



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 CO ₂ 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 CO ₂ 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

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

Sulamita Aparecida Ambrosia dos santos

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Química, Biotecnologia e
Engenharia de Bioprocessos.
Ouro Branco-MG.

Luiza Maria Amaral Frossard de Paula

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Química, Biotecnologia e
Engenharia de Bioprocessos.
Ouro Branco-MG.

Mayara Costa Franco

Universidade Federal de São João del-Rei,
Programa de Pós-graduação em Tecnologias para
o Desenvolvimento Sustentável.
Ouro Branco-MG.

Karen Sartori Jeunon Gontijo

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Química, Biotecnologia e
Engenharia de Bioprocessos.
Ouro Branco-MG.

Ana Maria de Oliveira

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Química, Biotecnologia e
Engenharia de Bioprocessos.
Ouro Branco-MG.

Enio Nazaré de Oliveira Junior

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Química, Biotecnologia e
Engenharia de Bioprocessos.
Ouro Branco-MG.

RESUMO: Os detergentes são compostos que reduzem a tensão superficial de outras substâncias, sendo assim considerados tensoativos, por sua formulação conter o surfactante alquilbenzeno linear sulfonado (LAS). Este surfactante é indispensável na formulação de detergentes comerciais, que não são completamente biodegradáveis, podendo ser tóxicos para o ambiente aquático. O objetivo desse trabalho foi analisar a eficiência do fungo filamentoso *Penicillium crustosum* na biodegradação do LAS em dois detergentes líquidos comerciais. Para isso, foi realizado um planejamento estatístico DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional) 2^2 com 4 pontos axiais e triplicata no ponto central com duas variáveis independentes (concentrações de sulfato de amônio e LAS) e a variável resposta analisada foi remoção de detergente (%). Os fungos foram inoculados em meios de cultivo líquidos em frascos cônicos de 125 mL e incubados em shaker a 25°C e 180 rpm durante cinco dias. A determinação de surfactante foi realizada por meio do método de azul de metileno (MBAS). As remoções de surfactantes nos meios contendo o detergente A variaram de 67 a 96% e nos meios contendo o detergente B variaram de 76 a 100%. Tais resultados mostram que o fungo *Penicillium crustosum*, foi muito eficiente na biodegradação de LAS, podendo ser uma alternativa interessante para futuras

aplicações em tratamentos de águas residuárias contendo LAS em suas composições.

PALAVRAS-CHAVE: Biodegradação, Detergente, Fungo Filamentoso.

ABSTRACT: Detergents are compounds that reduce the surface tension of other substances, being thus considered tensoactives, by its formulation containing the sulfonated linear alkylbenzene surfactant (LAS). This surfactant is indispensable in the formulation of commercial detergents, which are not completely biodegradable and may be toxic to the aquatic environment. The objective of this work was to analyze the efficiency of the filamentous fungus *Penicillium crustosum* in the biodegradation of LAS in two commercial liquid detergents. For this, a DCCR (Compound Central Rotational Compound Design) 2^2 plot with 4 axial points and triplicate at the central point was performed with two independent variables (concentrations of ammonium sulphate and LAS) and the response variable analyzed was detergent removal (%). The fungi were inoculated into liquid culture media in 125 ml conical flasks and incubated in shaker at 25°C and 180 rpm for five days. The determination of surfactant was performed by means of the methylene blue method (MBAS). Removal of surfactants in the detergente containing media A ranged from 67 to 96% and in media containing detergent B ranged from 76 to 100%. These results show that the fungus *Penicillium crustosum*, was very effective in the biodegradation of LAS and could be an interesting alternative for future applications in wastewater treatments containing LAS in its compositions.

KEYWORDS: Biodegradation, Detergent, Filamentous Fungus.

1 | INTRODUÇÃO

A água é um bem natural de valor inestimável que em muito precede não apenas o aparecimento do homem como também o surgimento de qualquer forma de vida. Porém, para que possa cumprir seu papel de mantenedora das formas de vida, dentre as quais se inclui a humana, a água deve apresentar-se em condições de potabilidade, de modo a poder ser consumida seguramente, sem prejuízos para aquele que a ingere (HERCULIN *et al.*, 2014).

Seus múltiplos usos são indispensáveis a um largo espectro das atividades humanas onde se destacam, entre outros, o abastecimento público municipal e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica, as atividades de lazer e recreação e a preservação da vida aquática. Todavia, os modelos de desenvolvimento adotados pelo homem para a agricultura, a pecuária, a indústria e os centros urbanos não têm levado em conta, há muito tempo, o meio ambiente (MONTAGNER *et al.*, 2007). Com a conseqüente utilização dos recursos disponíveis na natureza, a poluição ambiental vem causando alterações que prejudicam a integridade do ar, do solo e da água, e nesse sentido, a poluição compromete a saúde e o bem estar da população. A contaminação dos recursos ambientais subterrâneos e superficiais por compostos orgânicos tóxicos é um dos maiores impasses enfrentados pela geração atual. Ainda

que, há uma grande variedade de produtos químicos e processos físicos de tratamento de resíduos tóxicos, a maior parte destes somente se dilui ou são transferidos para outra fase, não ocorrendo a degradação (SILVA, 2013).

Na década de 70, o interesse da comunidade acadêmica e a criação de órgãos de proteção ambiental, como a USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), promoveram um aumento no número de pesquisas no mundo todo envolvendo monitoramento dos compostos, definidos como xenobióticos, em diversos ambientes. Inúmeros trabalhos foram publicados alertando para a possibilidade de que muitos fármacos e seus metabólitos poderiam estar presentes no ambiente em concentrações-traço (DAUGHTON *et al.*, 2002).

Dentre esses compostos classificados como contaminantes emergentes estão incluídos alguns fármacos de diferentes classes como: analgésicos, anti-inflamatórios, drogas psiquiátricas, antilipêmicos, antibióticos (de uso humano e veterinário), contrastes de raios X, hormônios e esteróides, além de componentes presentes em protetores solares, produtos de higiene pessoal como fragrâncias contendo grupos nitro, inseticidas repelentes e anti-sépticos, bem como os surfactantes amplamente utilizados no consumo doméstico (MONTAGNER *et al.*, 2007).

Dentre os representantes dos surfactantes aniônicos, o linear alquilbenzeno sulfonato de sódio (LAS) é um surfactante formado por uma cadeia alquílica, composta por 10 a 14 carbonos, e um grupo sulfonado. Encontra-se amplamente em produtos de limpeza devido às suas propriedades tensoativas e baixo custo relativo (OKADA *et al.*, 2009).

Segundo Holt *et al.* apud Esteves (2010), em esgotos domésticos, a concentração de LAS pode variar entre 1 a 22 mg/L. Uma vez utilizados em detergentes ou outros produtos de limpeza, o LAS pode atingir o meio ambiente como um componente dos efluentes de estações de tratamento, ou como ingredientes de descargas de esgotos não tratados. O LAS é considerado biodegradável nos rótulos de muitos produtos de limpeza. Apesar de sua fácil assimilação em meio aeróbio, sob condições anaeróbias, possui vias metabólicas restritas e conseqüentemente pode ser bioacumulado, podendo ser tóxico para o ambiente aquático (MONTAGNER *et al.*, 2007).

Esse efeito pôde ser observado em estudos toxicológicos em peixes, os quais podem sentir a presença de surfactantes em concentrações muito baixas (0,001 mg/L). Um dos efeitos tóxicos notados foi a alteração patológica nas brânquias: diminuição do crescimento e atividade de natação prejudicada (MELO, 2013).

Diversos estudos sobre a biodegradação do LAS mostraram que o surfactante sofre maior biodegradação sob uma grande variedade de condições aeróbias e que a dificuldade na sua degradação está ligada ao tamanho da cadeia (GARCÍA *et al.*, 2005).

A biodegradação aeróbia do surfactante pode ser dividida em duas etapas. Durante a primeira etapa, ocorre a quebra da cadeia hidrofóbica do tensoativo, essa quebra diminui alguns de seus efeitos indesejáveis no meio ambiente, tais como a

formação de espumas. Na segunda etapa, os produtos resultantes são transformados em CO₂, água e sais minerais. O principal mecanismo de biodegradação do LAS envolve a quebra da cadeia alquílica, seguida do grupo sulfonato e, por fim, do anel benzênico (PENTEADO *et al.*, 2006).

2 | METODOLOGIA

2.1 Reativação dos fungos

Para reativação, foi preparado meio de cultura Batata dextrose ágar 39 g/L. E em um béquer adicionou-se 5,85 g do meio em 150 mL de água destilada. A solução foi adicionada a um *Erlenmeyer* de 250 mL. Em seguida, o meio de cultura juntamente com as placas de Petri foram autoclavados.

Utilizou-se o fluxo laminar onde preparou-se 3 placas de Petri para o fungo *P. crustosum* em análise. Pequenos pedaços de ágar contendo os fungos foram retirados dos recipientes de óleo mineral, nos quais os micro-organismos encontravam-se inativos, e inseridos nas respectivas placas de Petri previamente preparadas. Posteriormente as placas de Petri foram deixadas em temperatura ambiente por cinco dias.

2.2 Coleta dos esporos

Preparou-se a solução salina 0,85% (m/v), utilizando 0,85 g de cloreto de sódio em 100 mL de água destilada. Esta solução juntamente com os tubos Falcon, funil de vidro e gase foram autoclavados.

A solução salina foi adicionada na placa de Petri para retirada dos esporos. Com o uso da alça de Drigalski, os micélios e esporos fúngicos foram moderadamente raspados para que os mesmos se soltassem. Após se desprenderem a solução foi vertida em um funil de vidro com gase, apoiado em um *Erlenmeyer*, promovendo assim a passagem da solução contendo os esporos e retenção de hifas e pedaços de ágar. A solução salina contendo os esporos foi armazenada em tubos do tipo Falcon de 50 mL, os quais foram incubados a 4°C. Este procedimento foi realizado em capela de fluxo laminar.

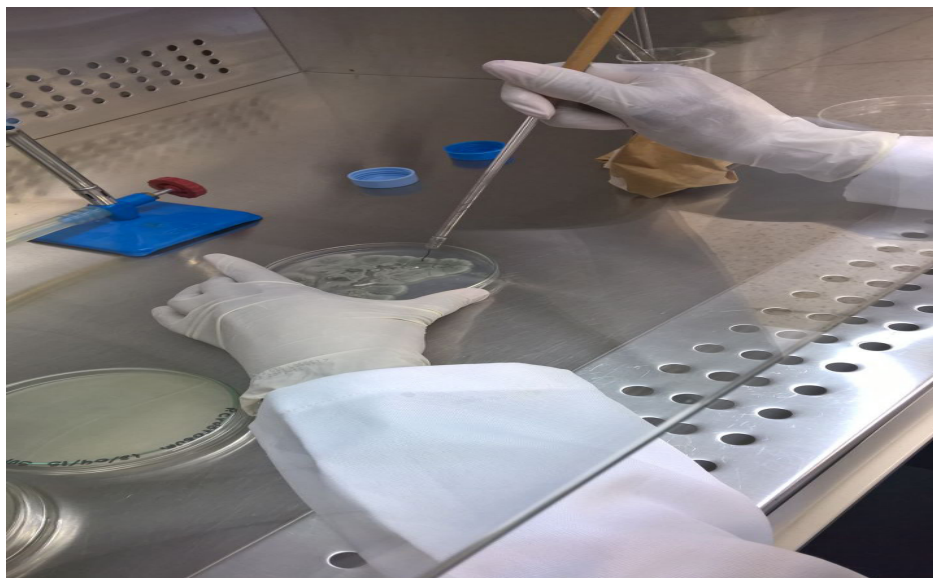


Figura1: Fluxo laminar laboratório biotecnológico/UFSJ.

Fonte: Autor

2.3 Contagem de esporos

A solução de esporos foi diluída 10 vezes em água destilada. Em seguida utilizou-se uma Câmara de *Neubauer* para contagem dos esporos, na qual foi vertida uma gota da solução diluída, aproximadamente 10 μ L.

Após a contagem dos esporos presentes em cada uma das cinco áreas de 0,04 mm², calculou-se a média dos valores encontrados. Para o cálculo do volume foi considerada a altura de 0,1 mm indicada na lâmina. Sendo assim foi possível calcular o número de células presentes em 1 mL.

2.4 Curva de crescimento

O meio mínimo para o crescimento dos micro-organismos foi preparado de acordo com as concentrações apresentadas na Tabela 1.

Componente	C ₆ H ₁₂ O ₆	MgSO ₄	(NH ₄) ₂ SO ₄	KH ₂ PO ₄	K ₂ HPO ₄	CuSO ₄
1L	10g	1,1g	1,0g	5,44g	6,98g	0,01g
0,4L	4g	0,44g	0,4g	2,176g	2,792g	0,004g

Tabela 1. Composição do meio mínimo para crescimento dos micro-organismos.

Fonte: COSTA(2014)

O meio mínimo foi autoclavado com os demais materiais necessários para o procedimento, 15 tubos Falcon e uma pipeta de 10 mL. Após esfriar, foi colocado 10 mL de meio de cultura em cada tubo. Posteriormente adicionou-se em cada tubo Falcon 20 μ L da solução de esporos. Os tubos foram nomeados e incubados no *shaker* a 25°C e 180 rpm. Desta forma o crescimento dos fungos foi determinado seguindo o método da massa seca. Para isto 15 filtros foram previamente secos em estufas a

40°C, pesados e tarados para posterior secagem e pesagem das massas obtidas a cada dia de análise.

2.5 Cultivo do fungo

Para preparação do meio de cultivo utilizou o planejamento experimental axial variando as concentrações de LAS e glicose observados na Tabela 4. Os demais componentes do meio de cultura foram empregados nas concentrações indicadas na Tabela 4. Todos os ensaios foram preparados em amostras com volume total de 70 mL em 12 *Erlenmeyers* respectivamente, sendo o ensaio 12 utilizado como controle, isto é, sem adição de micro-organismos.

As amostras listadas na Tabela 2 foram autoclavadas e após resfriamento foram inoculados 100µL da solução de esporos do fungo *P. crustosum*. Em seguida os *Erlenmeyers* foram incubados em *shaker* a 25°C e 180 rpm durante um período de cinco dias.

Ensaio	Detergente (g/L)	Volume de detergente da solução estoque (mL)	(NH ₄) ₂ SO ₄ (g/L)
1	-1 (0,0063)	0,34	-1 (1,6)
2	-1 (0,0063)	0,34	+1 (4,4)
3	+1 (0,0177)	0,96	-1 (1,6)
4	+1 (0,0177)	0,96	+1 (4,4)
5	-1,41 (0,004)	0,21	0 (3,0)
6	+1,41 (0,020)	1,10	0 (3,0)
7	0 (0,012)	0,65	-1,41 (1,0)
8	0 (0,012)	0,65	+1,41 (5,0)
9*	0 (0,012)	0,65	0 (3,0)
10*	0 (0,012)	0,65	0 (3,0)
11*	0 (0,012)	0,65	0 (3,0)

Tabela 2 – Planejamento experimental variando as concentrações de LAS como fonte de carbono e sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄ como fonte de nitrogênio.

*PONTOS CENTRAIS DO PLANEJAMENTO

2.6 Análise do surfactante total

A análise de surfactantes totais realizada em laboratórios químicos especializados para análise de água, se baseia no método de azul de metileno, conhecido como método de MBAS (APHA, 1998). Neste método o efluente é analisado por meio de um sistema aquoso de duas fases, sendo uma fase polar, composta pela amostra e azul de metileno, e outra apolar, o solvente (clorofórmio). A Figura 11 ilustra o sistema composto pelas duas fases.

Inicialmente, a curva analítica para quantificação foi construída e as concentrações estipuladas em 0,4 mgL⁻¹; 0,8 mgL⁻¹; 1,2 mgL⁻¹; 1,6 mgL⁻¹ e 2,0 mgL⁻¹, sendo o

branco da curva constituído por uma amostra de clorofórmio. Todo procedimento para a realização das análises foi retirado do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1998).

Ressalta-se que o detergente, objeto de estudo, é extraído com a ajuda do clorofórmio durante o processo da seguinte forma: um complexo é formado entre o azul de metileno (catiônico) e o surfactante (aniônico), pelo fato de o azul de metileno ser sensível a compostos aniônicos que contenham uma parte hidrofóbica na sua constituição. Em consequência dessa interação, o par surfactante azul de metileno migra para a fase orgânica e é facilmente extraído no clorofórmio (fase orgânica). O corante não associado tem uma solubilidade em clorofórmio extremamente pequena.

As soluções empregadas no presente trabalho para o método de MBAS tiveram seus volumes reduzidos em 50% por se tratarem de substâncias nocivas à biota do ambiente (Tabela 3).

Solução	Volume (mL)	Volume empregado (mL)
Amostra	100	50,0
Azul de metileno	25	12,5
Clorofórmio (0,03 mgL ⁻¹)	30	15
Álcool Isopropílico*	5	2,5
Lavagem	50	25

Tabela 3: Soluções empregadas no método.

*Adicionado caso necessário, para que evite a formação de emulsão.

Fonte: APHA, 1998.

Para a quantificação do surfactante após a reação de biodegradação, a amostra foi inserida juntamente com o azul de metileno e o clorofórmio em um funil de separação. A mistura foi vigorosamente agitada por 30 vezes para homogeneização. Após a separação das fases retirou-se a mais densa. Este procedimento foi realizado três vezes (COSTA, 2014).

Depois do processo a porção orgânica extraída passou para a última etapa exigida pelo método e o restante da mistura contida no funil de separação foi armazenada para descarte correto. A porção extraída foi vertida no funil juntamente com uma solução de lavagem, e a mistura foi novamente agitada. Essa etapa é empregada para a retirada da fase polar, que por ventura tenha sido extraída juntamente com o solvente (COSTA, 2014).

Após o repouso e separação das fases, retirou-se a fase mais densa, a qual foi levada análise espectrofotométrica a 652 nm (espectrofotômetro “Biospectro” SP-220), sendo o branco da metodologia composto pelo solvente clorofórmio (COSTA, 2014).

O método de análise MBAS propõe a utilização de álcool isopropílico (conforme mencionado na metodologia), todavia, o composto não foi utilizado para que se

evitasse a formação de efluentes ainda mais tóxicos (COSTA, 2014).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Contagem dos esporos

Após o período de incubação de cinco dias do *P. crustosum*, o mesmo havia produzido esporos e apresentava uma coloração “esbranquiçada”, ou seja, não apresentava contaminação. Assim os esporos foram armazenados em solução salina para evitar que ocorresse o processo de osmose e, conseqüentemente, rompimento dos mesmos, apesar da estrutura e resistência da parede dos esporos. A osmose pode acontecer devido a diferença de íons entre o meio interno do esporo e o meio externo, caso não fosse utilizada a solução salina (SILVA, 2014).

Os esporos do fungo *P. crustosum* apresentou 17,6 esporos em 0,04 mm². A câmara possuía profundidade equivalente a 0,1 mm, logo seu volume é equivalente a 0,004 mm³. Desta forma é possível encontrar a quantidade de esporos presentes em um mL de solução.

$$\begin{aligned}\frac{17,6 \text{ esporos}}{0,004 \text{ mm}^3} &= \frac{17,6 \text{ esporos}}{0,004 \times 10^{-9} \text{ m}^3} = \left(\frac{17,6 \times 10^9 \text{ esporos}}{0,004 \text{ m}^3} \right) \times \left(\frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ mL}} \right) \\ &= \frac{4,40 \times 10^6 \text{ esporos}}{\text{mL}}\end{aligned}$$

Considerando o fator de diluição, tem-se:

$$\left(\frac{4,40 \times 10^6 \text{ esporos}}{\text{mL}} \right) \times 10 = \frac{4,40 \times 10^7 \text{ esporos}}{\text{mL}}$$

3.2 Curva de crescimento

O comportamento do crescimento foi avaliado por meio da produção de massa seca em presença de glicose como fonte de carbono para o metabolismo e em presença de sulfato de amônio e detergente, estando esse último disponível como fonte alternativa para crescimento e a permanência das atividades celulares.

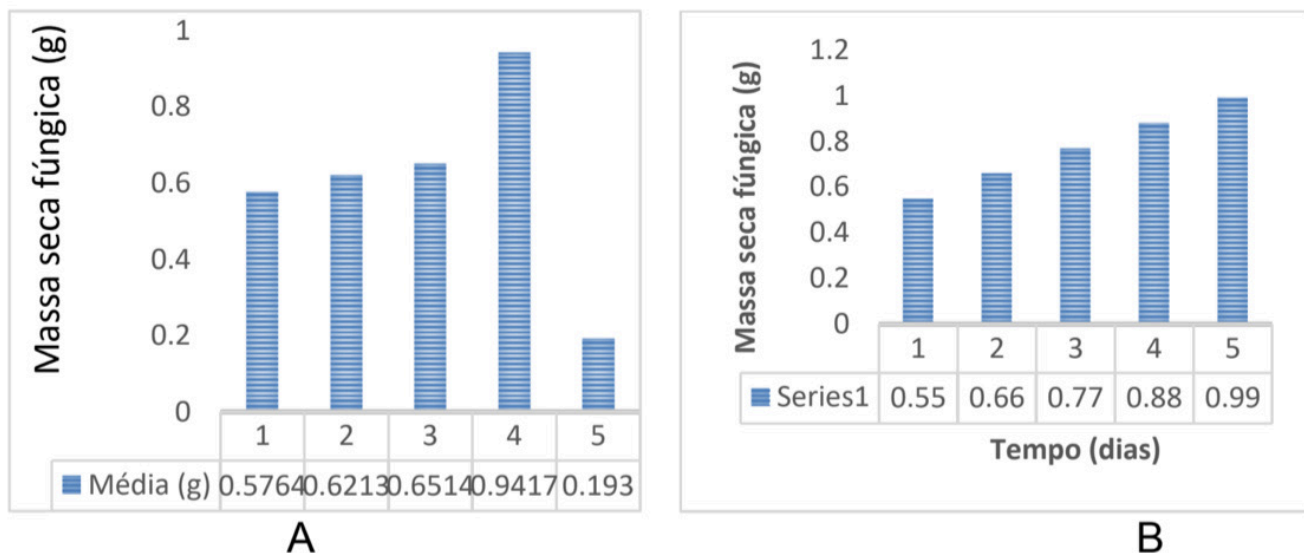


Figura 2: Curva de crescimento do *P. crustosum* durante cinco dias na presença do Detergente A e B.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet

Por meio da figura da 1, é possível observa-se como acontece o crescimento nutricional, porém entre as quatro fases, que consideramos fase de “lag”, onde nesta fase os microrganismos não revelam um aumento de número em determinações de massa. Percebe-se que em ambos os casos os microrganismos nos dias 1, obtiveram um menor crescimento devido a fase de adaptação ao meio nutricional. Ambos (A e B) cresceram de forma diferentes como observado nos gráficos, esse fato pode estar relacionado a outras substâncias não analisadas na composição dos detergentes.

3.3 Curva de calibração do método MBAS

A curva de calibração é fundamental para determinar a concentração final do surfactante após os processos de cultivo e extração, uma vez que ela fornece a equação linear para a realização do cálculo (SILVA, 2014).

A metodologia utilizada para construção da curva requer o uso de reagentes tóxicos, desta forma a fim de reduzir o volume de efluentes contaminantes foi empregada a curva de calibração do método determinada em estudos anteriores, a qual apresenta alto grau de confiança ($R^2 = 0,9939$). A curva é exibida na Figura 2.

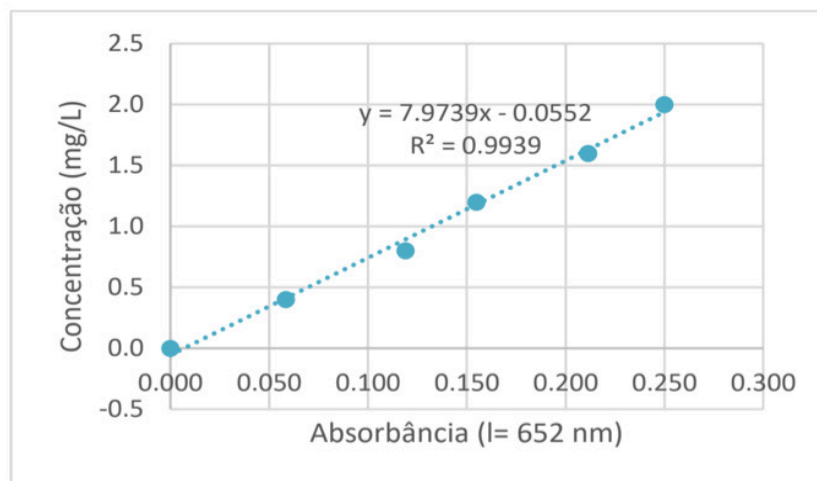


Figura 3: Curva de calibração do método MBAS aplicada na análise da biodegradação de surfactantes.

Fonte: SILVA, 2014.

3.4 Cultivo do fungo *P. crustosum*

O resultado do cultivo do fungo nos detergentes A e B utilizando o fungo *P. crustosum* foi empregado no planejamento experimental, demonstrado na Tabela 2. Pode-se notar que houve crescimento dos fungos nas 11 amostras, o crescimento foi variado de acordo com o meio. Em algumas amostras os fungos obtiveram um maior desenvolvimento do que em outros. Isso pode ser devido a variação de sulfato de amônio, que foi adicionada em cada meio de acordo com o planejamento apresentado. Na amostra 12 não houve nenhum crescimento devido não ter sido inoculado o fungo, tendo sido esta amostra um controle para avaliar a possível degradação do surfactante sem a presença de fungo.

Analisando a Tabela 4, é notório que o índice de remoção do detergente B foi maior que o detergente A, uma vez que o A possui um teor de remoção do surfactante que variam entre 69,44-96,11 e o B nas mesmas condições obteve uma variância de redução entre 77,34-99,97. O segundo (B) se destacou na biodegradação do LAS principalmente nos pontos centrais do planejamento (experimentos 9, 10 e 11), alcançando quase 100% de remoção do meio. Os detergente A, embora em condições diferentes, possuíram seus valores máximos em torno de 96,0%, para *P. crustosum*.

Ensaio	Detergente A (%)	Detergente B (%)
Amostra 1	69,449028	79,968248
Amostra 2	71,056246	81,35909
Amostra 3	89,68584	90,805316
Amostra 4	89,559346	82,078636
Amostra 5	67,595145	76,571261
Amostra 6	93,427237	85,80152
Amostra 7	82,89856	77,34673
Amostra 8	87,102054	91,870519

Amostra 9	92,706712	96,458274
Amostra 10	96,119829	99,978405
Amostra 11	92,706712	97,835939
Amostra 12	0	0

Tabela 4- Resultado da remoção dos detergentes (A e B) de acordo com planejamento experimental.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

Ambos detergentes foram submetidos ao mesmo planejamento experimental, assim pode-se inferir que, os micro-organismos apresentam diferentes condições favoráveis à biodegradação dos detergentes, mas o fato das marcas dos detergentes serem diferentes acredita-se que substâncias não avaliadas no presente trabalho pode ter influenciado no resultado.

Por meio do diagrama de Pareto (Figura 3) e da ANOVA (Tabela 5), avaliou-se o comportamento da porcentagem de remoção do meio em relação à concentração de LAS e de fonte de nitrogênio, sendo possível observar que para o Detergente A. A concentração de LAS (tanto para parâmetro linear quanto para o quadrático) e de fonte de nitrogênio apresentaram valores estatisticamente significativos ($p < 0,05$) nos ensaios realizados com o fungo *P. crustosum* (Figura 3). Os parâmetros lineares do sulfato de amônio, bem como a interação entre eles, são significativos nas condições estudadas.

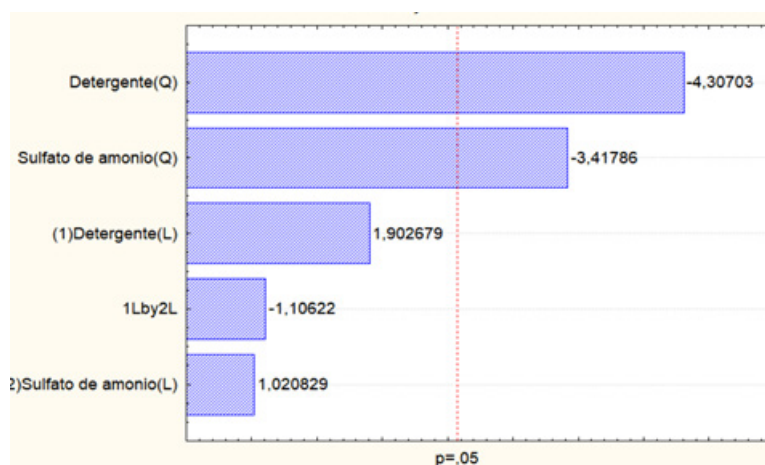


Figura 4: Diagrama de Pareto para a remoção do LAS para o *P. crustosum*.

Fonte: Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

	Soma dos quadrados (SQ)	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)	F _{cal}
Regressão	1,171.11	5	161,9415	
Resíduo	26,750	5	5,35	30,2694
TOTAL	1103,563	10		

Tabela 5: ANOVA para a biodegradação do LAS do *P. crustosum*

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

Por meio da tabela ANOVA o valor de $F_{\text{cal } 30,2694}$ foi obtido, sendo maior que o valor tabelado de 5,05. Desta forma, o modelo matemático é estatisticamente significativo e preditivo, a partir disso, a Equação 2 pôde ser gerada pelo software.

$$\% \text{ Remoção} = 93,844 + 9,409x_1 - 7,37x_1^2 + 0,9281x_2 - 5,1265x_2^2 - 0,433x_2$$

(Equação 2)

Onde x_1 é a concentração do detergente e x_2 é concentração de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (fonte de nitrogênio). A confiabilidade da equação pode ser posta a prova substituindo os parâmetros normalizados de qualquer um dos ensaios. Utilizando ensaio 1 tem-se:

$$\% \text{ Remoção} = 93,84 + 9,40(-1) - 7,37(-1)^2 + 0,92(-1) - 5,12(-1)^2 - 0,43(-1)(-1)$$

$$\% \text{ Remoção} = 71,41$$

Ao relacionar o valor predito (71,46%) com o valor observado (69,44%), percebe-se a diferença mínima (2,02%). Desta forma, tem-se um modelo estatisticamente confiável. Na Figura 4, pode-se ver a correlação entre os valores preditos e os observados, onde percebe-se que os valores experimentais se encontram próximos à reta dos valores preditos pelo modelo matemático.

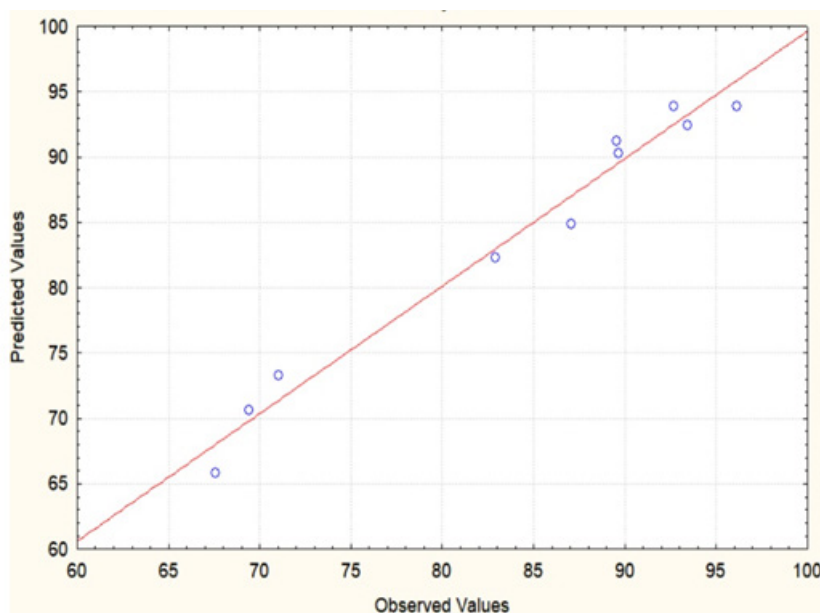
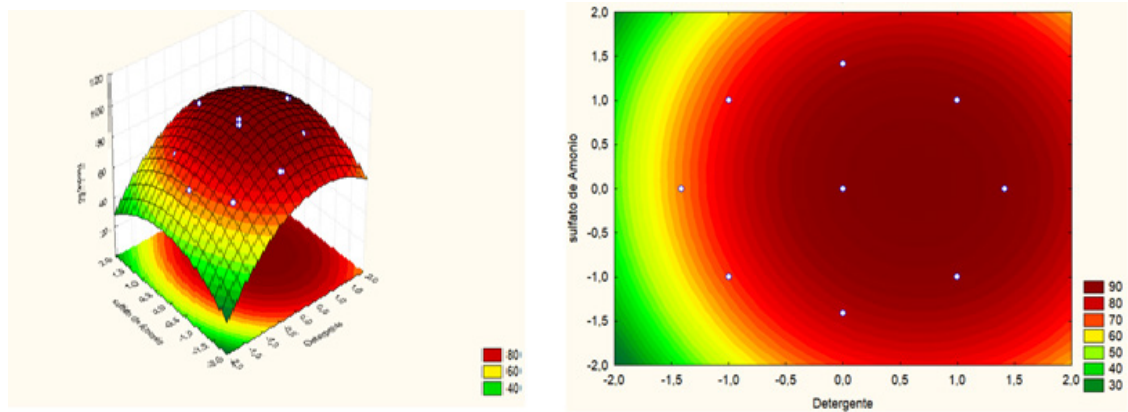


Figura 5: Valores preditos versus valores observados em relação à variável biodegradação para o *P. crustosum*.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

Na Figura 6, são apresentadas as curvas de contorno e superfície de resposta relacionadas ao *P. crustosum*, em relação ao **Detergente A**.



A

B

Figura 6: Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) respectivamente para a redução (%) em função das concentrações de sulfato de amônio (g/L) e Detergente (A) (mg/L) para o micro-organismo *P. crustosum*.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

Na Figura 6, pode-se inferir que as condições estudadas propiciaram bons resultados, principalmente em relação aos pontos centrais, sendo os ensaios onde se obtiveram as maiores porcentagens de remoção do LAS, estando em acordo com os valores mostrados pela Tabela 6.

É possível observar que as variáveis do detergente (L) e detergente (Q) e sulfonato de amônio (Q) possuem valores estatisticamente significativos de acordo com o diagrama de pareto apresentado na Figura 7.

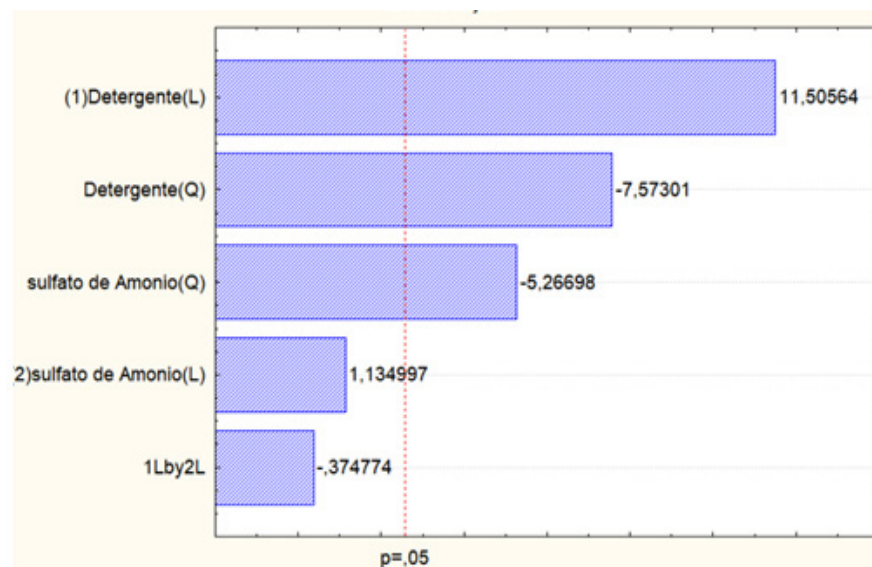


Figura 7: Diagrama de Pareto para a remoção do LAS para o *P. crustosum*.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

	Soma dos quadrados (SQ)	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)	F _{cal}
Regressão	755,32284	5	123,3923	
Resíduo	104,5631	5	20,91262	5,900376
TOTAL	721,5247	10		

Tabela 6: ANOVA para a biodegradação do detergente do *P. Crustosum*.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

Por meio da tabela ANOVA o valor de F_{cal} foi obtido, sendo maior que o valor tabelado. Desta forma, o modelo matemático é estatisticamente significativo e preditivo, a partir disso, a Equação 2 (mostrada abaixo) pôde ser gerada pelo software.

$$\% \text{ Remoção} = 98,0909 + 6,1525x_1 - 16,5768x_1^2 + 3,3010x_2 - 13,1546x_2^2 - 5,0588x_1x_2$$

(Equação 2)

Onde x_1 é a concentração do detergente e x_2 é concentração de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (fonte de nitrogênio). A confiabilidade da equação pode ser posta a prova substituindo os parâmetros normalizados de qualquer um dos ensaios. Utilizando ensaio 1 tem-se:

$$\% \text{ Remoção} = 98,0909 + 6,1525(-1) - 16,5768(-1)^2 + 3,3010(-1) - 13,1546(-1)^2 - 5,0588(-1)(-1)$$

$$\% \text{ Remoção} = 80,1564$$

Ao relacionar o valor predito (80,1564%) com o valor observado (79,9682%), percebe-se a diferença mínima (0,188%). Desta forma, tem-se um modelo estatisticamente confiável. Na Figura 18, pode-se ver a correlação entre os valores preditos e os observados, onde percebe-se que os valores experimentais se encontram próximos à reta dos valores preditos pelo modelo matemático.

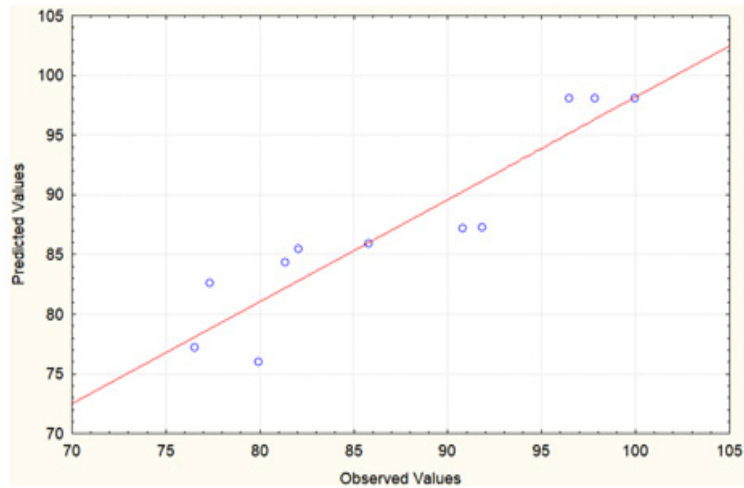


Figura 7: Gráfico de valores preditos por valores observados em relação à variável biodegradação para o *P. crustosum*.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

Na Figura 8, são apresentadas as curvas de contorno e superfície de resposta relacionadas ao *P. crustosum*, em relação ao **Detergente**.

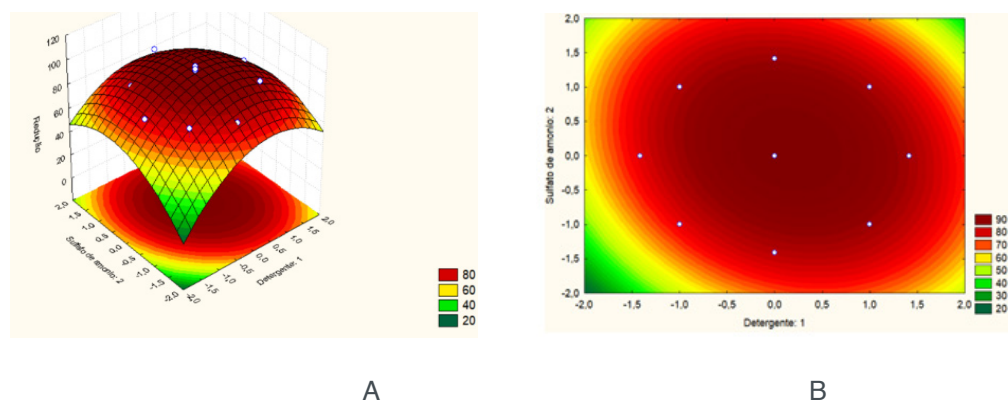


Figura 8: Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) respectivamente para a redução (%) em função das concentrações de sulfato de amônio (g/L) e Detergente (B) (mg/L) para o micro-organismo *P. crustosum*.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

Pode-se notar que a máxima degradação do detergente foi obtida no ponto central do planejamento, cuja redução média foi de 93,85% para o detergente A, já o detergente B, obteve-se uma média no ponto central de 98,10%, sendo este o mesmo a atingir o ponto ótimo de redução.

Visto que o presente experimento é uma otimização de outros trabalhos utilizando fungos filamentosos, onde se pôde obter redução de até 96%. O experimento apresentado mostrou-se satisfatório uma vez que os resultados apresentaram redução de até 98%, superando os valores anteriores e comprovando a eficiência dos parâmetros utilizados. Ressalta-se que nos trabalhos anteriores foi utilizado o LAS na íntegra, já no presente trabalho o LAS estava inserido ao produto (detergente) que

possivelmente continham outras substâncias capazes de influenciar o resultado, e mesmo com possíveis substâncias observa-se uma ótima remoção (LAS) nos produtos (A e B), confirmando a eficácia do método utilizado.

3.5 Crescimento fúngico

	Soma dos quadrados (SQ)	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)	F_{cal}
Regressão	0,329759	5	0,052056	
Resíduo	0,184382	5	0,036876	1,411635
TOTAL	0,444662	10		

Tabela 7: ANOVA para produção de massa seca na presença do detergente A.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

Sabendo-se que o valor do $F_{tabelado}$ é 5,05 e o valor do $F_{calculado}$ é igual a 1,411635. Pode-se dizer que o cálculo vai de encontro com o diagrama de Pareto, e desta forma pode-se dizer que o modelo matemático não é estatisticamente significativo e preditivo em relação a massa seca.

	Soma dos quadrados (SQ)	Grau de liberdade (GL)	Quadrado médio (QM)	F_{cal}
Regressão	0,349091	5	0,057854	
Resíduo	0,409660	5	0,081932	0,706122
TOTAL	0,698930	10		

Tabela 8: ANOVA para produção de massa seca na presença do detergente B.

Fonte: STATISTIC Spreadsheet.

Sabendo-se que o valor do $F_{tabelado}$ é 5,05 e o valor do $F_{calculado}$ é igual a 0,706122. Pode-se dizer que o cálculo vai de encontro com o diagrama de Pareto, e desta forma pode-se dizer que o modelo matemático não é estatisticamente significativo e preditivo em relação a massa seca.

Visto que o presente experimento é uma otimização de outros trabalhos utilizando fungos filamentosos onde se obteve uma redução de até 95%, os resultados do presente experimento foram muito bons, uma vez que os resultados apresentaram redução de até 99% superando os valores anteriores e comprovando a eficiência dos paramentos utilizados.

Desta forma, o fungo filamentoso *Penicillium crustosum*, utilizado neste estudo mostrou-se capaz de biodegradar surfactantes aniônicos amplamente usados em ambos detergentes líquidos testados no presente trabalho e que são lançados diariamente nos esgotos domésticos e que apesar de serem biodegradáveis, os processos de tratamento anaeróbicos utilizados no Brasil removem até 70% de surfactantes.

4 | CONCLUSÃO

O emprego de micro-organismos no tratamento de efluentes se mostra uma alternativa sustentável e eficiente. Os resultados deste estudo mostraram que o fungo *Penicillium crustosum* alcançou altos índices de biodegradação de surfactantes totais no detergente “A” chegando a 96% e no detergente “B” chegando a quase 100%, mostrando-se uma alternativa interessante na remoção de surfactantes em efluentes.

REFERÊNCIAS

- COSTA, M. F. **Biodegradação do surfactante linear alquilbenzeno sulfonato de sódio utilizando fungos filamentosos**. Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de São João del Rei – UFSJ, Ouro Branco, MG. 2014.
- GARCÍA, M.T.; CAMPOS, E.; RIBOSA, I.; LATORRE, A.; SÁNCHEZ-LEAL, L. **Anaerobic digestion of linear alkyl benzene sulfonates: Biodegradation kinetics and metabolite analysis**. *Chemosphere*, v. 60, p. 1636–1643, 2005.
- GONTIJO, K. S. J. **Biodegradação do surfactante linear alquilbenzeno sulfonato de sódio utilizando os fungos filamentosos *Penicillium chrysogenum* e *Penicillium crustosum* em um efluente sintético contendo ureia como fonte de nitrogênio**. Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de São João del Rei – UFSJ, Ouro Branco, MG. 2016.
- MELO, T. N. T. F. **Utilização dos tensoativos na indústria de petróleo. Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido**. Campus Angicos. UFERSA. Angicos, RN. 49 p. 2013.
- ZAGO NETO, Odone Gino; DEL PINO, José Cláudio. **Trabalhando a Química dos Sabões**, 2002. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS - Instituto de Química.
- OKADA, D. Y., et al. **Otimização de Linear alquilbenzenosulfonato (LAS) degradação em reatores UASB, variando biodisponibilidade de LAS, tempo de retenção hidráulica e taxa de carga orgânica específica**. *Bioresource Tecnologia*, 2013, vol. 128, p. 125-133.
- SILVA, A. C. A. A. **Otimização do processo de biodegradação do surfactante linear alquilbenzeno sulfonato de sódio utilizando fungos filamentosos**. Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de São João del Rei – UFSJ, Ouro Branco, MG. 2014.
- SILVA, K. C. da. **Estudo do potencial de degradação do corante reativo preto intenso por fungos filamentosos isolados de efluente industrial têxtil**. Dissertação (Tese de mestrado) – Biotecnologia, Universidade Federal de São João del Rei. Divinópolis, 2013.

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

