



Helenton Carlos Da Silva
(Organizador)

Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental 4

Atena
Editora

Ano 2020



Helenton Carlos Da Silva
(Organizador)

Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental 4

Atena
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
D371	<p> Demandas essenciais para o avanço da engenharia sanitária e ambiental 4 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020. </p> <p> Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-952-3 DOI 10.22533/at.ed.523202101 </p> <p> 1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária. I. Silva, Helenton Carlos da. </p> <p style="text-align: right;">CDD 628.362</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu III volume, apresenta, em seus 29 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da engenharia sanitária e ambiental, tendo como base suas demandas essenciais interfaces ao avanço do conhecimento.

Os serviços inerentes ao saneamento são essenciais para a promoção da saúde pública, desta forma, a disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas constitui fator de prevenção de doenças, onde a água em quantidade insuficiente ou qualidade imprópria para consumo humano poderá ser causadora de doenças; observa-se ainda o mesmo quanto à inexistência e pouca efetividade dos serviços de esgotamento sanitário, limpeza pública e manejo de resíduos sólidos e de drenagem urbana.

Destaca-se ainda que entre os muitos usuários da água, há um setor que apresenta a maior interação e interface com o de recursos hídricos, sendo ele o setor de saneamento.

O plano de saneamento básico é o instrumento indispensável da política pública de saneamento e obrigatório para a contratação ou concessão desses serviços. A política e o plano devem ser elaborados pelos municípios individualmente ou organizados em consórcio, e essa responsabilidade não pode ser delegada. O Plano deve expressar o compromisso coletivo da sociedade em relação à forma de construir o saneamento. Deve partir da análise da realidade e traçar os objetivos e estratégias para transformá-la positivamente e, assim, definir como cada segmento irá se comportar para atingir as metas traçadas.

Dentro deste contexto podemos destacar que o saneamento básico é envolto de muita complexidade, na área da engenharia sanitária e ambiental, pois muitas vezes é visto a partir dos seus fins, e não exclusivamente dos meios necessários para atingir os objetivos almejados.

Neste contexto, abrem-se diversas opções que necessitam de abordagens disciplinares, abrangendo um importante conjunto de áreas de conhecimento, desde as ciências humanas até as ciências da saúde, obviamente transitando pelas tecnologias e pelas ciências sociais aplicadas. Se o objeto saneamento básico encontra-se na interseção entre o ambiente, o ser humano e as técnicas podem ser facilmente traçados distintos percursos multidisciplinares, potencialmente enriquecedores para a sua compreensão.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados a estas diversas demandas essenciais do conhecimento da engenharia sanitária e ambiental. A importância dos estudos dessa vertente é notada no cerne da produção do

conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ALGORITMO DE BUSCA EXAUSTIVA PARALELA EM PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
Artemisa Fontinele Frota Luís Henrique Magalhães Costa Rafael Pereira Maciel Marco Aurélio Holanda De Castro	
DOI 10.22533/at.ed.5232021011	
CAPÍTULO 2	25
POÇO ARTESIANO; AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA QUE ABASTECE A ZONA RURAL NO MUNICÍPIO DE CALÇADO-PE	
Angela Maria Coêlho de Andrade Caio Cesário de Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.5232021012	
CAPÍTULO 3	38
AVALIAÇÃO DE DIGESTOR ANAERÓBIO PARA OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL E VIABILIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS NA GERAÇÃO DE ENERGIA	
Felipe R. A. dos Santos Clément Van Vlierberghe Guilherme F. Campos	
DOI 10.22533/at.ed.5232021013	
CAPÍTULO 4	52
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA, SUINOCULTURA E LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO (<i>Zea mays</i> L.)	
Rhégia Brandão da Silva Leonardo Duarte Batista da Silva Alexandre Lioi Nascentes Antonio Carlos Faria de Melo Dinara Grasiela Alves Everaldo Zonta João Paulo Francisco Marcos Filgueiras Jorge	
DOI 10.22533/at.ed.5232021014	
CAPÍTULO 5	76
DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO WEB APLICADA À HIDRÁULICA DE CANAIS	
Lenise Farias Martins Rafael Pereira Maciel Luis Henrique Magalhães Costa	
DOI 10.22533/at.ed.5232021015	

CAPÍTULO 6	86
ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM REATOR ANAERÓBIO HORIZONTAL DE LEITO FIXO (RAHLF) PARA TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTE SINTÉTICO CONTENDO D-LIMONENO	
Arnaldo Sarti Bruna Sampaio de Mello Brenda Clara Gomes Rodrigues Maria Angélica Martins Costa Samuel Conceição de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.5232021016	
CAPÍTULO 7	98
ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DE PERDAS ATRAVÉS DO CONTROLE DE PRESSÃO – MODELO HIDRÁULICO DO SISTEMA MORROS DA ZONA NORTE DO RECIFE-PE	
Marcos Henrique Vieira de Mendonça Hudson Tiago dos S. Pedroso	
DOI 10.22533/at.ed.5232021017	
CAPÍTULO 8	111
ESTUDO DA VULNERABILIDADE DA ÁGUA SUBTERÂNEA NO DISTRITO INDUSTRIAL DE ICOARACI (BELÉM-PA)	
Ana Carla Leite Carvalho Leonardo Augusto Lobato Bello Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes Marco Valério Albuquerque Vinagre	
DOI 10.22533/at.ed.5232021018	
CAPÍTULO 9	122
ESTUDO DE ÁREA DE RISCO DEVIDO À EROÇÃO HÍDRICA EM TRECHO DO CÓRREGO AFONSO XIII EM TUPÃ / SP – CAUSAS E SOLUÇÃO	
José Roberto Rasi Roberto Bernardo Cristiane Hengler Corrêa Bernardo	
DOI 10.22533/at.ed.5232021019	
CAPÍTULO 10	136
FATORES DETERMINANTES PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO ELETROMECÂNICA EFICAZ EM UMA EMPRESA DE SANEAMENTO	
Karlós Eduardo Arcanjo da Cruz Tiago Pontual Waked Bruno Roberto Gouveia Carneiro da Cunha	
DOI 10.22533/at.ed.52320210110	
CAPÍTULO 11	145
FISCALIZAÇÃO TÉCNICO-OPERACIONAL REMOTA DA PRESTAÇÃO DE SERVIÇO DE ÁGUA E ESGOTO – DO PLANEJAMENTO A EXECUÇÃO	
Flávia Oliveira Della Santina Rodolfo Gustavo Ferreras	
DOI 10.22533/at.ed.52320210111	

CAPÍTULO 12	161
GESTÃO E CONSERVAÇÃO DE ÁGUA: ALTERNATIVAS PARA MELHORAR O ATENDIMENTO DAS DEMANDAS HÍDRICAS DO CENTRO DE CONVENÇÕES DE PERNAMBUCO	
Amanda Almeida de Oliveira Figueiredo Simone Rosa da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.52320210112	
CAPÍTULO 13	180
APLICAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS EM HIDROMETRIA COM BASE EM ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICO FINANCEIRO	
Luiz Claudio Drumond	
DOI 10.22533/at.ed.52320210113	
CAPÍTULO 14	190
METODOLOGIA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE PROJETO DE SANEAMENTO APLICADA AO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA REGIÃO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA PRESIDENTE JUSCELINO KUBITSCHK UTILIZANDO O SOFTWARE EPANET	
Stefan Igreja Mühlhofer Carolina Silva de Oliveira Sá Teles	
DOI 10.22533/at.ed.52320210114	
CAPÍTULO 15	204
VISITAS DOMICILIARES JUNTO À POPULAÇÃO BENEFICIÁRIA DE OBRAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA – UMA ABORDAGEM SOCIOAMBIENTAL EM CAICÓ – RN	
Julyenne Kerolainy Leite Lima Marília Adelino da Silva Lima Teonia Casado da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.52320210115	
CAPÍTULO 16	212
OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL DE RESERVATÓRIO NA BUSCA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (RESERVATÓRIO DE JORDÃO DE 90.000 M ³ , SISTEMA PIRAPAMA-PE)	
Hudson Tiago dos S. Pedrosa	
DOI 10.22533/at.ed.52320210116	
CAPÍTULO 17	228
PERSPECTIVA DOS 20 ANOS DA LEI N°9.433/97: PERCEPÇÕES DOS COMITÊS DE BACIA HIDROGRÁFICA E DOS ÓRGÃOS GESTORES DE RECURSOS HÍDRICOS ACERCA DO ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA	
Paulo Eduardo Aragon Marçal Ribeiro Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora	
DOI 10.22533/at.ed.52320210117	

CAPÍTULO 18 238

**PRÉ-DIAGNÓSTICO DAS EFICIÊNCIAS ELETROMECÂNICAS E
HIDROENERGÉTICAS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA A PARTIR
DO CONSUMO ENERGÉTICO NORMALIZADO**

Luis Henrique Pereira da Silva
Karlos Eduardo Arcanjo da Cruz
Leonardo Nascimento de Oliveira
Milton Tavares de Melo Neto
Hudson Tiago dos Santos Pedrosa

DOI 10.22533/at.ed.52320210118

CAPÍTULO 19 247

**PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE REUSO DE ÁGUA
EM SISTEMAS RESFRIAMENTO**

Ewerton Emmanuel da Silva Calixto
Fernando Luiz Pellegrini Pessoa
Lidia Yokoyama
Sérgio Pagnin
Andréa Azevedo Veiga

DOI 10.22533/at.ed.52320210119

CAPÍTULO 20 260

**PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA LAGOA DA GAROPABA DO SUL/SC
COM VISTAS A EFETIVA EXECUÇÃO DOS INVESTIMENTOS DO CONTRATO DE
CONCESSÃO EM SANEAMENTO**

Ricardo Martins
Anderson Sandrini Botega
Eduardo Silvano Batista
Gislaine Lonardi
Katia Viviane Motta Martins

DOI 10.22533/at.ed.52320210120

CAPÍTULO 21 274

**PROJETO DE AÇÃO SOCIAL ALIADO A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA ESCOLA E
SEUS EFEITOS NA COMUNIDADE**

Manuella Andrade Swierczynski

DOI 10.22533/at.ed.52320210121

CAPÍTULO 22 293

**PROJETO DE EFICIÊNCIA HÍDRICA: REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA DESCARTADA
POR DESTILADORES**

Roberto Santos de Oliveira
Julio Cesar Oliveira Antunes
Lucas Olive Pinho Silva Gomes

DOI 10.22533/at.ed.52320210122

CAPÍTULO 23 305

**PROJETO DE INFRAESTRUTURA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA
CONSUMO HUMANO DESENVOLVIDO ATRAVÉS DA FILOSOFIA BIM**

Marcos André Capitulino de Barros Filho
Pedro Henrique Matias Dantas

Lucas Vieira Fernandes
Aldrin Magno Dantas Siqueira Júnior
DOI 10.22533/at.ed.52320210123

CAPÍTULO 24 318

QUALIDADE DA ÁGUA DOS POÇOS DO BAIRRO JARDIM CABANO DA VILA DOS CABANOS, MUNICÍPIO DE BARCARENA-PA

Claudio Farias de Almeida Junior
Ronaldo Pimentel Ribeiro
Mirian Favacho da Silva Ramos
Amanda Ingrid da Silva Therezo
Márcia de Almeida
Marcos Antônio Barros dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.52320210124

CAPÍTULO 25 327

RECUPERAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM POÇOS TUBULARES PROFUNDOS: O CASO DE VALE DO CATIMBAU

Karlos Eduardo Arcanjo da Cruz
Paulo César Nunes Pinho
José Antônio Charão Cunha
Luis Henrique Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.52320210125

CAPÍTULO 26 338

RESPONSABILIDADE SOCIAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. AÇÕES QUE FIZERAM A DIFERENÇA NA COMPANHIA DOCAS DO PARÁ/PORTO DE SANTARÉM – PARÁ – AMAZÔNIA

Cristiane da Costa Gonçalves de Andrade
Andrelle Soares Dantas Faria
Paula Danielly Belmont Coelho

DOI 10.22533/at.ed.52320210126

CAPÍTULO 27 349

SANEAMENTO DE QUALIDADE É CONSTRUÍDO COM FOCO EM GESTÃO: A EXPERIÊNCIA DA EMBASA – UNIDADE REGIONAL DE ITABERABA COM A IMPLANTAÇÃO DO MEG

Sebastiana Flávia Lima dos Santos
Gustavo Lima Magalhães Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.52320210127

CAPÍTULO 28 360

TOXICOLOGIA AGUDA DE *Rhamdia quelen* EXPOSTOS A XENOBIÓTICOS UTILIZADOS EM LAVOURAS ARROZEIRAS

Jaqueline Ineu Golombieski
Débora Seben
Joseânia Salbego
Elisia Gomes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.52320210128

CAPÍTULO 29	370
--------------------------	------------

TRATAMENTO NATURAL DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA COM USO DE SEMENTE DE MORINGA OLEIFERA

Edilaine Regina Pereira
Maik Mauro Alves
Bruna Ricci Bicudo
Dandley Vizibelli
Fellipe Jhordã Ladeia Janz

DOI 10.22533/at.ed.52320210129

SOBRE O ORGANIZADOR.....	383
---------------------------------	------------

ÍNDICE REMISSIVO	384
-------------------------------	------------

ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM REATOR ANAERÓBIO HORIZONTAL DE LEITO FIXO (RAHLF) PARA TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTE SINTÉTICO CONTENDO D-LIMONENO

Data de aceite: 09/01/2020

Arnaldo Sarti

(<http://lattes.cnpq.br/2460595811406704>)

UNESP – Universidade Estadual Paulista, CEMPEQC–IQ – Centro de Monitoramento e Pesquisa da Qualidade de Combustíveis, Biocombustíveis e Derivados de Petróleo – Instituto de Química, PPG-QUI – Programa de Pós-Graduação em Química
Araraquara – SP.

Bruna Sampaio de Mello

(<http://lattes.cnpq.br/7401021431526116>)

UNESP – Universidade Estadual Paulista, IQ – Instituto de Química, PPG-QUI – Programa de Pós-Graduação em Química
Araraquara – SP.

Brenda Clara Gomes Rodrigues

(<http://lattes.cnpq.br/0687237643451576>)

UNESP – Universidade Estadual Paulista, IQ – Instituto de Química, PPG-BIO – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia
Araraquara – SP.

Maria Angélica Martins Costa

(<http://lattes.cnpq.br/3868252624627232>)

UNESP – Universidade Estadual Paulista, IQ – Instituto de Química, PPG-QUI – Programa de Pós-Graduação em Química
Araraquara – SP.

Samuel Conceição de Oliveira

(<http://lattes.cnpq.br/2041303049625571>)

UNESP – Universidade Estadual Paulista, FCF – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, PPG-EBB – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos.
Araraquara – SP.

RESUMO: O Brasil é o detentor da maior parcela da produção mundial de suco de laranja concentrado. Como consequência dessa alta produção, são geradas grandes quantidades de efluentes líquidos que necessitam ser tratados em adequados sistemas de tratamento implantados nas indústrias cítricas, geralmente constituídas de unidades biológicas que visam remover especificamente matéria orgânica. Tais unidades não atingem as eficiências desejadas muito em função da inibição da atividade biológica pela presença de compostos tóxicos residuais, como o D-limoneno (terpeno), extraído da casca da laranja. Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar a degradação de D-limoneno em reator anaeróbio horizontal de leito fixo com biomassa imobilizada em diferentes suportes inertes e operado com diferentes concentrações de D-limoneno na alimentação ($C_0 = 10 - 500 \text{ mg.L}^{-1}$). Um modelo matemático simples foi proposto para descrever o processo de remoção de D-limoneno, o qual permitiu determinar a constante aparente de

remoção para cada ensaio realizado. Assim, tais estudos podem contribuir para a efetiva melhoria operacional dos sistemas de tratamento empregados pelas indústrias cítricas, aumentando a eficiência de remoção de D-limoneno e, conseqüentemente, causando menor impacto ambiental dos efluentes gerados.

PALAVRAS-CHAVE: D-limoneno; tratamento anaeróbio; modelagem matemática.

EXPERIMENTAL STUDY AND MATHEMATICAL MODELING OF A HORIZONTAL-FLOW ANAEROBIC IMMOBILIZED SLUDGE (HAIS) REACTOR FOR BIOLOGICAL TREATMENT OF SYNTHETIC EFFLUENT CONTAINING D-LIMONENE

ABSTRACT: Brazil is considered the one of greatest orange juice producer in the world. As a result, high amount of wastewater is generated, making necessary its treatment. Most treatment of these wastewaters has been carried out in biological treatment plants. However, low removal efficiency has been achieved when using anaerobic or/and aerobic processes especially due to biological inhibition by toxic compounds, like the D-limonene, present in these wastewaters. The terpene D-limonene is extracted from the orange hulls and high amount of this residue can be found in the citric industrial effluents. In this study, the main objective was to evaluate the D-limonene biodegradability in a bench-scale horizontal-flow anaerobic immobilized sludge (HAIS) reactor. Different biomass supports were used and the D-limonene concentration in the substrate feed stream (C_0) varied from 10 – 500 mgL⁻¹. A mathematical model, based on the experimental data behavior, was proposed to determine the D-limonene apparent removal constant for each assay performed. The obtained results showed that the system employed in this study can to improve the current wastewater treatment systems in the industrial plants by promoting the D-limonene removal and reducing the environmental impacts involved in the orange processing chain.

KEYWORDS: D-limonene; anaerobic treatment; mathematical modeling;

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de suco de laranja concentrado e seus subprodutos, disputando com os Estados Unidos a hegemonia nesse mercado. O Estado de São Paulo concentra 80% da produção de frutas cítricas e 90% da capacidade de processamento. As regiões do Estado tradicionalmente ligadas ao setor são representadas pelos municípios de São José do Rio Preto, Limeira, Araraquara, Jaboticabal e Barretos (YAMANAKA, 2005). O processo de obtenção do suco de laranja concentrado consiste em uma série de operações unitárias industriais de grande escala. Além do suco de laranja, há vários outros subprodutos que podem ser obtidos durante o processamento da laranja conforme mostra a Figura 1, na qual as quantidades apresentadas estão baseadas em 100 kg de laranja processada.

A composição química dos óleos essenciais naturais depende de vários fatores,

principalmente da origem da planta, o que faz cada óleo ter uma composição química específica (FISHER; PHILLIPS, 2008), podendo um óleo essencial ser composto por 20 a 60 componentes químicos diferentes, o que o torna um produto valorizado (BAKKALI et al., 2008). O principal componente da casca de cítricos é o D-limoneno, cuja concentração no óleo essencial pode variar de 32% a 98% na tangerina, 45 a 76% no limão e 68 a 98% na laranja (MOUFIDA; MARZOUK, 2003). Como o D-limoneno é o componente mais expressivo no óleo essencial produzido da casca da laranja, ele é o responsável pelo odor que se pode sentir nas proximidades de uma planta de processamento de suco. Como pode ser notado, o D-limoneno no âmbito do processo de produção de suco de laranja, é um subproduto da cadeia produtiva. Ele é gerado tanto na produção de óleos essenciais como na sua própria obtenção quando da produção de farelo de polpa cítrica para ração animal ou para produção de pectina. No processo de fabricação de farelo, o D-limoneno é obtido diretamente do licor de prensagem da casca da laranja, bagaço e semente, após ajuste do pH com cal. Este licor produzido é enviado a uma conjunto de peneiras para a remoção de sólidos e posteriormente submetido ao processo de evaporação. Na etapa de concentração por evaporação, o D-limoneno é extraído misturado com o condensado do primeiro estágio do evaporador de múltiplo efeito. Este condensado é mantido sob decantação e o sobrenadante obtido é o D-limoneno. Ressalta-se que a produção brasileira anual de D-limoneno é de aproximadamente 50 mil toneladas (MARÓSTICA & PASTORE, 2007). Na Figura 2 podem ser visualizados, de forma esquemática, os dois subprocessos do processamento global da indústria cítrica nos quais o D-limoneno é obtido.

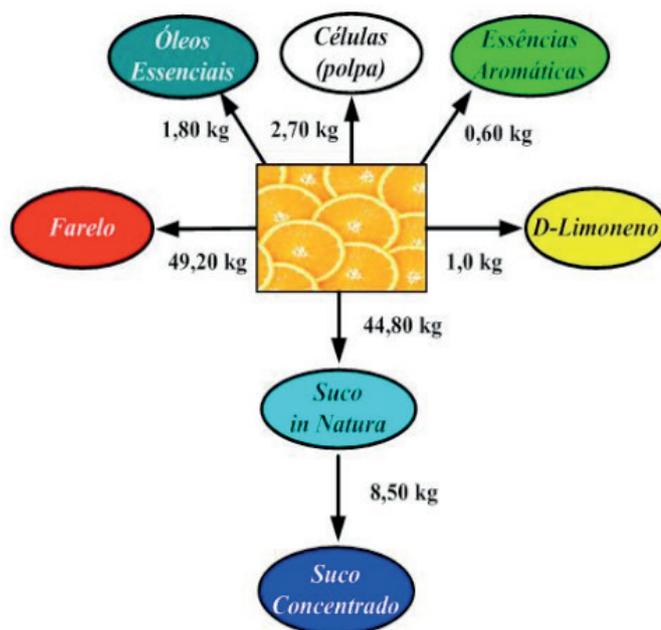


Figura 1. Quantidades teóricas de produtos e subprodutos obtidos no processamento da laranja para produção de suco.

Fonte: YAMANAKA (2005).

A vazão de efluentes gerada para tratamento depende diretamente do volume de produção de suco de laranja, sendo que a avaliação qualitativa e quantitativa do efluente cítrico permite a adequação do nível de tratamento necessário para atingir as características requeridas para o efluente final em cumprimento à legislação vigente, atendendo aos parâmetros normativos conforme a classificação do corpo d'água e os padrões de lançamento.

Os sistemas mais utilizados são lagoas facultativas aeróbias e anaeróbias ou uma combinação destas. Sistemas mais compactos podem ser encontrados tais como lodos ativados convencionais (PONEZI et al., 2005) e suas variantes e sistemas anaeróbios (reatores UASB) (ELNEKAVE et al., 2012). Como os efluentes gerados nas indústrias de sucos cítricos possuem alta carga orgânica, a remoção por via biológica torna-se realmente uma alternativa interessante, mas, um fator que pode prejudicar o tratamento é a presença de quantidades residuais de D-limoneno nos efluentes, agente bacteriostático, ou seja, um inibidor do crescimento bacteriano. O uso crescente de D-limoneno e sua presença em efluentes cítricos, bem como a escassez de informações sobre sua biodegradação, geraram a necessidade de estudar o destino ambiental destes resíduos bem como investigar processos biológicos eficazes para sua degradação.

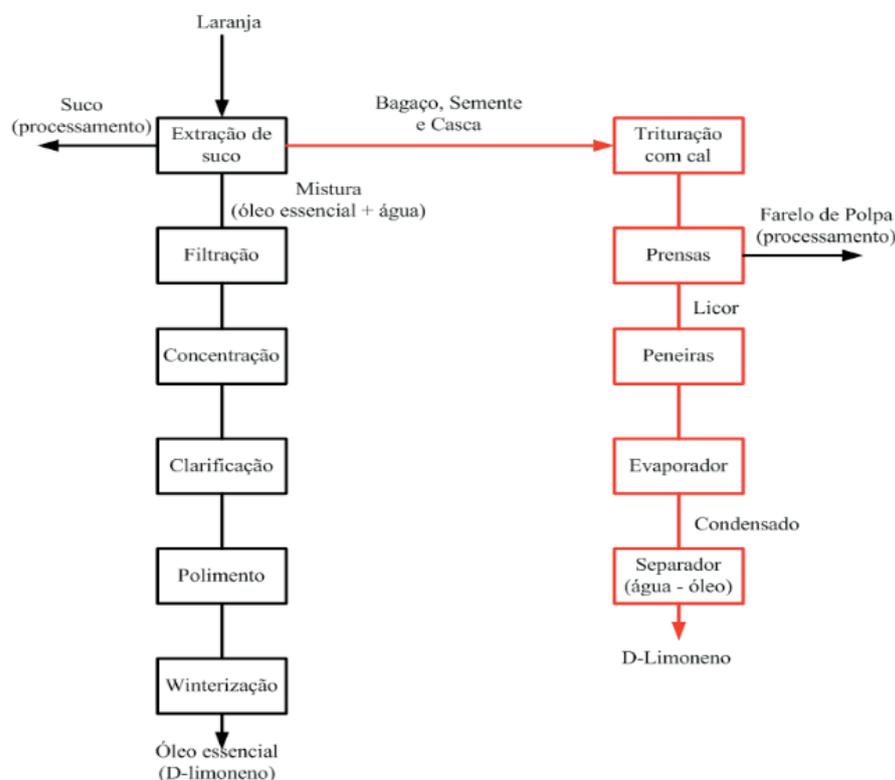


Figura 2. Subprocessos de produção de D-limoneno durante o processamento da laranja

Fonte: Autores.

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a degradação de D-limoneno em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) empregando diferentes suportes inertes (carvão mineral, espuma de poliuretano e brita) para imobilização da biomassa, bem como propor um modelo matemático visando descrever o comportamento do processo nas diferentes concentrações de D-limoneno aplicadas ao reator ($C_0 = 10\text{--}500 \text{ mg.L}^{-1}$).

3 | METODOLOGIA

O Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) em escala de bancada foi confeccionado em PVC com comprimento (L) de 150 cm e diâmetro interno (D) de 10 cm, resultando em uma razão $L/D = 15$. O reator possui volume total de 13,7 L, sendo 12 L de volume útil reacional e 1,7 L (10 % do total) destinados à separação do biogás gerado no processo. Amostradores intermediários foram distribuídos ao longo do comprimento do reator, espaçados de 30 cm, em posições correspondentes a L/D de 3, 6, 9, 12 e 15 (saída do reator) para coleta de amostras. Na Figura 3 está apresentado o esquema do aparato experimental utilizado nos ensaios.

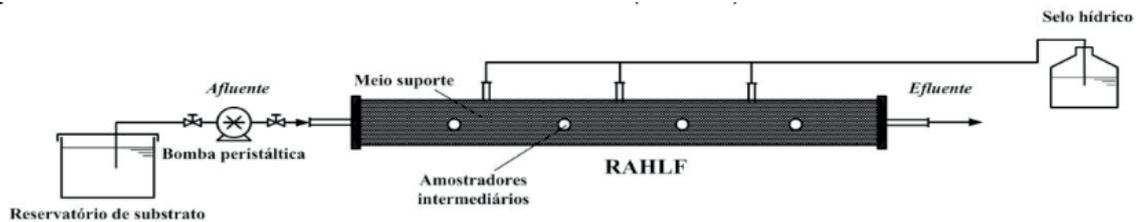


Figura 3. Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) em escala de bancada.

No interior do RAHLF foram introduzidos materiais inertes (carvão mineral, espuma de poliuretano e brita), os quais serviram como suporte para imobilização da biomassa anaeróbia. A inoculação do RAHLF foi realizada com 2,5 L de lodo anaeróbio de abatedouro de aves, sendo este mantido em contato com os materiais suportes em recipiente de 20L durante 48 horas, conforme ZAIAT et al., (1994). A alimentação do reator foi realizada por meio de bomba peristáltica em vazões de $0,125 \text{ L.h}^{-1}$ (TDH = 48 h) e $0,250 \text{ L.h}^{-1}$ (TDH = 24 h). O substrato foi preparado diluindo-se com água meio contendo D-limoneno (fonte orgânica), extrato de carne, bicarbonato de sódio, sendo que as concentrações de D-limoneno aplicadas ao reator variaram de 10 a 500 mg.L^{-1} . O monitoramento do RAHLF foi feito por meio da realização de perfis temporais consistindo na coleta e análise de amostras do afluente, efluente e dos pontos intermediários do reator. Estes perfis foram realizados após estabilização dos valores de DQO e AVT no efluente. O reator foi operado em sala climatizada,

com temperatura entre 24 e 26 °C.

Os parâmetros de qualidade analisados foram pH, temperatura, Demanda Química de Oxigênio (DQO) bruta e filtrada (membrana 1,2 µm), de acordo com APHA, (2005). As análises de Alcalinidade a Bicarbonato (AB) e Ácidos Voláteis Totais (AVT) foram realizadas conforme RIPLEY et al., (1986) e DILALLO & ALBERTSON, (1961). A determinação da concentração de D-limoneno nas amostras foi realizada por meio de cromatografia gasosa utilizando-se um equipamento CG Agilent 7890B, o qual foi acoplado a um espectrômetro de massas (Agilent 5977 A/MSD) com injetor automático PAL RSI 85, sendo hélio o gás de arraste.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo experimental

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os resultados experimentais do tratamento biológico para as diferentes concentrações de D-limoneno aplicadas ao reator ($C_0 = 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300, 400, 500$ mg/L). A partir destas tabelas, pode-se observar que a remoção de matéria orgânica foi satisfatória em todos os ensaios realizados. A estabilidade do processo foi confirmada pela geração de AB e conseqüente consumo de AVT. As faixas de valores de pH no efluente estiveram entre 7,1 e 7,4, enquanto que no afluente estiveram entre 7,2 e 7,5.

Conforme observado nas Tabelas 1 e 2, houve aplicação de várias concentrações de D-limoneno, reduzindo-se o TDH aplicado ao RAHLF de 48 para 24 horas, a partir de $C_0 = 50$ mg.L⁻¹. Assim, as concentrações de matéria orgânica submetidas ao reator foram crescentes para cada fase de operação. Durante as etapas experimentais, os valores médios de DQO no afluente estiveram entre 480 mg.L⁻¹ ($C_0 = 10$ mg.L⁻¹) e 1251 mg.L⁻¹ ($C_0 = 500$ mg.L⁻¹) para as amostras brutas (DQO total) e entre 703 mg.L⁻¹ ($C_0 = 10$ mg.L⁻¹) e 1038 mg.L⁻¹ ($C_0 = 500$ mg.L⁻¹) para as amostras filtradas (DQO filtrada).

Coleta	10 mg.L ⁻¹	20 mg.L ⁻¹	30 mg.L ⁻¹	40 mg.L ⁻¹	50 mg.L ^{-1*}	50 mg.L ^{-1**}
Alcalinidade Total (mg.L ⁻¹)						
Afluente	295±36	314±23	228±29	315±35	290±13	310±11
Efluente	340±42	349±31	339±25	359±24	346±17	340±17
Alcalinidade a Bicarbonato (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)						
Afluente	253±37	269±29	247±34	267±42	248±14	270±12
Efluente	300±39	313±38	306±22	326±28	308±15	299±16
Ácidos Voláteis Totais (mgHac.L ⁻¹)						
Afluente	59±10	63±9	58±9	66±10	59±3	57±10

Efluente	57±11	57±7	46±16	47±5	53±8	58±3
DQO _{Total} (mg.L ⁻¹)						
Afluente	480±28	514±33	549±21	590±8	665±27	641±11
Efluente	182±8	166±7	162±13	218±11	283±12	257±13
Eficiência (%)	62	68	70	63	57	60
DQO _{Filtrada} (mg.L ⁻¹)						
Afluente	456±37	476±40	504±43	456±22	644±26	616±14
Efluente	169±9	154±8	147±13	204±10	266±10	245±14
Eficiência (%)	65	70	73	65	60	62

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros calculados a partir de dados de 221 dias de operação do RAHLF sob diferentes concentrações de D-limoneno aplicadas ($C_0 = 5-50 \text{ mg.L}^{-1}$).

Legenda: *TDH = 48 h e **TDH = 24 h

Coleta	100 mg.L ⁻¹	200 mg.L ⁻¹	300 mg.L ⁻¹	400 mg.L ⁻¹	500 mg.L ⁻¹
Alcalinidade Total (mg.L ⁻¹)					
Afluente	301±27	304±39	293±16	296±19	321±19
Efluente	341±25	348±19	345±18	347±12	362±14
Alcalinidade a Bicarbonato (mgCaCO ₃ ⁻² .L ⁻¹)					
Afluente	260±27	260±45	251±16	250±21	280±18
Efluente	308±26	312±19	345±18	303±12	316±13
Ácidos Voláteis Totais (mgHac.L ⁻¹)					
Afluente	56±11	63±10	60±3	64±7	58±3
Efluente	47±10	52±5	54±6	62±6	64±2
DQO _{Total} (mg.L ⁻¹)					
Afluente	703±16	722±21	807±27	886±60	1251±120
Efluente	289±4	288±8	304±11	287±26	332±23
Eficiência (%)	59	60	62	68	73
DQO _{Filtrada} (mg.L ⁻¹)					
Afluente	684±13	703±16	792±24	838±57	1038±100
Efluente	276±7	272±19	292±15	271±25	312±29
Eficiência (%)	61	62	64	69	75

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros calculados a partir de dados de 221 dias de operação do RAHLF sob diferentes concentrações de D-limoneno aplicadas ($C_0 = 100-500 \text{ mg.L}^{-1}$) e TDH = 24 h.

Conforme as Tabelas 1 e 2, os valores médios de eficiência de remoção de matéria orgânica variaram entre 57% e 73% para as amostras brutas e entre 60% e 75% para as amostras filtradas. Estes valores de eficiência são satisfatórios uma

vez que a unidade de tratamento foi operada tendo apenas o D-limoneno como fonte principal de matéria orgânica, sendo este composto conhecido como um agente bacteriostático e inibidor.

Essa inibição causada pelo D-limoneno está relacionada à sua propriedade biocida (BAKKALI et al., 2008). Além disso, alguns autores relatam que o efeito inibidor nos microrganismos ocorre devido à diminuição do processo de fosforilação oxidativa nas células (CHARTTERJEE & BHATTACHRYA, 2001). Vários estudos são encontrados, especificamente, relatando o efeito do D-limoneno em diferentes grupos de bactérias pertencentes à digestão anaeróbia. Assim, D-limoneno é comprovadamente inibitório para *arqueas* metanogênicas e bactérias acidogênicas (hidrolíticas) (CASTILLEJOS et al., 2006). Bactérias metanogênicas acetoclásticas também são inibidas, enquanto que bactérias metanogênicas hidrogenotróficas são mais resistentes ao D-limoneno (CRANE et al., 1957).

Quanto aos parâmetros de qualidade do efluente tratado, os valores médios de DQO total ficaram entre $162 \pm 13 \text{ mg.L}^{-1}$ e $332 \pm 23 \text{ mg.L}^{-1}$ e de DQO filtrada entre $147 \pm 13 \text{ mg.L}^{-1}$ e $332 \pm 23 \text{ mg.L}^{-1}$. Ressalta-se que a proximidade dos valores de DQO total e filtrada no efluente indica que a quantidade de DQO particulada presente no meio líquido (sólidos suspensos) e/ou a perda de biomassa são reduzidas, resultado corroborado pelos baixos valores de SST e SSV no efluente, conforme atestam os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2.

4.2 Modelagem matemática do processo de degradação do D-limoneno

No desenvolvimento do modelo matemático para o processo, admitiu-se comportamento hidrodinâmico de fluxo pistonado ideal para o reator. Assim, o balanço de massa de D-limoneno em um elemento diferencial de volume do reator (dV) é dado por:

$$F + dF = F - (-R_{obs})dV \Rightarrow \frac{dF}{dV} = -(-R_{obs}) \quad (1)$$

O fluxo mássico de D-limoneno (F) ao longo do reator é dado pelo produto de sua concentração (C) pela vazão volumétrica de efluente (Q), isto é, $F=C.Q$. Desta forma, a expressão do balanço de massa de D-limoneno fica:

$$\frac{d(CQ)}{dV} = -(-R_{obs}) \Rightarrow Q \frac{dC}{dV} = -(-R_{obs}) \quad (2)$$

Considerando que $dV=A.dL$ (L =comprimento percorrido no reator) e que a vazão volumétrica de efluente (Q) é dada por $Q=\varepsilon.A.v_i$, onde ε é a porosidade do leito, A é a área da seção transversal do reator e v_i é a velocidade intersticial de

escoamento, a Equação (2) pode ser escrita como:

$$\varepsilon A v_i \frac{dC}{AdL} = -(-R_{obs}) \quad (3)$$

Multiplicando-se ambos os membros da Equação (3) pelo diâmetro do reator (D) e rearranjando-se, obtém-se:

$$D \frac{dC}{dL} = -\frac{D}{\varepsilon v_i} (-R_{obs}) \Rightarrow \frac{dC}{d(L/D)} = -\frac{D}{\varepsilon v_i} (-R_{obs}) \quad (4)$$

Em razão do comportamento experimental exibido pela concentração de D-limoneno ao longo do reator, admitiu-se, como primeira aproximação, uma cinética de 1ª ordem para representar a taxa de degradação do D-limoneno, isto é, $(-R_{obs}) = kC$. Assim:

$$\frac{dC}{d(L/D)} = -\left(\frac{D}{\varepsilon v_i}\right) kC \Rightarrow \frac{dC}{d(L/D)} = -k_{ap} C \quad (5)$$

Integrando-se a Equação (5) nos limites apropriados, obtém-se:

$$C = A e^{-k_{ap} (L/D)}, \quad k_{ap} = \left(\frac{D}{\varepsilon v_i}\right) k \quad (6)$$

Na Equação (6), A é o valor da concentração de D-limoneno na entrada do reator estimada pelo modelo e k_{ap} é a constante aparente de remoção de D-limoneno.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros estimados, seus respectivos desvios-padrão e valores da estatística p e do coeficiente de determinação (R^2) para avaliação da qualidade do ajuste do modelo matemático. De acordo com os dados apresentados nessa tabela, pode-se observar que os parâmetros do modelo foram estimados com boa precisão para todos os ensaios realizados uma vez que os respectivos desvios-padrão foram pequenos para todos eles. Com relação ao parâmetro k_{ap} , este mostrou-se dependente da concentração de alimentação (C_0) aplicada ao reator, apresentando um decaimento não linear com o aumento dessa concentração conforme mostrado na Figura 4, sugerindo haver uma inibição do processo de degradação do D-limoneno por excesso de substrato. Entretanto, estudos mais conclusivos sobre essa possível inibição devem ser realizados.

C_0 (mg/L)	A (mg/L)	k_{ap} (h ⁻¹)	R^2	p
10.3	10.31 ± 0.11	1.26 ± 0.16	0.99939	3.60539x10 ⁻⁷
19.5	19.51 ± 0.10	1.48 ± 0.14	0.99988	1.44179x10 ⁻⁸
26.8	26.75 ± 0.19	1.37 ± 0.14	0.99976	5.62453x10 ⁻⁸

45.2	45.20 ± 0.45	1.08 ± 0.08	0.99952	2.28353x10 ⁻⁷
48.2	48.16 ± 0.34	1.33 ± 0.13	0.99975	6.23203x10 ⁻⁸
53.5	53.52 ± 0.48	1.25 ± 0.13	0.99961	1.51074x10 ⁻⁷
114.2	114.18 ± 2.10	1.04 ± 0.14	0.99830	2.72074x10 ⁻⁶
241.4	240.92 ± 9.57	0.56 ± 0.07	0.99137	5.46533x10 ⁻⁵
328.8	326.34 ± 21.36	0.46 ± 0.08	0.97554	3.70622x10 ⁻⁴
431.0	429.61 ± 25.50	0.56 ± 0.10	0.98024	2.65786x10 ⁻⁴
504.8	491.81 ± 46.28	0.31 ± 0.06	0.94351	1.28000x10 ⁻³

Tabela 3. Valores calculados dos parâmetros (A , k_{ap}) e do coeficiente de determinação (R^2) e estatística p para o teste de falta de ajuste do modelo matemático proposto.

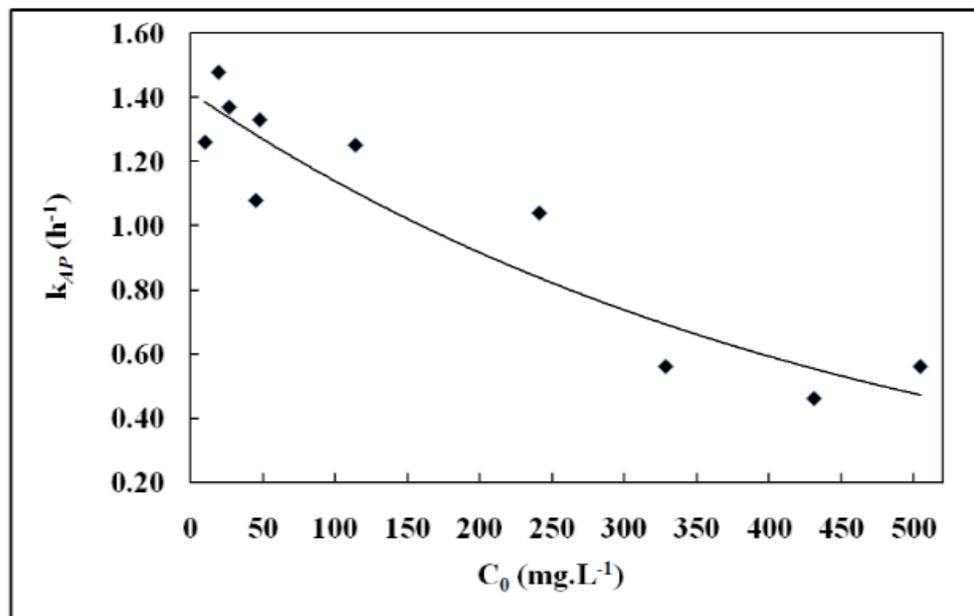


Figura 4. Comportamento da constante aparente de remoção de D-Limoneno (k_{ap}) em função da concentração de alimentação (C_0) aplicada ao RAHLF.

Os valores de R^2 acima de 0.94 indicam a boa qualidade do ajuste do modelo aos dados experimentais para todos os ensaios realizados, significando que 94% ou mais da variância em torno da média das observações experimentais é explicada pelo modelo matemático. Além disso, o modelo matemático foi avaliado pelo teste do valor p segundo o qual, a hipótese do modelo ser inadequado é rejeitada se o valor p for menor que o nível de significância (α) adotado para o teste, usualmente igual a 0.05. Assim, de acordo com os dados apresentados na Tabela 3, o teste de falta de ajuste do modelo foi negativo para todos os ensaios realizados. Além disso, na Figura 5 estão apresentados ilustrativamente gráficos de alguns dos ajustes produzidos pelo modelo matemático, comprovando que o modelo matemático proposto representa adequadamente o processo de degradação de D-limoneno em reator anaeróbio horizontal de leito fixo.

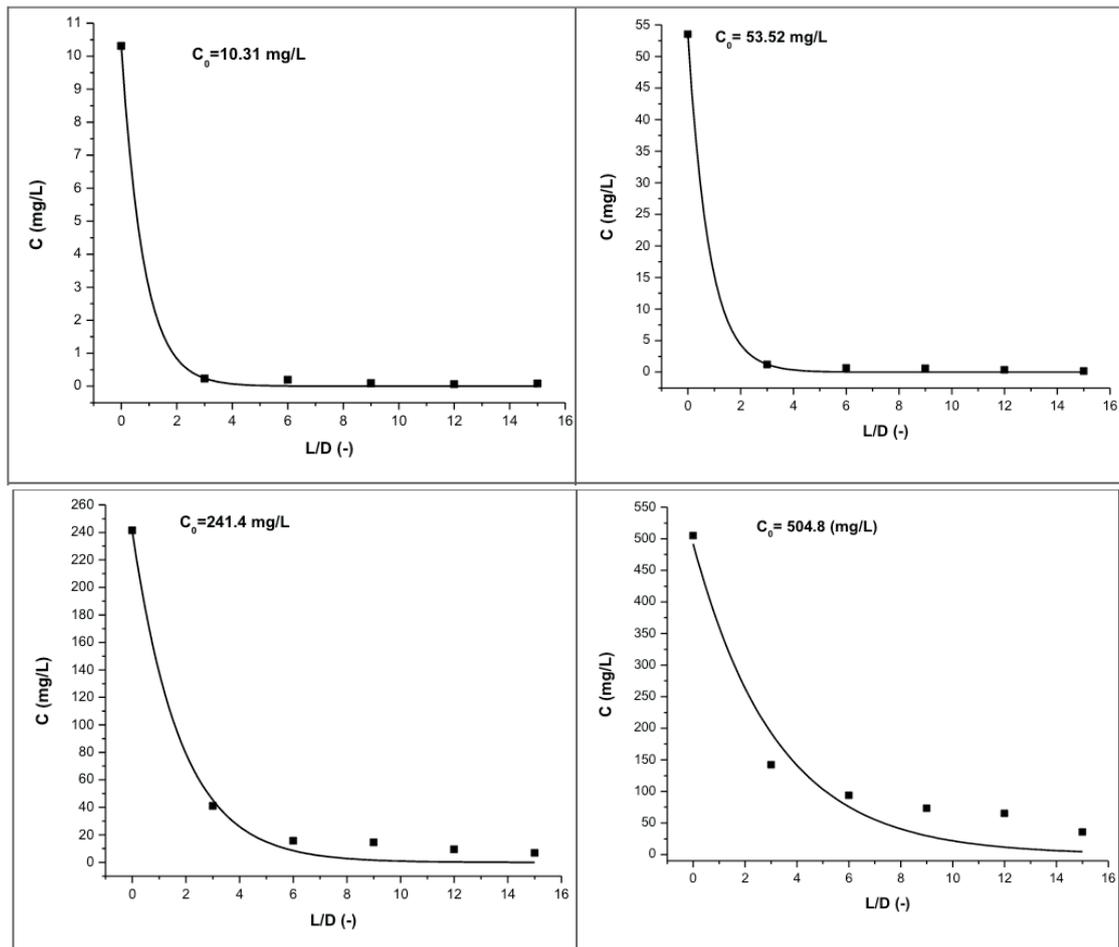


Figura 5. Gráficos ilustrativos da qualidade do ajuste do modelo matemático aos dados experimentais de degradação de D-limoneno em reator anaeróbico horizontal de leito fixo.

5 | CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos neste estudo, as seguintes conclusões podem ser realizadas:

- o tratamento de efluentes em Reator Anaeróbico Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) mostrou-se uma tecnologia bastante promissora para a remoção biológica eficiente de D-limoneno presente em efluentes industriais cítricos;
- o modelo matemático proposto mostrou-se adequado para descrever o processo de remoção de D-limoneno em RAHLF nas diferentes condições aplicadas ao reator.

REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WPCF (2005). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th edition. Washington. American Public Health Association, Washington.

BAKKALI, F., AVERBECK, S. AVERBECK, D., IDAOMAR, M. (2008). **Biological effects of essential oils – A review**. Food and Chemical Toxicology, 46: 446 – 475.

CASTILLEJOS, L., CALSAMIGLIA, S., FERRET, A. (2006). **Effect of essential oil active**

compounds on rumen microbial fermentation and nutrient flow in in vitro systems. J. Dairy Science. 89: 2649–2658.

CHARTTERJEE, T., BHATTACHARYYA, D.K. (2001). **Biotransformation of limonene by Pseudomonas putida.** Applied Microbiology Biotechnology, 55: 541–546.

CRANE, A., NELSON, W.O., BROWN, R.E. (1957). **Effects of D-limonene and a-D-pinene on in vitro carbohydrate dissimilation and methane formation by rumen bacteria.** Journal Dairy Science, 40:1317-1323.

DILLALO, R. & ALBERTSON, O.E. (1961) **Volatile Acids by Direct Tritation.** Journal WPCF, 33: 356-365.

ELNEKAVE M., CELIK, S.O., TATLIER M., TUFECKI, N. (2012). **Artificial Neural Network predictions of Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor performance in the treatment of citrus juice wastewater.** Polish Journal Environmental Studies, 21(1): 49-56.

FISHER, K., PHILLIPS, C. (2008). **Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer?** Trends Food Science Technology, 19: 156–164.

MARÓSTICA, M. R., PASTORE, G. M. (2007). **Biotransformação do limoneno: uma revisão das principais rotas metabólicas.** Química Nova, 20 (2): 382-387.

MOUFIDA, S., MARZOUK, B. (2003). **Biochemical characterization of blood orange, sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange.** Phytochemical, 62:1283–1289.

PONEZI, A. N., DUARTE, M. T. C., FILHO, B. C., FIGUEIREDO, R. F. (2005). **Análise da biodegradação dos componentes do óleo cítrico por CG/EM e análise da população microbiana de um reator de lodo ativado no tratamento de água residuária de uma indústria cítrica.** Engenharia Sanitária Ambiental, 10 (4): 278-284.

RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. (1986) **Improved Alkalimetric Monitoring for Anaerobic Digestion of High-Strength Wastes.** Journal WPCF, 58: 406-411.

YAMANAKA, T. H. (2005). **Sucos cítricos: Série Produção mais limpa.** CETESB, Edição ISBN, 47 páginas. Disponível em: < www.cetesb.sp.gov.br >. Acesso em: 14/12/2014.

ZAIAT, M., CABRAL, A.K.A., FORESTI, E. (1994) **Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo para Tratamento de Águas Residuárias: Concepção e Avaliação Preliminar de Desempenho.** Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Engenharia Química, 11: 33-42.

CHARTTERJEE, T., BHATTACHARYYA, D.K. (2001). **Biotransformation of limonene by Pseudomonas putida.** Applied Microbiology Biotechnology, 55: 541–546.

CRANE, A., NELSON, W.O., BROWN, R.E. (1957). **Effects of D-limonene and a-D-pinene on in vitro carbohydrate dissimilation and methane formation by rumen bacteria.** Journal Dairy Science, 40:1317-1323.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Água potável 27, 35, 189, 264, 293, 302, 303, 325, 336, 350

Águas subterrâneas 25, 26, 27, 30, 33, 36, 37, 54, 111, 112, 113, 115, 117, 118, 120, 121, 123, 174, 179, 318, 319, 322, 323, 324, 326, 336, 361

Água subterrânea 25, 35, 36, 112, 117, 118, 119, 120, 161, 175, 318, 319, 324, 325, 377

Análises 25, 27, 28, 35, 37, 38, 41, 43, 45, 49, 50, 56, 91, 126, 140, 141, 158, 164, 267, 271, 301, 302, 320, 321, 322, 324, 360, 370, 373, 376, 379

B

Biogás 38, 39, 40, 46, 47, 48, 49, 90

Busca exaustiva 1, 3, 4, 7, 20, 22, 23

C

Conservação 159, 161, 162, 163, 164, 171, 178, 179, 259, 264, 274, 275, 276, 277, 279, 280, 281, 283, 284, 287, 292, 303, 338, 342

D

Degradação dos solos 122

Desenvolvimento web 76, 78

Desperdício de água 293, 303

Destilador 293, 295, 296, 298, 301, 302

Digestor anaeróbio 38, 40, 43, 49

E

Educação ambiental 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 284, 290, 291, 292, 304, 338, 340, 342, 344, 345, 347, 348

Eficiência hídrica 293, 294

Erosão hídrica 122, 123, 124, 126, 129, 135

Erosão urbana 122

F

Fiscalização 140, 145, 146, 147, 148, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 261, 263, 264, 383

Fiscalização direta 145

Fiscalização indireta 145

G

Gestão da manutenção 136, 137, 138, 139, 143, 144

God 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121

H

Hidráulica de canais 76, 77, 78, 79, 85

I

Indicadores 100, 140, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 160, 176, 181, 241, 246, 292, 358
Inibição da atividade microbiana 38

L

Lodo físico-químico 38, 41, 42, 43, 47, 48

M

Manutenção evolutiva 136

Manutenção preventiva 136, 330, 335

Medidores estáticos 180, 181, 184, 189

Meio ambiente 75, 111, 116, 122, 123, 228, 229, 233, 235, 236, 237, 263, 264, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 281, 283, 284, 285, 289, 290, 291, 292, 293, 296, 303, 304, 326, 338, 339, 342, 344, 345, 347, 362, 382, 383

O

Otimização 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 38, 40, 147, 161, 162, 163, 212, 213, 239, 240, 247, 249, 256, 259

P

Planejamento 111, 125, 137, 139, 140, 143, 145, 146, 147, 155, 162, 228, 229, 230, 231, 236, 237, 246, 289, 305, 306, 308, 310, 315, 317, 326, 349, 351, 355, 356, 383

Poço artesiano 25, 27, 28, 29, 30, 31, 35

Q

Qualidade da água 25, 27, 30, 35, 36, 37, 74, 197, 296, 301, 302, 303, 318, 319, 325, 326, 364, 372

R

Redes de distribuição de água 1, 2, 4

Reuso de água 178, 247, 293

S

Submedição 100, 180, 181, 185, 187

Sulfato de alumínio 38, 41, 46, 47, 49, 50, 380

Sustentabilidade 111, 123, 162, 163, 179, 205, 206, 211, 235, 236, 274, 275, 277, 280, 285, 292, 296, 303, 304, 338, 351, 383

T

Tecnologia 22, 35, 37, 51, 52, 74, 76, 96, 98, 109, 168, 179, 180, 182, 188, 189, 212, 227, 238, 247, 259, 274, 299, 305, 308, 313, 316, 326, 360

V

Viabilidade 8, 161, 180, 181, 186, 187, 188, 189, 235, 261, 296

Vulnerabilidade 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 125, 181

 **Atena**
Editora

2 0 2 0