMA DE VALOR NO CONTORNO ASSOCIADO À MODELAGEM DE BIORREATORES TUBULARES DE FLUXO DISPERSO E CINÉTICA DE MICHAELIS-MENTEN LINEARIZADA

Samuel Conceição Oliveira
Felipe Coelho Morilla

DOI 10.22533/at.ed.31919010414

CAPÍTULO 15 104

SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CICLOS A VAPOR PARA COGERAÇÃO DE BIOENERGIA NO SETOR SUCROENERGÉTICO

Welban Ricardo Ursino
Samuel Conceição Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.31919010415

CAPÍTULO 16 114

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS DE SOJA COM DIFERENTES ORIGENS NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL VIA ROTA METÁLICA

Melissa Rafaela Wolf
Isabela Silveira Tobias Perassi
Nadine de Assis
Fulvy Antonella Venturi Pereira

DOI 10.22533/at.ed.31919010416

CAPÍTULO 17 123

PRODUÇÃO DE BIODIESEL PELA TRANSESTERIFICAÇÃO SUPERCRÍTICA ETANÓLICA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Erich Potrich
Bruno Elias Suzart Chamas
Antonio José Gonçalves da Cruz
Roberto de Campos Giordano

DOI 10.22533/at.ed.31919010417

CAPÍTULO 18 129

PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO CÉLULAS DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE IMOBILIZADAS EM ESFERAS DE ALGINATO DE CÁLCIO REVESTIDAS COM QUITOSANA

Lucidio Cristovão Fardelone
Taciani do Santos Bella de Jesus
Leonardo Akira Kamimura Oura
Gustavo Paim Valença
José Roberto Nunhez
José Augusto Rosário Rodrigues
Paulo José Samenho Moran

DOI 10.22533/at.ed.31919010418

CAPÍTULO 19 137

AUTOMAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SENSORES E ATUADORES APLICADOS NA PLANTA DE TRATAMENTO DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Thalys de Freitas Fernandes
Dinilton Pessoa de Albuquerque Neto
Gerônimo Barbosa Alexandre
José Nilton Silva

DOI 10.22533/at.ed.31919010419

CAPÍTULO 20 157

ESTUDO CINÉTICO DA REAÇÃO DE FENTON COM PÓ DE MINÉRIO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE BIODIESEL E AVALIAÇÃO DA LIXIVIABILIDADE DO RESÍDUO

Jamyla Soares Anício Oliveira Félix
Aline Givisiez de Souza
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010420

CAPÍTULO 21 173

APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO CALCINADO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DIESEL

Leonardo Henrique de Oliveira
Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza
Antônio Augusto Ulson de Souza

DOI 10.22533/at.ed.31919010421

CAPÍTULO 22 178

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA DE POLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL TIPO PEM

Roque Machado de Senna
Thais Santos
Henrique Senna
Marcelo Linardi

DOI 10.22533/at.ed.31919010422

CAPÍTULO 23 187

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA INDIVIDUAL DE COLETA E GLOBAL NA SEPARAÇÃO DE PARTICULADOS DE MAGNESITA EM CICLONE LAPPLE

Polyana Gomes de Aguiar
Daiane Ribeiro Dias
Annanda Alkmim Alves
Mariana Oliveira Marques
João Carlos Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.31919010423

CAPÍTULO 24 194

ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH) NO AR ATMOSFÉRICO USANDO SISTEMA PASSIVO DE AMOSTRAGEM PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Aldo Muro Júnior
Nicola Pittet Muro
Nelson Roberto Antoniosi Filho
Maria Isabel Ribeiro Alves

DOI 10.22533/at.ed.31919010424

CAPÍTULO 25 213

CAPTURA DE CO₂ UTILIZANDO O PROCESSO CALCIUM-LOOPING

Juliana Alves da Silva
Ricardo José Chimentão
João Batista Oliveira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.31919010425

CAPÍTULO 26 224

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO DE CAPTURA DE CO₂ UTILIZANDO A TECNOLOGIA HIGEE NA INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS

Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira
José Renato Guimarães
Brenda Sedlmaier Costa Coelho
Camila Ceravolo de Carvalho
Francine Silveira Vieira
Luiza Moreira Santos
Jorge David Alguiar Bellido

DOI 10.22533/at.ed.31919010426

CAPÍTULO 27 232

Zn-ZIF EM TECIDO APLICADO NO PROCESSO DE CAPTURA DE CH₄

Guilherme Andreoli Gil
Guilherme Otávio Lima
Lucas Mendes Pedro
Bianca Bastos Caruzi
Fabrício Maestá Bezerra
Murilo Pereira Moisés

DOI 10.22533/at.ed.31919010427

CAPÍTULO 28 239

INIBIDOR DE CORROÇÃO OBTIDO POR LIXIVIAÇÃO DE CIGARRO APÓS SEU CONSUMO

Lauren Marcilene Maciel Machado
Luciana Rodrigues Machado

DOI 10.22533/at.ed.31919010428

CAPÍTULO 29 249

ENRIQUECIMENTO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO AUTÓCTONES E SUA ADESÃO EM ESPUMA DE POLIURETANO EM REATOR ANAERÓBIO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

Alessandra Giordani
Renata Piacentini Rodriguez
Leonardo Henrique Soares Damasceno
Gunther Brucha

DOI 10.22533/at.ed.31919010429

CAPÍTULO 30 255

BIODEGRADAÇÃO DO SURFACTANTE LINEAR ALQUILBENZENO SULFONATO DE SÓDIO EM DOIS DETERGENTES LIQUIDOS COMERCIAIS UTILIZANDO FUNGO FILAMENTOSO *Penicillium crustosum*

Sulamita Aparecida Ambrosia dos santos
Luiza Maria Amaral Frossard de Paula
Mayara Costa Franco
Karen Sartori Jeunon Gontijo
Ana Maria de Oliveira
Enio Nazaré de Oliveira Junior

DOI 10.22533/at.ed.31919010430

CAPÍTULO 31 272

DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO LAFeO₃ COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON SOLAR

Patrícia Grassi
Fernanda Caroline Drumm
Siara Silvestri
Sérgio Luiz Jahn
Edson Luiz Foletto

DOI 10.22533/at.ed.31919010431

CAPÍTULO 32	281
DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DE RODAMINA B COM UM CATALISADOR À BASE DA BIOMASSA PORONGO: EFEITO DA DOPAGEM COM FERRO	
William Leonardo da Silva	
Mariéle Schaedler Nascimento	
Matheus Severo Schalenberger	
Joana Bratz Lourenço	
DOI 10.22533/at.ed.31919010432	
CAPÍTULO 33	287
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA, UTILIZANDO TiO_2 E ZNO, DO ANTIBIÓTICO METRONIDAZOL (MTZ) A PARTIR DA ESPECTROFOTOMETRIA	
Luiza Barbosa Petersen Mendes	
Luciane Pimentel Costa Monteiro	
Leandro Vahia Pontual	
DOI 10.22533/at.ed.31919010433	
CAPÍTULO 34	303
CARACTERIZAÇÃO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PÓS CONSUMO VISANDO A RECICLAGEM NA INDÚSTRIA TÊXTIL	
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro	
Priscilla Sayuri Nakazawa	
Ana Maria Ferrari	
Ana Claudia Ueda	
DOI 10.22533/at.ed.31919010434	
CAPÍTULO 35	315
APPLICATION OF THE MARKOV CHAIN MONTE CARLO METHOD TO ESTIMATION OF PARAMETERS IN A MODEL OF ADSORPTION-ENHANCED REACTION PROCESS FOR MERCURY REMOVAL FROM NATURAL GAS	
Josiel Lobato Ferreira	
Diego Cardoso Estumano	
Mariana de Mattos Vieira Mello Souza	
Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.31919010435	
CAPÍTULO 36	322
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO SUPOSTADOS EM CARVÃO ATIVADO DERIVADO DA CASCA DO COCO VERDE	
Natália Matos Silva Pereira	
Marta Cecília da Esperança Santos	
Sirlene Barbosa Lima	
Maria Luiza Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010436	
SOBRE A ORGANIZADORA	334

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA DE POLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL TIPO PEM

Roque Machado de Senna

Universidade Federal de São Paulo,
Departamento de Engenharia Química, Diadema -
São Paulo

Thais Santos

Universidade Federal de São Paulo,
Departamento de Engenharia Química, Diadema -
São Paulo

Henrique Senna

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Juiz de Fora – Minas Gerais

Marcelo Linardi

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares –
IPEN/USP
São Paulo - São Paulo

RESUMO: A geração de energia elétrica se apresenta como um grande desafio para a humanidade, devido ao seu enorme potencial poluidor, notadamente quando advinda de combustíveis fósseis. No mundo, em 2013, como mostrado no BEN 2016, apenas 13,5% da matriz energética compunha-se de combustíveis renováveis, sendo no Brasil 41,2%. Baseado nessas estatísticas pode-se afirmar que a produção de energia no Brasil ainda é predominante de combustíveis fósseis. Uma das alternativas que merece destaque especial é a tecnologia de células a combustível (CAC), pois são dispositivos sustentáveis e

não poluentes que oxidam eletroquimicamente o combustível, em geral hidrogênio, gerando energia elétrica e calor. Pretende-se com esse trabalho, mostrar os procedimentos para ensaiar uma CAC unitária, de eletrólito sólido ETEK_HP, composto por uma membrana de náfion (PTFE), de espessura de 115 μm , sendo o eletrodo constituído por catalisador de platina, com carga de 0,4mg/cm² no ânodo, e 0,6mg/cm² no cátodo, suportados em carbono. O ponto ótimo de operação da CAC pela eficiência do MEA foi em 433 mV@1120 mA, de característica linear, e não está sujeito, significativamente, aos fenômenos de ativação e transferência de massa. Nota-se que entre 365 mV e 558 mV, a densidade foi acima de 0,45 W/cm², e conseqüentemente a potência da CAC acima de 11 W. O consumo de oxigênio e hidrogênio foi mais eficiente acima de 800 mV.

PALAVRAS-CHAVE: Curva de Polarização. Ensaio de Células a Combustível tipo PEM. CAC unitária. Geração de Energia Eletroquímica.

ABSTRACT: The electric energy generation presents itself as a great mankind challenge due to its enormous potential pollutant, especially when coming from fossil fuels. In the world, in 2013, as shown in BEN 2016, only 13.5% of the energy matrix was renewable fuels made up being in Brazil 41.2%. Based on these statistics it can be affirmed that the energy production in

Brazil is still fossil fuels predominant. One of the alternatives that deserves special mention is the fuel cells (CAC) technology, since they are sustainable and non-polluting devices that oxidize electrochemically the fuel, usually hydrogen, generating electric energy and heat. This work is aim to show the procedures to test a unitary CAC of solid electrolyte ETEK_HP, a Náfion (PTFE) membrane with a 115 μm thickness composed and the electrode being a platinum catalyst with a 0,4mg / cm^2 load at the anode and 0.6mg / cm^2 at the cathode, supported on carbon. The optimum CAC operating point by the MEA efficiency was 433 mV @ 1120 mA, with linear characteristic and it is not significantly subject to the activation and mass transfer phenomena. It is noted that between 365 mV and 558 mV the density was above 0.45 W / cm^2 and consequently the CAC power above 11 W. The oxygen and hydrogen consumption were more efficient above 800 mV.

KEYWORDS: Polarization Curve. PEM Fuel Cell Tests. CAC unit. Electrochemical Energy Generation.

1 | INTRODUÇÃO

Apesar de enorme relevância social e econômica, as atividades relacionadas à coleta, distribuição e uso de energia causam enormes impactos ao meio ambiente, liberando substâncias para a atmosfera, fontes de água e solo, comprometendo a saúde e a sobrevivência de todo o ecossistema terrestre. As várias etapas dos sistemas energéticos, como as atividades extrativistas, sua conversão, distribuição e uso, estão estreitamente relacionadas entre si, e com o desenvolvimento de toda a humanidade. Há uma necessidade crescente de encontrar soluções para os efeitos negativos da cadeia de produção, distribuição e processos de uso de energia, a fim de minimizar as perdas sociais, ambientais e econômicas. O crescimento populacional, em especial nos países em desenvolvimento, e o crescente consumo de recursos energéticos, por habitante, vêm trazendo preocupações relativas à sustentabilidade das atividades humanas (ALDABÓ, 2004; BONIFÁCIO, 2011; FUKUROZAKI, 2006).

As células a combustível surgiram em 1839, devido aos trabalhos de pesquisa eletroquímica desenvolvidos por William Grove. No entanto, a primeira célula a combustível com aplicação prática, desenvolvida por Francis Bacon, ocorreu na Inglaterra em 1932. O módulo de Célula a combustível objeto dessas pesquisas foi uma unidade de 5 kW_e (quilowatt elétrico), alimentado pelos gases de hidrogênio e oxigênio, suportados em um eletrólito alcalino (COOK, B., 2002).

Objetiva-se mostrar, além dos resultados, os procedimentos para o ensaio de uma unidade de célula a combustível, constituída de um eletrólito sólido de 25cm² de área útil superficial, e potência e tensão nominal de operação de 7W@700mV. As etapas do ensaio são mostradas na forma de uma abordagem sistêmica envolvendo diversos aspectos tecnológicos, de modo contribuir para uma maior divulgação dos procedimentos e métodos de verificação da qualidade dessa tecnologia.

2 | PRINCÍPIO BÁSICO DE FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS PEMFC

A célula a combustível é, em síntese, um transformador de energia eletroquímica, oxida hidrogênio no ânodo, pólo negativo, e reduz oxigênio no cátodo, pólo positivo, por meio de eletrodos de difusão gasosa, como mostrado na figura (1).

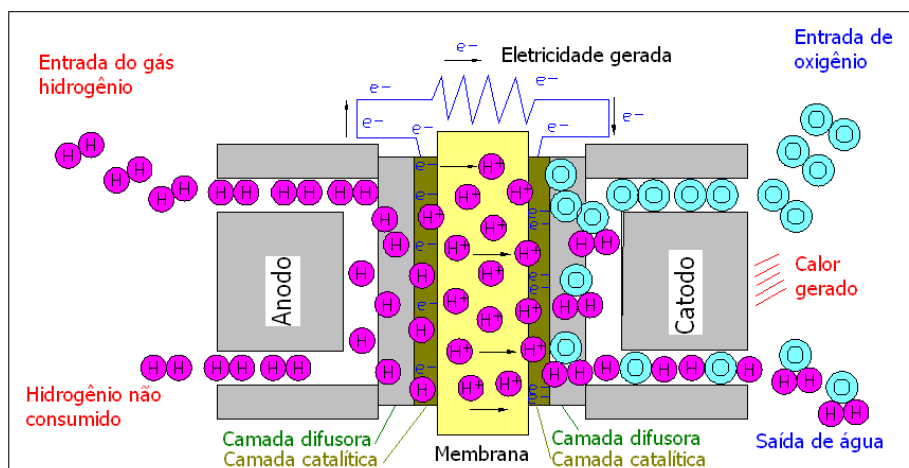


Figura 1: Diagrama simplificado de uma Célula a Combustível Unitária PEM

Fonte: Autor, adaptado de: Linardi, (2010), Capítulo 4.

Numa célula a combustível tipo (PEM), duas reações de meia célula ocorrem, simultaneamente, sendo uma reação de oxidação, perda de elétrons, no ânodo e, uma reação de redução com ganho de elétrons, no cátodo. Essas duas reações perfazem as reações de oxidação-redução na célula a combustível, responsáveis pela formação da água a partir dos elementos gasosos hidrogênio, oxigênio e calor, também a liberação da energia elétrica em forma de fluxo de elétrons, pelo circuito elétrico externo à membrana polimérica trocadora de íons. As equações químicas que ocorrem em uma célula tipo PEM são mostradas em (1), (2), (3):



No ânodo, as moléculas de hidrogênio entram em contato com o catalisador de platina na superfície do eletrodo de difusão gasosa. As moléculas de hidrogênio se quebram aderindo à superfície da platina de forma separada através de ligações fracas, ligações polares, de H-Pt. Ocorrendo a quebra da molécula de hidrogênio a reação ocorre. Cada átomo de hidrogênio lança os seus elétrons através de um circuito, carga, externo à membrana polimérica, que é um isolante elétrico, indo ao encontro do íon oxigênio no cátodo. Por seu lado o íon hidrogênio atravessa a membrana trocadora de prótons associado à água, na forma de H_3O^+ , indo de encontro ao cátodo, deixando o

catalisador de platina livre para promover a quebra de novas moléculas de hidrogênio (CUNHA, E. F.; 2009).

No cátodo as moléculas de oxigênio entram em contato com um catalisador de platina na superfície do eletrodo de difusão gasosa. As moléculas de oxigênio aderem-se, separadamente, à superfície do eletrodo de platina, formando ligações fracas O-Pt, ligações polares, isto cria as condições necessárias para que a reação de redução ocorra. Cada átomo de oxigênio, então, deixa o catalisador de platina, combinando com dois elétrons e dois íons de hidrogênio para formar uma molécula de água. As reações de redução agora se completam. O catalisador de platina no eletrodo de difusão gasosa cátodo está agora livre para enfraquecer as ligações de novas moléculas de oxigênio (LINARDI, 2010).

2.1 Eletrodo de Difusão Gasosa

Como mostrado na figura (1), os eletrodos de difusão gasosa são os elementos que associados a cada face da (PTFE) dão a configuração física ao (MEA). Possuem estrutura dividida em camada catalítica e camada difusora, sendo que a camada catalítica objetiva tornar mais eficiente à atividade dos eletrocatalisadores de platina, que são associados a outros elementos químicos, tais como os metais e óxidos, na forma de ligas, com o objetivo de acelerar as reações, bem como reduzir custos de produção. Por se encontrarem impregnados nas partículas de carbono ativo e, carbono ativo grafitado da sua estrutura porosa possibilita um contato íntimo do gás, do líquido e, da PTFE. A camada difusora é formada por um fino tecido de carbono, termicamente prensada, sobre a camada catalítica (COOK, B., 2002).

2.2 Energia de Formação da Água

Essa reação exotérmica de formação da água a partir dos gases oxigênio e hidrogênio tem uma entalpia, da ordem, de $-285,8$ kJ de energia por mol de água formada. A energia disponível para trabalho se reduz em função da temperatura. Por exemplo: em 25°C , a uma atmosfera de pressão, a energia livre disponível para o trabalho é por volta de $-237,1$ kJ/mol. Esta energia se apresenta na forma de fluxo de elétrons (corrente elétrica) e de calor (FELTRE, R., 2004).

2.3 Membrana Eletrolítica Polimérica Trocadora de Prótons

O material da membrana usado em uma célula tipo PEM é um polímero produzido em formato laminar com espessuras, que variam normalmente, de 50 a $175\mu\text{m}$ (micrometros). A camada catalítica do eletrodo é aplicada em ambos os lados da membrana (PTFE) e a seguir cortada nas dimensões desejadas (CUNHA, E. F.; 2009).

Dos materiais usados o mais comum é o Náfion®, desenvolvido na década de 1970, pela Dupont, o Náfion® consiste de uma cadeia de politetrafluoretileno (PTFE),

comumente conhecido como Teflon, que forma a estrutura base da membrana tipo PEM. Ligados ao final da cadeia estão os grupos de ácidos sulfônicos (HSO_3), sendo que o lado da cadeia química em que se encontra o grupo sulfônico apresenta característica higroscópica e é responsável pela condução dos íons e da água pelo interior da membrana, sendo que o outro lado possui comportamento oposto em relação à água (LINARDI, 2010).

Para a membrana conduzir íons de forma eficiente a estrutura do lado do grupo sulfônico deve absorver quantidades razoáveis de água. Com essa região adequadamente hidratada, o íon hidrogênio está habilitado a mover-se livremente pelo interior da membrana, cumprindo o papel que dele é esperado. Essa membrana é resistente quimicamente e, obteve, e ainda obtém grande sucesso devido à sua relativa longevidade, comparativamente a outras membranas, que ocorreram anteriormente à sua descoberta. O advento da membrana de Nafion® surgiu em decorrência de trabalhos de eletrólise de cloro com soda cáustica (LINARDI, 2010).

2.4 Comportamento Elétrico e Eficiência

Ao fazer a transformação da energia química em energia elétrica, uma célula a combustível com comportamento ideal deveria entregar o potencial de 1,23V, mas, de fato, entrega aproximadamente 1,0V quando submetida à pressão de uma atmosfera, temperatura de 25°C. O valor de 1,23 V não é atingido. Uma das causas é devido ao calor despreendido durante as reações, bem como por sua temperatura de operação por volta dos 80°C. Também contribui para essa queda de potencial outros fatores listados, em (2.4.1), (2.4.2) que se denominou de perdas primárias (WENDT, H.; LINARDI, M.; ARICÓ, E. 2002).

2.4.1 Perdas por Ativação

Perdas por ativação são as devidas às condições iniciais da reação e são influenciadas de forma significativa pela ação do catalisador. Quanto mais eficiente o catalisador menor a energia necessária para processar a reação, e neste papel a platina oferece excelentes resultados, entretanto é elevado o custo incorrido em sua aplicação exclusiva. Atualmente, novas técnicas de se encontram disponíveis, onde a platina é associada a metais e óxidos, o que propiciou significativas reduções de custos e aumento de eficiência (SPINACÉ, E.V., OLIVEIRA NETO, A.; LINARDI, 2004).

Essas questões têm fomentado inúmeras pesquisas de materiais melhores adaptados ao processo catalítico, e que possuam preços competitivos. Um fator importante na limitação na densidade de potência entregue pela ação da célula é a velocidade em que as reações ocorrem no seu interior. A reação no cátodo (redução do oxigênio) é por volta de 100 vezes menor que a reação no Ânodo (Brian Cook, 2002). Dessa constatação pode-se concluir que o gargalo tecnológico está localizado e, é aí que se deve dedicar atenção.

O arraste de combustível pelo interior do eletrólito, e a corrente elétrica interna também são fatores importantes para a elevação da queda no potencial elétrico e perdas de rendimento. Esses fatores ocorrem mesmo ao se considerar a elevada resistência eletrônica do eletrólito. (WENDT, H.; LINARDI, M.; ARICÓ, E. 2002).

2.4.2 Perdas por concentração ou transporte de massas

São as resultantes da redução da concentração de gás hidrogênio e oxigênio nos eletrodos. Isto pode ser observado na situação que segue: a lógica de funcionamento é que após a reação novos gases devem chegar até os eletrodos e, conseqüentemente à camada catalisadora, para tornar o processo contínuo. No cátodo, com o iniciar do processo, começa a formação de água, que se acelera para altas densidades de corrente, provocando restrições ao acesso do oxigênio, o que reduz o rendimento. Uma ação do sistema de controle da célula a combustível deve atuar imediatamente, mantendo o suprimento de oxigênio (LINARDI, 2010).

3 | METODOLOGIA

3.1 O Laboratório de Células a Combustível do IPEN/USP

Os gases oxigênio, hidrogênio e nitrogênio de purga para atender ao laboratório é feito por meio de tubulações. Logo na saída dos reservatórios existem medidores de vazão e de pressão de gás. Ao serem acessados no laboratório, os gases, são novamente medidos nos medidores de fluxo de massa, de comando manual, para atender aos experimentos. Logo na saída do medidor de fluxo de massa os gases passam por um processo de umidificação, aquecimento e elevação da pressão de vapor. No umidificador (ânodo) a temperatura deve ser mantida, manualmente, em 85 °C e, na célula a combustível deve ficar trabalhando por um período de uma a duas horas, com o intuito de estabilizar as condições de funcionamento para obter um ensaio com melhor precisão e assim evitar oscilações grosseiras nos resultados do ensaio (CUNHA, E. F. 2009).

3.2 Descrição do Experimento no IPEN/USP

Inicia-se o experimento após o laboratório já estar pronto para o ensaio, confere-se o ajuste que será dado à carga dinâmica, configura-se o regulador para o início da escala, que deve atingir ao final valor próximo a 38A. Considera-se que procedimentos preliminares já foram anteriormente executados como as rotinas de purga de nitrogênio no ânodo, bem como a ligação da célula a combustível ser ensaiada por um intervalo de uma a duas horas, para a estabilização da temperatura de ensaio (LINARDI, M.; 2010).

Ajusta-se a carga dinâmica para solicitar da célula 38 A, inicialmente na faixa superior de capacidade da carga e, progressivamente, a cada dois ampere de redução na corrente, com espera de dois minutos, a uma temperatura de célula mantida em 70°C, pressão atmosférica e, fluxo de gás conforme tabela das vazões dos reagentes, em função da corrente, acrescido de excesso estequiométrico em 50%.

Conclui-se o experimento no momento em que o ajuste da carga dinâmica atingir corrente elétrica zero. Para a faixa de valores de corrente entre dois e zero, visando melhor definição da região de ativação da célula, as medições devem ser feitas de duzentos em duzentos miliampere.

A carga dinâmica possui três faixas de ajuste, a membrana de náfion possui uma espessura de 115 μm , o catalisador de platina é do tipo ETEK_HP, possui carga de platina de 0,4mg/cm² no ânodo e, 0,6mg/cm² no cátodo. No canal três do medidor de fluxo de massa supre-se o hidrogênio e, no canal quatro o oxigênio (CUNHA, E. F.; 2009).

De modo complementar ao que foi descrito até o momento, faz-se a aquisição de dados suportado em uma placa eletrônica dedicada ou procede-se de forma manual com o preenchimento de formulário, onde se devem anotar os valores de tensão em mV, entregues pela célula à carga dinâmica, e a correspondente corrente elétrica após cada ajuste de corrente fornecida, no dial da carga dinâmica (LINARDI, M.; 2010).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores medidos são conferidos e processados. Mostra-se o resultado do experimento na figura (2) e (3) denominadas respectivamente de Curva de Polarização e Curva de Potência Máxima da Célula a Combustível. Importantes informações são obtidas dessas duas Curvas, resultante dos ensaios:

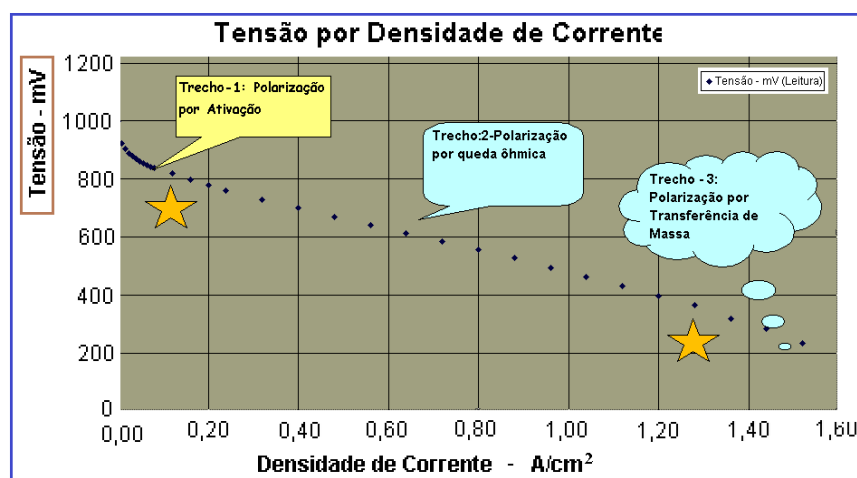


Figura 2: Ensaio de Polarização de uma Célula a Combustível Unitária PEM

Fonte: Autor, ensaiado no laboratório do IPEN/USP.

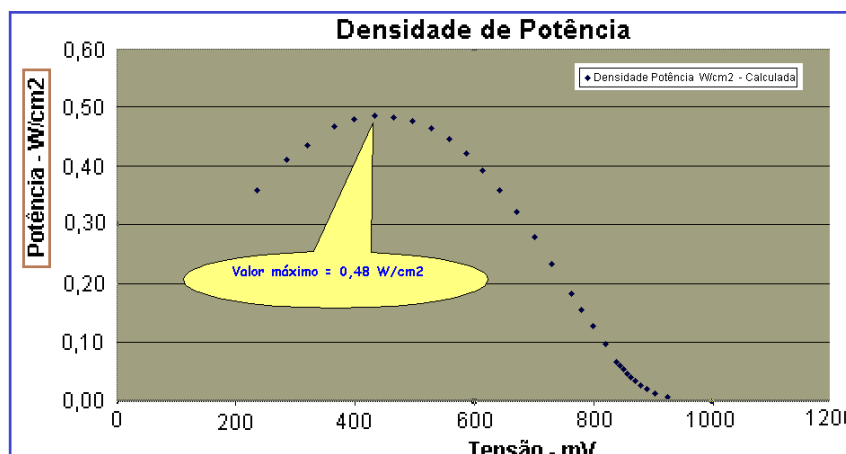


Figura 3: Densidade de Potência Máxima: Célula a Combustível Unitária PEM

Fonte: Autor, ensaiado no laboratório do IPEN/USP.

I - Trecho dominante típico de polarização por ativação, em (2): localiza-se próximo ao potencial de 838 mV, e a corrente demandada na faixa de zero a 80mA/cm²;

II - Trecho dominante típico de polarização por queda ôhmica, em (2): localiza-se na faixa de 838 mV a 365 mV, e corrente demandada na faixa de 80 mA/cm² – 1280mA/cm²;

III - Trecho dominante típico de polarização por transferência de massa, em (3): localiza-se na faixa de 365 mV a 200 mV, e corrente demandada na faixa de 1280mA/cm² a 1500 mA/cm²;

IV – A densidade de potência máxima, em (3): 0,48 W/cm².

5 | CONCLUSÕES

Conclui-se, ao avaliar os resultados desse ensaio, que o ponto ótimo de operação da célula a combustível na visão da eficiência do uso do MEA se localiza em 433 mV, densidade de corrente 1120 mA. Esse ponto se localiza na região governada pelo efeito predominante de perdas ôhmicas, que é linear e, não está sujeito, significativamente, aos fenômenos de ativação e transferência de massa. Para se definir um ponto de operação outras considerações podem ser feitas, como: a vida útil da membrana, uma satisfatória relação entre custo de aquisição e a quantidade de energia fornecida, entre outras possibilidades. Outros ensaios podem ser necessários para uma melhor decisão, tais como: durabilidade, confiabilidade, estudo de viabilidade econômica, características de funcionamento para situações de flutuação de carga, entre outros.

Nota-se que na faixa de tensão entre 365 mV e 558 mV, a densidade de potência se encontra num patamar elevado, e acima de 0,45W/cm², e conseqüentemente a potência total entregue pela célula se encontra acima de 11 W, configura uma região de interesse no que tange ao melhor rendimento do MEA por área. Quando se analisa

o ponto de operação do ponto de vista do consumo de oxigênio e hidrogênio o melhor ponto de operação se localiza acima de 800 mV.

REFERÊNCIAS

ALDABÓ, R. **Célula Combustível a Hidrogênio – Fonte de Energia da Nova Era**. São Paulo: Artiber, 2004. 182p

BEN - **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2016**. Rio de Janeiro. Brasil.

COOK, BRIAN. **Introduction to fuel Cells and hydrogen technology**. *Engineering Science and Education Journal*, published by Elsevier. V. 11, issue 6. Dec. 2002. P. 205-216.

CUNHA, E. F. **Avaliação e Aplicação de Tecnologias de Células a Combustível tipo PEMFC Desenvolvidas no IPEN em um Módulo de 500W_e de Potência Nominal**. 2009. 135p. Tese (Doutorado em Ciências – Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/USP, São Paulo, Brasil.

FELTRE, R. **Físico Química**. Editora Moderna. 6. Ed. 2004, 417p. São Paulo, Brasil.

LINARDI, M.; **Introdução à Ciência e Tecnologia de Células a Combustível**. São Paulo-SP, Brasil: Altiber Editora, 1ª edição, 2010. 152p. ISBN: 978-85-88098-52-7

SPINACÉ, E.V., OLIVEIRA NETO, A.; LINARDI, M. **Electro-oxidation of methanol and ethanol using PtRu/C electro catalysts prepared by spontaneous deposition of platinum on carbon-supported ruthenium nanoparticles**. *Journal of Power Sources*, v. 129, issue 2, p. 121-126, 22 Apr. 2004

WENDT, H.; LINARDI, M.; ARICÓ, E. **Células a Combustível de Baixa Potência para Aplicações Estacionárias**, *Química. Nova*, São Paulo, SP. Vol. 25, No. 3, p. 470-476, 2002.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-231-9

