

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA SANITÁRIA 2**



**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA SANITÁRIA 2**



**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Amanda Costa da Kelly Veiga  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia sanitária 2 /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-537-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.379211310>

1. Engenharia sanitária. I. Paniagua, Cleiseano  
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa - Paraná - Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

O e-book: “Coleção desafios das engenharias: Engenharia Sanitária 2” é constituído por vinte e cinco capítulos de livros que foram devidamente selecionados por membros que integram o corpo editorial da Atena Editora. Diante disso, este e-book foi dividido em quatro unidades temáticas de grande relevância.

A primeira é constituída por sete capítulos que tratam da importância de se monitorar os parâmetros físico-químicos e biológicos da água destinada ao abastecimento público, provenientes de águas superficiais ou subterrâneas (poço artesiano). Por ser um recurso natural e cada vez mais escasso em termos de padrões de potabilidade, faz-se necessário a adoção de uma consciência coletiva que leve a redução do consumo *per capita* a nível mundial.

Os capítulos de 8 a 15 apresentam estudos que reforçam a importância de se investigar alternativas a fim de se estabelecer melhores condições de confinamento, destinação final e desaguamento do lodo gerado na ETA. Além disso, é apresentada a importância de melhorar e empregar técnicas de tratamento de efluente hospitalar e provenientes de instituições de ensino.

A terceira temática apresenta trabalhos que tratam da importância do conhecimento sobre resíduos na formação de futuros profissionais da biologia. Outro estudo apresenta a importância e o devido reconhecimento que os catadores de recicláveis representam para a sociedade e que contribuem para a política reversa de materiais recicláveis. Já outros trabalhos, procuram avaliar o uso de lodo de ETA e de rejeitos da mineração como matéria-prima a ser incorporada em substituição aos extraídos da natureza. Por fim, é apresentado um trabalho que validou uma metodologia QuEChERS-CLAE/FL na determinação do antibiótico Tetraciclina em cama de aviários.

O último tema é composto por quatro trabalhos que reportam a utilização de biomassa tanto para remoção de cor de águas residuárias, quanto como matéria-prima para a produção de bioetanol. Além disso, apresenta um trabalho que traz uma discussão em voga em relação aos possíveis riscos associados à utilização de agrotóxicos e por último um trabalho que trata do desenvolvimento de estratégias de *designs* para o reuso de espaços urbanos abertos para o público como espaços de acesso ao público.

Diante desta variedade de estudos, provenientes de pesquisadores (as) de diferentes partes do Brasil e com contribuições provenientes de pesquisadores de Portugal e da Itália, a Atena Editora publica e disponibiliza de forma gratuita em seu *site* e em outras plataformas digitais, contribuindo para a divulgação do conhecimento científico gerado nas instituições de ensino do Brasil e de outros países. Assim, a Atena Editora vem trabalhando, buscando, estimulando e incentivando cada vez mais os pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros ou capítulos de livros.



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS AO SISTEMA LAGUNAR DE ITAIPU-PIRATININGA**

Flávia Cipriano Dutra do Valle

Wilson Thadeu Valle Machado

Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113101>

### **CAPÍTULO 2..... 12**

#### **ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PINHAL - RS**


Ronaldo Sartoretto

Samuel Lunardi

Marcelle Martins

Dienifer Stahlhöfer

Willian Fernando de Borba

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113102>

### **CAPÍTULO 3..... 23**

#### **ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS: UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO**

Madalena Teixeira Soares

Manuel Santos da Costa

Mariano Carvalho de Souza

Marijara Serique de Almeida Tavares

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113103>

### **CAPÍTULO 4..... 36**

#### **OS INDICADORES AMBIENTAIS: MELHORIA NA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**

Yasmin Rodrigues Gomes

Lilian Levin Medeiros Ferreira da Gama

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113104>

### **CAPÍTULO 5..... 44**


#### **COMPARATIVO FINANCEIRO DO CONSUMO DE ÁGUA EM ESCOLAS NAS MICRORREGIÕES SERGIPANAS**

Zacarias Caetano Vieira

Carlos Gomes da Silva Júnior

Rayana de Almeida Novais


Paulo Cicero de Jesus Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113105>

**CAPÍTULO 6..... 55**

**DIMENSIONAMENTO DE BARRAGEM PARA O ABASTECIMENTO DE SÃO MATEUS-ES**


Aloísio José Bueno Cotta  
Renato Pereira de Andrade  
Honerio Coutinho de Jesus  
Paloma Francisca Pancieri de Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113106>

**CAPÍTULO 7..... 66**

**PROPOSTAS DE MELHORIAS NO SISTEMA CAPTAÇÃO, TRATAMENTO, ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NA ÁREA URBANA E RURAL NO MUNICÍPIO DE PATROCÍNIO, MG**


Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113107>

**CAPÍTULO 8..... 79**

**ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO CENÁRIO BRASILEIRO**


Lucas Rodrigues Bellotti  
Rosane Freire Boina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113108>

**CAPÍTULO 9..... 87**

**DESAGUAMENTO DE LODOS DE ETAs: EXPERIÊNCIAS BEM-SUCEDIDAS COM EMPREGO DE LEITO DE DRENAGEM**


Antonio Osmar Fontana  
João Sergio Cordeiro  
Cali Laguna Achon  
Marcelo Melo Barroso  
Renan Felício dos Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113109>

**CAPÍTULO 10..... 104**

**A IMPORTÂNCIA DA COBERTURA NA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA EM LEITOS DE DRENAGEM**

Renan Felício dos Reis  
Cali Laguna Achon  
João Sergio Cordeiro


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131010>

**CAPÍTULO 11..... 122**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DESAGUAMENTO DE LODO – ETA SANTA BÁRBARA (RS)**

Daniele Martin Sampaio  
Carlos Vinícius Caetano Gonçalves


Laone Hellwig Neitzel  
Karen Gularte Peres Mendes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131011>

**CAPÍTULO 12..... 135**

**QUANTIFICAÇÃO DO LODO GERADO DE DECANTADORES DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE GUARATINGUETÁ**


Paulo Ricardo Amador Mendes  
Ailton César Teles de Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131012>

**CAPÍTULO 13..... 142**

**SISTEMA DE CONFINAMENTO DE RESÍDUOS: ESTUDO DE CASO LODO DE ETA**


Denise de Carvalho Urashima  
Ana Paula Moreira de Faria  
Mag Geisielly Alves Guimarães  
Beatriz Mydori Carvalho Urashima  
Matheus Müller

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131013>

**CAPÍTULO 14..... 150**

**TRATAMENTO DE EFLUENTE HOSPITALAR EM REATOR TIPO UASB E FITOTOXICIDADE**

Roberson Davis Sá  
Fernando Rodrigues-Silva  
Paloma Pucholobek Panicio  
Yohannys Mannes  
Mariana Azevedo dos Santos  
Lidia Lima  
Lutécia Hiera da Cruz  
Liziê Daniela Tentler Prola  
Wanessa Algarte Ramsdorf  
Adriane Martins de Freitas  
Karina Querne de Carvalho  
Marcus Vinicius de Liz


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131014>

**CAPÍTULO 15..... 164**

**WETLANDS: UMA ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO NO INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE**

Carina Siqueira de Souza  
Halanna Moura de Souza  
Soanne Hemylle de Jesus Santos  
Thaise Kate Silva dos Santos  
Geovane de Mello Azevedo  
Maurício Santos Silva  
Felippe Matheus Silva Meneses

Florilda Vieira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131015>

**CAPÍTULO 16..... 176**

**A IMPORTÂNCIA DO COMPONENTE CURRICULAR “GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS” PARA A FORMAÇÃO ACADÊMICA DE UM BIÓLOGO: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA**

Regiane Gabriele Rocha Vidal

Beatriz dos Santos Souza

Dinalva Ribeiro de Oliveira

Juliana Maia Lima

Jannah Thalís da Silva Alves

Ana Caroline Barbosa de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131016>


**CAPÍTULO 17..... 185**

**CONDIÇÕES DE TRABALHO DOS CATADORES E CATADORAS DE CAXIAS DO SUL/RS APÓS 10 ANOS DE IMPLANTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Ana Maria Paim Camardelo

Nilva Lúcia Rech Stedile

Fernanda Meire Cioato

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131017>


**CAPÍTULO 18..... 196**

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL PARA EMPREGO NA COMPOSIÇÃO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE**

Jéssika Cosme

Daniel Pinto Fernandes

Gilberto Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131018>

**CAPÍTULO 19..... 205**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ETA COMO IMPERMEABILIZANTE DE OBRAS DE TERRA PARA A CONTENÇÃO DE RESÍDUOS**


Leonardo Marchiori

André Studart

Maria Vitoria Morais

Antônio Albuquerque

Victor Cavaleiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131019>


**CAPÍTULO 20..... 213**

**ANÁLISE DA SEGURANÇA HÍDRICA ASSOCIADA ÀS BARRAGENS DE REJEITOS NO NORDESTE BRASILEIRO**

Ana Nery de Macedo Cadete

Abmael de Sousa Lima Junior


Roberta de Melo Guedes Alcoforado  
Marcelo Casiuch  
Andresa Dornelas de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131020>

**CAPÍTULO 21..... 223**

OTIMIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA QuEChERS-CLAE/FL PARA A DETERMINAÇÃO DO ANTIBIÓTICO TETRACICLINA EM CAMA DE AVIÁRIO


Ismael Laurindo Costa Junior  
Letícia Maria Effting  
Luciane Effting

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131021>

**CAPÍTULO 22..... 241**

ANÁLISE DE RISCO ASSOCIADO AO USO DE AGROTÓXICOS - ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ESCADA, PERNAMBUCO, BRASIL.


Eduardo Antonio Maia Lins  
Fellipe Martins Maurício de Menezes  
Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha  
Sérgio Carvalho de Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131022>

**CAPÍTULO 23..... 249**

CASCA E BAGAÇO DA LARANJA COMO ADSORVENTE PARA REMOÇÃO DE COR DE ÁGUAS RESIDUAIS

Rayane de Oliveira Zonato  
Bianca de Paula Ramos  
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro  
Rosane Freire Boina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131023>

**CAPÍTULO 24..... 263**

POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE SISTEMA *WETLANDS* CONSTRUÍDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOETANOL.

Eduarda Torres Amaral  
Gisele Alves  
Gustavo Stolzenberg Colares  
Tiele Medianeira Rizzetti  
Rosana de Cassia de Souza Schneider  
Ênio Leandro Machado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131024>

**CAPÍTULO 25..... 270**

URBAN OPEN SPACES RE-USE: DESIGN STRATEGIES

Rossella Franchino  
Caterina Frettoloso  
Nicola Pisacane

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>282</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>283</b>

## OTIMIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA QUECHERS-CLAE/FL PARA A DETERMINAÇÃO DO ANTIBIÓTICO TETRACICLINA EM CAMA DE AVIÁRIO

Data de aceite: 01/10/2021

Data de Submissão: 10/09/2021

### Ismael Laurindo Costa Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Câmpus Medianeira  
Medianeira – PR  
<http://lattes.cnpq.br/8830429960630659>

### Letícia Maria Eftting

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Câmpus Medianeira  
Medianeira – PR  
<http://lattes.cnpq.br/6204146572736247>

### Luciane Eftting

Universidade Estadual de Londrina – UEL  
Londrina – PR.  
<http://lattes.cnpq.br/2910573141538159>

**RESUMO:** A cama de frango é um dos principais resíduos gerados na avicultura e sua principal destinação é o aproveitado como fertilizantes para solos cultiváveis. Dessa forma, pode contribuir para a dispersão de poluentes emergentes como os antibióticos residuais. O objetivo desse estudo foi adaptar, otimizar e validar um método QuEChERS/CLAE-FL para extração e quantificação do antibiótico tetraciclina (TCT) em cama de aviário. No desenvolvimento da metodologia foi aplicado um planejamento fatorial  $2^3$  inicial e na otimização o delineamento composto central rotacional (DCCR)  $2^3$ . As variáveis estudadas massa  $MgSO_4$ , massa de NaCl e volume de  $H_2O$ . Aliquotas da matriz cama

de aviário foram fortificadas com solução padrão de TCT e posteriormente submetidas as etapas de extração e detecção pelo método em estudo. A avaliação dos planejamentos experimentais considerou a análise de variância (ANOVA) e o estudo da falta de ajuste ao nível de 95% de confiança para o modelo quadrático. Na validação foram avaliados os parâmetros de desempenho efeito matriz, linearidade, seletividade, precisão, exatidão, limite de detecção e quantificação. O modelo quadrático ajustou-se satisfatoriamente aos dados, sugerindo que a melhor condição para a recuperação da TCT em cama de aviário foi a combinação de 2,96 g de  $MgSO_4$ , 1,02g de NaCl e 9,57 mL de  $H_2O$ , com recuperação prevista de 100,53%. O método apresentou linearidade, seletividade e exatidão adequada, com recuperações médias de 99,3% do analito estudado. O valor obtido de limite de detecção é de  $20 \mu g L^{-1}$  e de limite de quantificação de  $60 \mu g L^{-1}$ . A validação realizada permitiu considerar que o método QuEChERS-CLAE/FL é satisfatório e apresenta as características de desempenho necessárias, sendo adequado para a pesquisa de resíduos de TCT em cama de aviário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poluentes emergentes. Antibióticos. Métodos analíticos. Delineamentos experimentais. Validação analítica.

### OPTIMIZATION AND VALIDATION OF THE QUECHERS-HPLC/FL METHODOLOGY FOR THE DETERMINATION OF TETRACYCLINE IN POULTRY LITTER

**ABSTRACT:** Chicken litter is one of the main residues generated in poultry farming and its main destination is used as fertilizer for arable soils.

Thus, it can contribute to the dispersion of emerging pollutants such as residual antibiotics. The aim of this study was to adapt, optimize and validate a QuEChERS/HPLC-FL method for extraction and quantification of tetracycline antibiotic (TCT) in aviary litter. In the development of the methodology an initial 2<sup>3</sup> factorial design was applied and, in the optimization, the central composite rotational design (DCCR) 2<sup>3</sup>. The studied variables were MgSO<sub>4</sub> mass, NaCl mass and H<sub>2</sub>O volume. Aliquots of the poultry bed matrix were fortified with standard TCT solution and later submitted to the extraction and detection steps by the method under study. The evaluation of the experimental designs considered the analysis of variance (ANOVA) and the study of the lack of adjustment at the 95% confidence level for the quadratic model. In the validation, the matrix effect performance parameters, linearity, selectivity, precision, accuracy, detection limit and quantification were evaluated. The quadratic model fits the data satisfactorily, suggesting that the best condition for TCT recovery in poultry litter was the combination of 2.96 g of MgSO<sub>4</sub>, 1.02 g of NaCl and 9.57 mL of H<sub>2</sub>O, with recovery forecast of 100.53%. The method presented adequate linearity, selectivity, and accuracy, with mean recoveries of 99.3% of the studied analyte. The detection limit value obtained is 20 µg L<sup>-1</sup> and the quantification limit 60 µg L<sup>-1</sup>. The validation performed allowed to consider that the QuEChERS-HPLC/FL method is satisfactory and presents the necessary performance characteristics, being suitable for the research of TCT residues in aviary litter.

**KEYWORDS:** Antibiotics. Analytical methods. Experimental designs. Analytical validation.

## 1 | INTRODUÇÃO

A contaminação de recursos naturais principalmente por compostos xenobiontes tem levantado preocupações ambientais quanto a ocorrência das substâncias denominadas poluentes ou contaminantes orgânicos emergentes (POEs). Estes são compostos de origem sintética ou natural, dos quais os efeitos e a presença no ecossistema ainda são poucos conhecidos, e assim não integram os programas de monitoramento, e tão pouco estão inseridos em normativas e legislações de controle ambiental (PAVITHRA et al., 2021; NATARAJAN et al., 2021; PRASANNAMEDHA et al., 2021). São considerados poluentes emergentes substâncias empregadas em produtos de limpeza e higiene pessoal, compostos utilizados na produção de resinas e plásticos, fármacos como analgésicos, antibióticos, anti-inflamatórios, hormônios sintéticos, os hormônios naturais, entre outros (RATHI et al., 2021; GAVRILESCU et al., 2015).

Os fármacos são considerados contaminantes emergentes pois suas moléculas são biologicamente ativas, a grande maioria possui características lipofílicas e frequentemente apresentam baixa biodegradabilidade, além de grande potencial de persistência ou pseudo-persistência no meio ambiente (AMÉRICO et al., 2013). Essas substâncias não têm limites ambientais estabelecidos e pouco se conhece sobre processos de transformação nas matrizes ambientais e os possíveis efeitos que podem ocasionar (PAVITHRA et al., 2021; NATARAJAN et al., 2021; PRASANNAMEDHA et al., 2021).

Produtos farmacêuticos são amplamente utilizados tanto na medicina humana



quanto na veterinária, onde se destinam ao tratamento de doenças infecciosas ou como aditivos alimentares. A quantidade do fármaco excretado pelos organismos animais varia com tipo de substância, a dosagem, a idade e a espécie, entre outros fatores. Dependendo das circunstâncias, cerca de 95% dos ingredientes ativos administrados aos animais podem ser integralmente eliminados, sem sofrer metabolização no organismo e mesmo quando a molécula é metabolizada, alguns produtos de degradação podem permanecer bioativos (PANDEY, et al. 2021; PAVANI, 2011; FIGUEIREDO, 2015; REGITANO; LEAL, 2010).

A produção de animais de forma intensiva contribui para a dispersão destes compostos no meio ambiente em grande quantidade, uma vez que durante o processo de criação são realizadas várias aplicações de medicamentos. A criação de aves de corte de forma intensiva é feita em galpões conhecidos como aviários. Neste tipo de criação é possível o manejo de grande quantidade de aves por lotes, que geralmente variam de 30 a 45 dias, e geram grande quantidade de resíduo conhecido como cama de aviário, cama de frango, ou esterco (PANDEY, et al. 2021; FIGUEIREDO, 2015).

A cama de aviário é o material constituído pelas dejeções e penas das aves, restos de rações e pelo material orgânico absorvente da umidade usado sobre o piso do galpão, sendo que este pode ser muito diverso, casca de arroz, casca de amendoim, maravalha de madeira, papel entre outros (PANDEY, et al. 2021; GARCIA et al., 2012). Durante o ciclo de produção, as dejeções dos animais são misturadas ao material usado como substrato e, no final do ciclo, obtém-se a cama de aviário, que pode ser retirada ou reaproveitada no lote seguinte, sendo manejada para controlar o nível de umidade, a produção de pó, exposição a agentes transmissores de doenças e prevenção a proliferação de insetos (GARCIA et al., 2012; FIGUEIREDO, 2015).

A principal forma de aproveitamento deste substrato é como adubo para solos cultiváveis. Contudo, do ponto de vista ambiental, há restrições ao aproveitamento deste resíduo, pois este pode ser um poluente do solo e das águas superficiais e subterrâneas devido aos resíduos de medicamentos que podem estar presentes neste substrato, além de outros poluentes convencionais. A detecção de antibióticos em matrizes ambientais vem sendo reportada em diversos estudos (Tabela 1) e pode ocasionar o aparecimento de microrganismos resistentes. Tal fato, representa um problema de saúde pública, uma vez que aumentam o número de doenças infecciosas sem tratamento, que demandam de novos compostos de amplo espectro e consequentemente mais caros (LOUREIRO et al., 2016; JANSEN et al., 2019).

Os antibióticos constituem uma classe de fármacos de extrema importância para a saúde, são usados extensivamente na medicina com finalidade de prevenir ou tratar infecções microbianas. Dentre eles, encontra-se a classe das tetraciclinas, que correspondem à maior categoria de fármacos utilizados na medicina humana e veterinária, para fins terapêuticos ou de profilaxia (OCAMPO-PEREZ et al., 2012).

Este antibiótico é amplamente utilizado tanto na medicina humana quanto veterinária,

por causa do seu amplo espectro de ação e de suas vantagens financeiras. Também é utilizada como aditivo na alimentação de animais confinados para aumentar a taxa de crescimento deles. Considerando que absorção da tetraciclina é de 60 a 80%, a substância não metabolizada é eliminada pelas fezes e urina, e sem o devido tratamento de remoção podem ser inseridas como poluente de matrizes ambientais (ADDAMO et al., 2005; JAVID et al., 2016; OKA; ITO; MATSUMOTO, 2000).

Antibiótico	Concentração	Amostras	Deteção analítica	Referência
<b>Clortetraciclina e 4-epi-clortetraciclina</b>	179,45 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Após 25 dias sem tratamento)	Excrementos de frangos de corte	CLAE-MS	Yévenes et al., (2018).
<b>Tetraciclina</b>	160 a 763 $\mu\text{g kg}^{-1}$	Excrementos de frangos	CLAE-UV	Alavi et al., (2015),
<b>Tetraciclina</b>	0,64 a 5,68 $\mu\text{g L}^{-1}$	Água superficial, efluente sanitário bruto e efluente sanitário tratado	CLAE-DAD	Agunbiade e Moodley, (2014).
<b>Monensina</b> <b>Salinomicina e Narasina</b>	4000 a 22000 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 230 a 4000 $\mu\text{g kg}^{-1}$	Cama de frango	CLAE-MS	Sun et al., (2013).
<b>Monensina</b> <b>Lasalocida</b> <b>Salinomicina</b> <b>Narasina</b>	97,8 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 19,2 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 70,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 57,3 $\mu\text{g kg}^{-1}$	Cama de frango	CLAE-MS	Biswas et al, (2012).

CLAE-MS: Cromatografia líquida com espectrometria de massa;

CLAE-UV: Cromatografia líquida com detector de arranjo de fotodiodos;

CLAE-DAD: Cromatografia líquida com detector de arranjo de diodos.

Tabela 1. Concentrações de fármacos detectados em matrizes ambientais.

Considerando o risco da inserção desses poluentes no ambiente, novos métodos de extração passaram a ser desenvolvidos. Métodos de extração de multiresíduos, como o método QuEChERS, que é acrônimo para *Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe*, representando suas principais características, por ser considerado rápido, fácil, de baixo custo, eficiente, robusto e seguro, foi proposto por Anastassiades et al., em 2003, criado inicialmente para a detecção de resíduos de pesticidas em frutas e vegetais, aliado aos avanços nas técnicas analíticas cromatográficas de detecção e quantificação oportunizaram estudos de determinação de fármacos e outros compostos em diversas matrizes mesmo que em concentrações muito pequenas.

O método QuEChERS quando comparado com os métodos tradicionais de extração padrão, apresenta as vantagens de uma alta taxa de recuperação do analito, alta precisão e exatidão que podem ser calibradas pelo método de padrão interno, uma ampla quantidade de

compostos que podem ser estudados, uma velocidade rápida de processamento de amostra, baixa quantidade de solvente, baixa poluição e o baixo preço da operação, além de ser um procedimento fácil com equipamentos simples (YAO et al., 2021).

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo contribuir para o diagnóstico da contaminação de recursos ambientais por fármacos, por meio do desenvolvimento, otimização e validação das condições de extração da tetraciclina em cama de aviário avaliando as variáveis volume de solvente extrator, quantidade de cloreto de sódio e quantidade de sulfato de magnésio para o método QuEChERS e determinação por CLAE-FL (Cromatografia líquida de alta eficiência com detector de fluorescência).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 REAGENTES, PADRÕES E SOLUÇÕES

O fármaco TCT foi adquirido na forma de padrão analítico (Sigma-Aldrich®) com pureza de  $\geq 95,0\%$ . Foram preparadas soluções estoque desse fármaco a  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ , avolumadas em água ultrapura (Milli-Q), e conservadas a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  sob refrigeração, protegidas da luz. Para o desenvolvimento do método de extração QuEChERS utilizou-se Sulfato de magnésio P.A. ( $\text{MgSO}_4$ , Didática®), Cloreto de sódio anidro P.A. ( $\text{NaCl}$ , Didática®), acetonitrila ( $\text{CH}_3\text{CN}$ , J.T.BAKER®) e água ultrapura (Milli-Q).

### 2.2 DETERMINAÇÕES POR CLAE-FL

Na análise dos extratos obtidos pelo método de extração QuEChERS para quantificação da foi utilizado um cromatógrafo líquido marca Dionex modelo "U3000" equipado com detector de fluorescência e coluna Acclaim™ 120 C18 de fase reversa ( $4,6 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ ,  $5 \text{ }\mu\text{m}$ ). A fase móvel utilizada foi uma mistura de água ultra-pura e trietilamina ( $0,1 \text{ }\%$ ) e acetonitrila, na proporção  $90:10 \text{ (}\% \text{ v/v)}$ , com vazão de  $1 \text{ mL min}^{-1}$ . O sinal analítico da tetraciclina foi selecionado por meio da varredura espectral dos comprimentos de onda para absorção e emissão fluorescente do fármaco, usando uma solução padrão do analito.

Os parâmetros de comprimento de onda do detector de fluorescência foram  $270 \text{ nm}$  de excitação e  $520 \text{ nm}$  de emissão. A temperatura da coluna foi mantida em  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , com uma pressão  $142 \text{ bar}$  e o volume de amostra injetado foi de  $20 \text{ }\mu\text{L}$ . A concentração do analito TCT nos extratos foi determinada por meio de calibração obtida pela da equação do ajuste linear (concentração *versus* área do pico) e a recuperação calculada pela Equação 1.

$$\% \text{Recuperação} = \frac{C_2}{C_1} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde  $C_1$  é a concentração em  $\mu\text{g mL}^{-1}$  prevista com base na fortificação e avolumagem final e  $C_2$  a concentração em  $\mu\text{g mL}^{-1}$  determinada por meio do instrumental e da curva de

calibração.

## 2.3 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE CAMA DE AVIÁRIO

Para o desenvolvimento do protocolo de extração do método QuEChERS e realização dos ensaios de validação analítica, foram empregadas alíquotas de cama de frango coletadas em aviários de aves de corte localizados no município de Medianeira – PR. Aproximadamente 1 kg de cama foi revolvido com auxílio de pá e enxada metálicas e acondicionado em pacote plástico previamente higienizado. No laboratório, as amostras foram secas em estufa a 80 °C por 24 h e peneiradas em malha de 53  $\mu\text{m}$ , para melhor homogeneidade. Posteriormente, estocadas em frascos fechados e mantidos sob refrigeração em congelador.

Foram realizadas análises físico-químicas para determinação do teor de umidade, cinzas e matéria orgânica volátil, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), além da densidade aparente. Os experimentos foram realizados em triplicata com amostras de cama *in natura* na faixa de 1 g. O ensaio da caracterização de umidade foi realizado pelo método de secagem direta em estufa a 105 °C pelo princípio de perda por dessecação. O teor de cinzas e de matéria orgânica volátil foi determinado por incineração com aquecimento da amostra a 550 °C em mufla.

A densidade aparente foi determinada por meio da relação peso/ volume da cama de aviário em uma proveta. As amostras foram introduzidas em proveta de 50 mL e foram submetidas a leves batidas laterais até não se observar mais variação no volume, e este foi medido. O conjunto foi pesado em balança analítica e o peso da proveta foi diminuído, para se obter a massa da amostra (LIMA; MARSHALL, 2005).

## 2.4 DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO DE EXTRAÇÃO PELO MÉTODO QuEChERS

Os procedimentos para isolamento do analito foram baseados em extração pelo método QuEChERS e uso de tratamentos auxiliares e complementares baseados em agitação e centrifugação, avaliados por ferramentas quimiométricas. Aproximadamente 500 mg de amostra de cama de aviário foram inseridas em tubos Falcon e fortificadas com 100  $\mu\text{L}$  da solução estoque de TCT 1000 mg L<sup>-1</sup>. Após 24 h, para efetiva interação do analito com a matriz, acrescentaram-se os solventes água e acetonitrila, e realizou-se a homogeneização por 30 s, com auxílio do vórtex. Na sequência, acrescentaram-se os sais de QuEChERS (MgSO<sub>4</sub> e NaCl).

Tanto os solventes quanto os sais foram administrados nas quantidades definidas para os delineamentos experimentais em cada etapa. A homogeneização da mistura ocorreu por agitação em vórtex durante 1 min. Posteriormente, as amostras eram centrifugadas por 5 min a 2000 rpm. O extrato superior e orgânico foi colhido com micropipeta e limpo em filtro de seringa 0,22  $\mu\text{m}$  (nylon, Chromafil®), para a quantificação do analito por CLAE-FL. O protocolo de extração também foi efetuado com alíquotas de cama de aviário sem fortificação

de TCT para a obtenção de brancos.

### 2.4.1 Otimização do protocolo de extração

Para o estudo da influência das variáveis envolvidas na recuperação do analito usando o método QuEChERS os fatores quantidade de  $MgSO_4$  (g) e  $NaCl$  (g) e volume de  $H_2O$  (mL) foram as variáveis selecionadas. Inicialmente, elaborou-se um planejamento fatorial  $2^3$  com 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios (Tabela 2). Para otimização das condições o mesmo foi deslocado e expandido para um delineamento composto rotacional (DCCR) constituído de um fatorial  $2^3$  com dois níveis (-1 e +1), com 3 repetições no ponto central (0) e acrescidos os pontos axiais (-1,68 e +1,68), totalizando 17 ensaios (Tabela 2). A resposta utilizada foi o percentual de recuperação do analito para cada ensaio.

Variáveis Independentes	Níveis codificados e reais							
	Planejamento $2^3$			DCCR				
	-1	0	+1	-1,68	-1	0	+1	+1,68
$MgSO_4$ (g)	2,5	4,0	5,5	0,98	2	3,5	5,0	6,02
$NaCl$ (g)	0,5	1,0	1,5	0,16	0,5	1,0	1,5	1,84
$H_2O$ (mL)	6,0	8,0	10,0	6,64	8,0	10,0	12,0	13,46

Tabela 2. Planejamentos fatorial inicial completo  $2^3$  e DCCR  $2^3$  para o QuEChERS.

O programa computacional *Statistica* 10.0 foi utilizado na análise estatística mediante ajuste de modelo aos dados experimentais, assim como a obtenção de curvas de níveis e a otimização. A validação do modelo mais adequado foi realizada com base na Análise da Variância (ANOVA) das regressões e verificação da falta de ajuste, a otimização foi realizada pela análise da superfície de resposta obtida com identificação das condições ótimas para a extração.

## 2.5 VALIDAÇÃO DO MÉTODO QuEChERS PARA DETERMINAÇÃO DE TCT EM CAMA DE AVIÁRIO

Após otimização do método QuEChERS onde foram obtidas as melhores condições para as variáveis quantidade de  $MgSO_4$  e  $NaCl$  e volume de  $H_2O$ , triplicatas da matriz cama de aviário, secas e peneiradas, passaram pelo processo de extração (Figura 1).

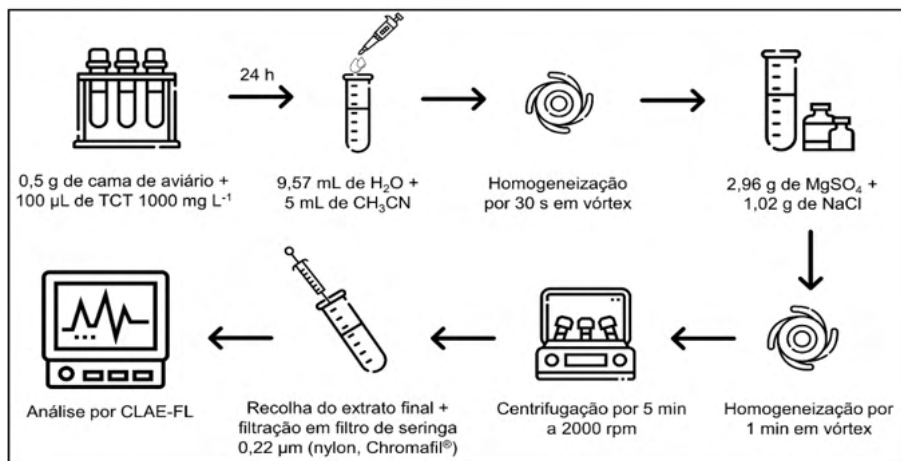


Figura 1. Protocolo de extração do método QuEChERS.

### 2.5.1 Estudo do Efeito Matriz

Para avaliar o efeito matriz sob a sensibilidade do método analítico foram obtidos extratos da amostra de cama de aviário. Foram preparadas duas curvas de calibração na faixa de 0,5 a 10,5 mg L<sup>-1</sup> do fármaco TCT com seis pontos em triplicata, usando na primeira os extratos da matriz cama de aviário contendo os componentes da extração QuEChERS e na segunda o solvente orgânico acetonitrila. Os coeficientes angulares obtidos para a matriz e o solvente, bem como a sua razão, foram considerados na avaliação do efeito matriz.

### 2.5.2 Validação do Método

A seletividade do método QuEChERS com determinação por CLAE-FL foi avaliada pela inspeção dos cromatogramas mediante a verificação da presença ou ausência de picos de compostos interferentes, eluidos no mesmo tempo de retenção do analito de interesse. A linearidade foi verificada mediante o preparo de curvas com seis pontos em triplicatas reais ( $n=3$ ) na faixa de 0,5 a 10,5 mg L<sup>-1</sup>. Para a avaliação da linearidade foi aplicada a análise de regressão com ANOVA e teste de falta de ajuste ao nível de 95% de confiança usando software estatístico (Minitab 16.2.2).

Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram determinados através do desvio padrão do intercepto ( $Std$ ) das curvas de calibração na presença da matriz e do coeficiente angular ( $m$ ) (Eq. 2 e Eq. 3), de acordo com a IUPAC (LONG E WINEFORDNER, 1983), em que  $Std$  é o desvio padrão da leitura de dez brancos e  $m$  o coeficiente angular da curva analítica.

$$LD = \frac{3Std}{m} \quad \text{Equação 2}$$

$$LQ = \frac{10Std}{m} \quad \text{Equação 3}$$

Para o estudo da exatidão, triplicatas das amostras com aproximadamente 0,5 g de cama de aviário (n= 3) foram adicionadas a tubos Falcon e fortificadas com alíquotas da solução de trabalho em três níveis de concentração, 5,0 mg kg<sup>-1</sup>, 50,0 mg kg<sup>-1</sup> e 95,0 mg kg<sup>-1</sup>. Após, as amostras foram submetidas ao procedimento de extração e a concentração determinada por CLAE-FL. A exatidão foi calculada com base nas concentrações previstas e determinadas, sendo expressa em porcentagem (Eq. 4).

$$\%R = \frac{\text{Concentração medida} - \text{Concentração inicial}}{\text{Concentração fortificada}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

A precisão do método foi avaliada nos níveis de repetibilidade. Para tal, 0,5 gramas de amostra foi fortificada com 50,0 mg kg<sup>-1</sup> da solução de trabalho de TCT na concentração de 50 mg L<sup>-1</sup>. Depois foram processadas segundo as condições otimizadas do protocolo proposto e as concentrações determinadas em duas bateladas (n= 6) em um mesmo dia para a repetibilidade. A avaliação ocorreu a partir do cálculo de desvio padrão relativo (*RSD*) ou coeficiente de variação (*CV*) (Eq. 5).

$$CV = \frac{S}{x} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATRIZ CAMA DE AVIÁRIO E DO ANALITO TETRACICLINA

Diversos fatores influenciam na composição química e física da cama de aviário, desde o número de lotes criados na mesma cama, ao tipo de material utilizado como substrato, a idade de abate dos animais, a conversão alimentar e o tipo de alimentos dos frangos, a umidade do material absorvente, e as condições climáticas ocorridas durante o confinamento. Os parâmetros umidade, sólidos totais, cinzas e matéria orgânica volátil foram expressos em porcentagem são apresentados na Tabela 3. A densidade aparente determinada por meio da relação peso/volume da matriz em uma proveta, resultou em 0,45 g cm<sup>-3</sup>.

Parâmetro	Teor (%)
Umidade	20,03 %
Sólidos totais	79,97 %
Cinzas*	57,06 %
Matéria orgânica volátil*	42,94 %

\*Calculados sobre os sólidos totais.

Tabela 3. Características físico-químicas da matriz cama de aviário usada nos ensaios.

A matriz estudada apresentou umidade de 20,03%, porém dependendo das condições citadas este teor, como os demais, podem variar significativamente. A elevada fração de material a base de celulose e detritos que compõem a matéria orgânica pode favorecer a adsorção de compostos como os antibióticos e nutrientes presentes na excreta das aves e dessa forma atuar juntamente com o pH nos mecanismos de mobilidade quando a cama de aviário interage com o solo, água da chuva por exemplo (NEITZKE, 2010).

Na caracterização cromatográfica da TCT, a solução aquosa do fármaco apresenta uma banda máxima de absorção em 255 nm e uma banda máxima de emissão em 550 nm. Os valores de bandas máximos obtidos são próximos aos encontrados por Carlotti et al., (2010) (banda de absorção máxima em 267 nm, e um faixa máxima de emissão em 520 nm), em um estudo sobre as propriedades de sete antibióticos derivados do grupo tetraciclina, dentre eles a tetraciclina, em solução aquosa e em diversos solventes orgânicos, como a acetonitrila, usando a técnica de detecção em fluorescência. A Figura 2 mostra o cromatograma obtido por CLAE-FL para o analito em solvente acetonitrila na concentração de 5 mg L<sup>-1</sup>. O tempo de eluição da TCT para as análises foi de 2,1 minutos.

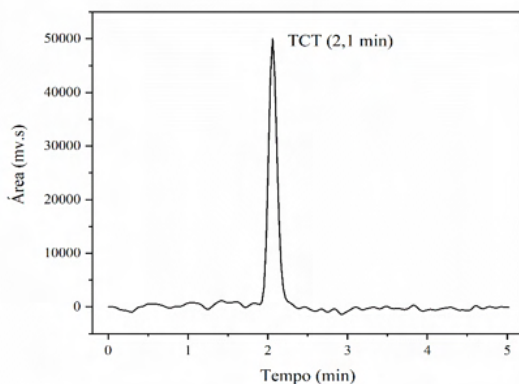


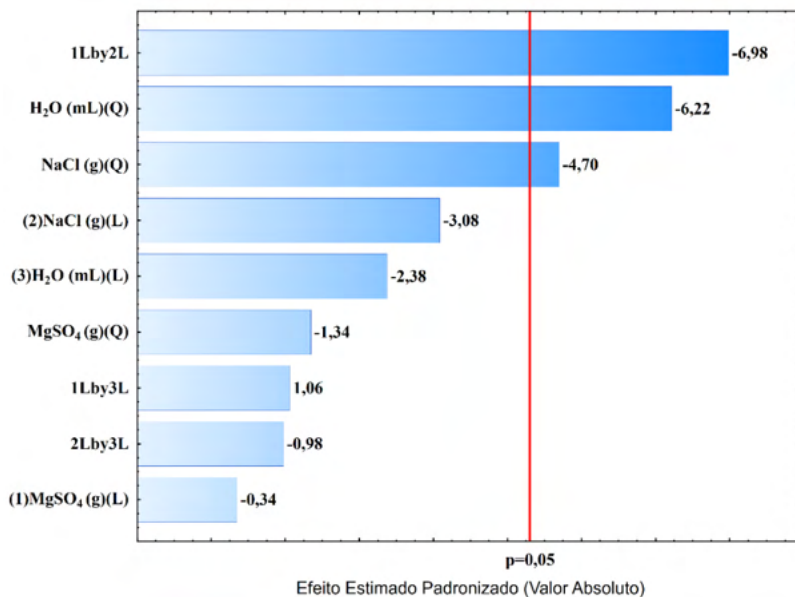
Figura 2. Cromatograma do tempo de eluição em solução padrão de TCT 5 mg L<sup>-1</sup> em absorção = 255 nm e emissão = 550 nm.

### 3.2 OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EXTRAÇÃO PARA O MÉTODO QuEChERS

No Planejamento experimental fatorial 2<sup>3</sup> inicial foi verificada melhor recuperação do analito com 5,5 g de MgSO<sub>4</sub>, 1,5 g de NaCl e 10 mL de H<sub>2</sub>O, com remoção de 130% da TCT. Visando à otimização das condições experimentais este delineamento foi expandido e deslocado para um DCCR (Tabela 2). Dos 17 ensaios executados, verificou-se melhor recuperação da TCT na condição de 2,0 g de MgSO<sub>4</sub>, 1,5 g de NaCl e 8,0 mL de água, com recuperação prevista de 113%. Os dados experimentais foram ajustados ao modelo



quadrático segundo a metodologia de superfícies de resposta. O comportamento dos efeitos das variáveis estudadas, bem como as suas interações sobre a recuperação do fármaco TCT podem ser observadas por meio do Diagrama de Pareto (Figura 3).



(1) MgSO<sub>4</sub> (g), (2) NaCl (g), (3) H<sub>2</sub>O (mL), (L) Linear e (Q) Quadrático.

Figura 3. Diagrama de Pareto para a recuperação (%) do fármaco TCT no QuEChERS pelo DCCR.

Na análise do Diagrama de Pareto foram significativos os efeitos da interação binária quantidade de MgSO<sub>4</sub> e NaCl, além das variáveis independentes quantidade de NaCl e volume de H<sub>2</sub>O. A participação de sais no sistema de extração promove o efeito de *salting out* responsável pela melhor partição do analito para a fase orgânica devido a redução da solubilidade do mesmo na fase aquosa (PRESTES et al, 2009). Apesar de ser um efeito desejável, massas dos sais MgSO<sub>4</sub> e NaCl em níveis mais elevados prejudicaram a recuperação do analito na matriz cama de frango. Possivelmente, pela complexidade das amostras, compostos não desejáveis como os lipídicos também foram extraídos e interferiram nos processos, justificando os efeitos antagônicos observados.

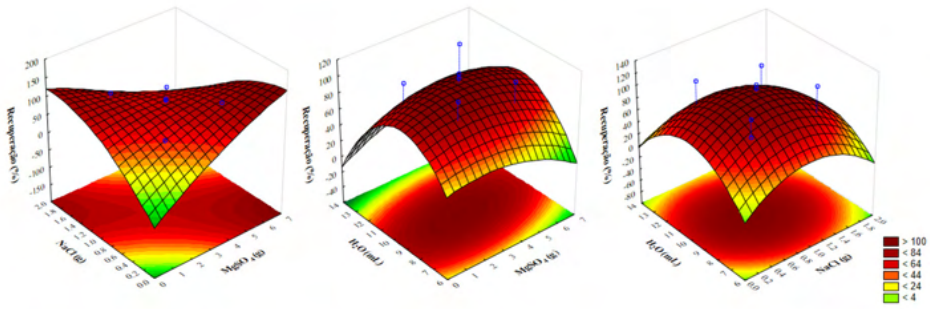


Figura 4. Superfície resposta para a recuperação (%) de TCT pelo método QuEChERS segundo o DCCR.

Para a avaliação do modelo quadrático pela ANOVA, observa-se na Tabela 4 que a razão do  $F_{\text{cal}} = 3,2$  pelo  $F_{\text{crit}} = 3,7$  para a regressão apresentou valor de 1,4 e, portanto, estatisticamente significativo para o modelo quadrático de remoção de TCT ao nível de significância de 95%, fato evidenciado pelo valor superior a 1.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	$F_{\text{cal}}$ (95%)	$F_{\text{crit}}$ (95%)	$F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$
Regressão (modelo)	12554	9	1395	3,2	3,7	1,4
Resíduos	3029	7	433	-	-	
Falta de Ajuste	2563	5	512	2,2	19,3	0,5
Erro Puro	466	2	233	-	-	-
Total	15583	16				

Tabela 4. ANOVA do modelo quadrático para eficiência de recuperação da TCT.

Também não foi observada significância para a falta de ajuste, uma vez que a razão  $F_{\text{cal}}/F_{\text{crit}}$  para falta de ajuste foi inferior a 1. Na Figura 4, a área mais escura (vermelha) corresponde à região de máxima de resposta para o método QuEChERS segundo o modelo quadrático obtido, indicando os níveis de concentração dos fatores que proporcionaram maior recuperação do analito.

Observa-se que a eficiência de extração de TCT (%) apresentou valores entre 84 e 100%. A melhor condição foi obtida foram as massas de 2,96 g de  $\text{MgSO}_4$  e 1,02 g de NaCl e o volume de 9,57 mL de água, com remoção prevista de 100,53%. Estes valores foram aplicados nos ensaios de validação do método QuEChERS proposto.

### 3.3 VALIDAÇÃO ANALÍTICA DO MÉTODO QuEChERS/CLAE-FL

#### 3.3.1 Efeito Matriz

Amostras complexas apresentam influência significativa dos componentes da matriz

sobre o sinal analítico usado na etapa de quantificação. O efeito matriz investiga se há possíveis interferências, diminuição ou ampliação da resposta do instrumento, devido às substâncias que compõem a matriz da amostra. A simples inspeção da Figura 5a e b, revela diferenças entre as áreas dos picos cromatográficos dos analitos quando as soluções foram preparadas em extratos de amostras de cama de frango e em solvente orgânico acetonitrila. A razão entre o coeficiente angular da curva em extrato de cama de aviário e solvente (C/S) foi de 27,2.

Os valores da razão entre os coeficientes angulares quando maiores que 1,0 indicam efeito de matriz positivo, desse modo, a sensibilidade analítica para a TCT sofre aumento na presença dos componentes da matriz. Assim, aceitando a hipótese de que a matriz interfere o sinal analítico, na quantificação do analito recomenda-se calibração por adição de padrão ou a calibração por curva analítica na presença do extrato da matriz estudada.

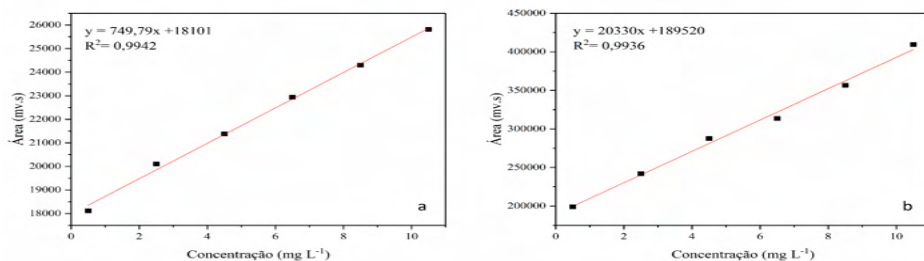


Figura 5. a) Curva analítica da TCT em acetonitrila; b) Curva analítica da TCT em extratos da matriz cama de aviário.

A seletividade do método foi avaliada pela comparação dos cromatogramas obtidos do solvente e do extrato da matriz cama de aviário sem a presença do analito, e da solução padrão de TCT em solvente e extrato da matriz de concentração 4,5 mg L<sup>-1</sup> (Figura 6).

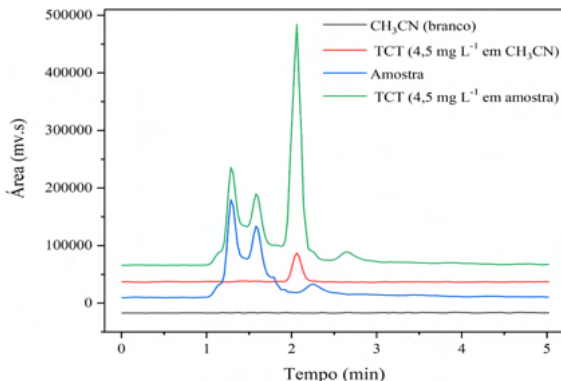


Figura 6. Cromatogramas de Seletividade para a TCT. Analito com eluição em 2,1 min.

A inspeção dos cromatogramas (Figura 6) mostra que não existem picos interferentes no tempo de retenção da TCT considerando a detecção por fluorescência com absorção em 255 nm e emissão em 550 nm, dessa forma, não há compostos que interferem na análise cromatográfica do fármaco estudado pelo protocolo de extração proposto e pela técnica de medição.

No estudo da linearidade verificou-se que a resposta do método QuEChERS na recuperação da TCT, na faixa trabalhada foi adequada para o analito na matriz em estudo, com um valor de  $R^2$  de 99,3, significando que 99,3% da variação na eficiência de remoção da TCT é explicada pelo modelo. Na Tabela 5, encontram-se os parâmetros de calibração e análise da linearidade na presença da matriz cama de aviário.

Parâmetros de Regressão	Validação Linearidade				
	Regressão		Falta de ajuste		
Equação	$R^2$	$F_{\text{calculado}}$	p-Valor	$F_{\text{calculado}}$	p-Valor
Área=190729(±7195)+19580(±1110) [TCT]	99,3	310	0,0	2,1	0,1

Fcrítico (1; 22; 0,05) de regressão = 7,95; Fcrítico (4;18; 0,05) de falta de ajuste = 4,58.

A regressão foi considerada satisfatória, pois o  $F_{\text{calculado}}$  foi maior que o  $F_{\text{crítico}}$ , assim como o p-Valor foi menor que 0,05 para o analito ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$  e p-Valor < 0,05). Adicionalmente, o modelo linear não apresentou indícios de falta de ajuste, uma vez que, os valores de  $F_{\text{crítico}}$  para a falta de ajuste foram maiores do que os de  $F_{\text{calculado}}$  para o analito ( $F_{\text{crítico}} > F_{\text{calculado}}$  e p-Valor > 0,05).

A capacidade do método em detectar e determinar a TCT nas concentrações de traços (ppm) foi estimada pelos limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ). O valor obtido de limite de detecção é de  $20 \mu\text{g L}^{-1}$  e de limite de quantificação de  $60 \mu\text{g L}^{-1}$ . Os resultados dos testes de precisão foram expressos como coeficiente de variação (CV). Para os ensaios de repetibilidade foi obtido o valor de 4,9 e para a precisão intermediária o valor de 7,9. O valor de CV de repetibilidade está de acordo com o proposto pelo Guia de validação de métodos analíticos (BRASIL, 2003), que recomenda um CV máximo de 5,3 % para a concentração do analito estudada ( $5 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

A exatidão foi avaliada por meio de ensaios com fortificação de amostras da cama de aviário em três níveis de concentrações e determinações por adição de padrão. Na Tabela 6 são apresentados valores de recuperação para a TCT com base na concentração fortificada e na concentração obtida empregando o método proposto.

Nível de Fortificação (mg kg <sup>-1</sup> )	Matriz	
	Média (mg kg <sup>-1</sup> ) (n= 3)	Recuperação (%) (n= 3)
5	6,2	124
50	49,8	99,6
95	92,9	97,8

n= Número de replicatas.

Tabela 6. Valores de recuperação para de TCT nos ensaios de exatidão empregando cama de aviário fortificada em três níveis.

A exatidão é avaliada por meio da realização de ensaios de recuperação, sendo expressa como erro sistemático percentual, inerente ao processo. O valor de recuperação do analito TCT variou entre 97,8% e 124% entre os três níveis concentrações (5 mg kg<sup>-1</sup>; 50 mg kg<sup>-1</sup> e 95 mg kg<sup>-1</sup>). Recomenda-se valores de recuperação entre 80 e 110% para concentrações do analito estudada (BRASIL, 2003). Rodrigues, (2012), aponta que a maioria dos fármacos apresentam a tendência de maiores valores de recuperação do analito nos níveis de menor concentração, decrescendo com o aumento do nível de concentração, o que foi observado na recuperação para o nível de 5 mg kg<sup>-1</sup>.

Diversos autores já adaptaram o método QuEChERS para a extração de diversos analitos em matrizes complexas como solos, lodos de esgoto (SILVA et al, 2020; BENEDETTI et al, 2020). Muitos métodos têm sugerido melhorias nas taxas de recuperação pela inserção de etapas de *clean-up* que provavelmente, proporcionam limpeza mais eficiente do extrato, diminuindo os interferentes de uma matriz tão complexa como a cama de aviário. Contudo, o custo de cartuchos de extração e de partículas adsorventes comerciais tornam onerosos os métodos.

## 4 | CONCLUSÃO

A otimização utilizando o DCCR 2<sup>a</sup> para estudo das variáveis massa de MgSO<sub>4</sub> e NaCl e volume de H<sub>2</sub>O forneceu a melhor condição dos valores de recuperação ao nível de significância de 95%, uma vez que, o modelo quadrático ajustou-se satisfatoriamente aos dados. A validação realizada, em termos de seletividade, linearidade, limites de detecção e quantificação, precisão e exatidão, permitiu considerar que o método QuEChERS analisado por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada ao detector de fluorescência (CLAE-FL) é satisfatório e apresenta as características de desempenho necessárias, sendo adequado para a pesquisa de resíduos de tetraciclina em cama de aviário.

Estes resultados sugerem que o método QuEChERS pode ser potencialmente útil para quantificar a tetraciclina, assim como outros fármacos, não só em amostras de cama de frango, como também em outras matrizes ambientais. Para estudos futuros, visando uma melhoria nas taxas de recuperação poderia ser alcançada realizando-se etapas de *clean-up*,

sendo que essa etapa, provavelmente, irá proporcionar uma limpeza do extrato, diminuindo os interferentes de uma matriz tão complexa como a cama de aviário, e a utilização de cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massa afim de identificação e confirmação do analito estudado.

## REFERÊNCIAS

- ADDAMO, M.; AUGUGLIARO, V.; PAOLA, A. Di; GARCÍA-LÓPEZ, E.; LODDO, V.; MARCÌ, G.; PALMISANO, L. Removal of drugs in aqueous systems by photoassisted degradation. **Journal of Applied Electrochemistry**, [S. l.], v. 35, n. 7–8, p. 765–774, 2005.
- AGUNBIADE, F.; MOODLEY, B. Pharmaceuticals as emerging organic contaminants in Umgeni River water system, KwaZulu-Natal, South Africa. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 11, p. 7273-7291, 2014.
- ALAVI, N.; BABAEI, A. A.; SHIRMARDI, M.; NAIMABADI, A.; GOUDARZI, G. Assessment of oxytetracycline and tetracycline antibiotics in manure samples in different cities of Khuzestan Province, Iran. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 22, p. 17948–17954, 2015.
- AMÉRICO, J. H. P.; TORRES, N. H. T.; AMÉRICO, G. H. P.; CARVALHO, S. L. de. Ocorrência, destino e potenciais impactos dos fármacos no ambiente. **SaBios - Rev. Saúde e Biologia**. v.8, n.2, p.59 -72, 2013.
- ANASTASSIADES, M.; LEHOTAY S. J.; STAJNBAHER, D.; SCHENCK F.J.; Fast and Easy Multiresidue Method Employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and “Dispersive Solid Phase Extraction” for the Determination of Pesticide Residues in Produce. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**. v. 86, n 2, p. 412-431.2003.
- BENEDETTI, B.; MAJONE, M.; CAVALIERE, C.; MONTONE, C. M.; FATONE, F.; FRISON, N.; LAGANÁ, A.; CAPRIOTTI, A. L. Determination of multi-class emerging contaminants in sludge and recovery materials from wastewater treatment plants: Development of a modified QuEChERS method coupled to LC-MS/MS. **Microchemical Journal**, v. 155, p. 104732. 2020.
- BISWAS, S.; MCGRATH, J.; SAPKOTA, A. Quantification of ionophores in aged poultry litter using liquid chromatography tandem mass spectrometry. **J. Environ Sci Health B**, v.47, n.10, p. 959-966, 2012.
- BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. INMETRO: DOQ-CGCRE-008. **Orientações sobre validação de métodos e ensaios químicos**. Brasília, 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Garantia da Qualidade Analítica. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2015.
- CARLOTTI, B.; FUOCO, D.; ELISEI, F. Fast and ultrafast spectroscopic investigation of tetracycline derivatives in organic and aqueous media. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 12, p. 15580–15591, 2010.
- FIGUEIREDO, L. A. **Fluoroquinolonas na avicultura: impacto sobre a comunidade bacteriana em solos e organismos aquáticos**. 2015. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

GARCIA, R. G.; PAZ, I. C. de L. A.; CALDARA, F. R.; NAAS, I. de A.; FREITAS, L. W.; BORILLE, R.; ROYER, A. F. B.; SPINDOLA, N. F. Alternativas para a composição da cama de frango. *Dourados, Revista Agrarian*, v.6, n.19, p.81-89, 2013.

GAVRILESCU, M.; DEMNEROVÁ, K. AAMAND, J.; AGATHOS, S.; FAVA, F. Emerging pollutants in the environment: Present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New Biotechnology*, [S. l.], v. 32, n. 1, p. 147–156, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, Edição IV, 2008.

JAVID, A.; MESDAGHINIA, A.; NASSERI, S.; MAHVI, A. H.; ALIMOHAMMADI, M.; GHARIBI, H. Assessment of tetracycline contamination in surface and groundwater resources proximal to animal farming houses in Tehran, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 4, 2016.

JANSEN, L. J. M.; SCHANS, M. G. M. V. de; BOER, D. de; BONGERS, I. E. A.; SCHIMITT, H.; HOEKSMAN, P.; BERENDSEN, B. J. A. A new extraction procedure to abate the burden of non-extractable antibiotic residues in manure. *Chemosphere*, v. 224, p. 544-553, 2019.

LONG, G. L.; WINEFORDNER, J. D. Limit of Detection: A Closer Look at the IUPAC Definition. *Analytical Chemistry*, v. 55, n. 7, p. 712A–724A, 1983.

LOUREIRO, R. J., ROQUE, F.; RODRIGUES, A. T.; HERDEIRO, M. T.; RAMALHEIRA E.. O uso de antibióticos e as resistências bacterianas: breves notas sobre a sua evolução. *Revista portuguesa de saúde pública*, v. 34, n. 1, p. 77-84, 2016.

NATARAJAN R.; BANERJEE, K.; KUMAR, P. S.; SOMANNA, T.; TANNANI, D.; ARVIND, V.; RAJ, R. I.; VO, D. N.; SAIKIA, K.; VAIDYANATHAN, V. K. Performance study on adsorptive removal of acetaminophen from wastewater using silica microspheres: Kinetic and isotherm studies. *Chemosphere*, v. 272, 2021.

NEITZKE, G. **Geração elétrica distribuída a partir da gaseificação de pellets de cama de aviário**. Dissertação(Mestrado em Ciências Mecânicas)-Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

OCAMPO-PÉREZ, R.; RIVERA-ULTRILA, J.; GÓMEZ-PACHECO, C.; SÁNCHEZ-POLO, M.; LÓPEZ-PEÑALVER, J. J. Kinetic study of tetracycline adsorption on sludge-derived adsorbents in aqueous phase. *Chemical Engineering Journal*, v. 213, p. 88-96, 2012.

OKA, H.; ITO, Y.; MATSUMOTO, H. Chromatographic analysis of tetracycline antibiotics in foods. *Journal of Chromatography A*, [S. l.], v. 882, n. 1–2, p. 109–133, 2000.

PAVANI, V. D. **Otimização de método para determinação de antimicrobianos em cama de frango por CLAE-FLU**. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Química) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química de Araraquara, 2011.

PANDEY, D. S.; YAZHENSKIKH, E.; MÜLLER, M.; ZIEGNER, M.; TRUBETSKAYA, A.; LEAHY, J. J.; KWAPINSKA, M. Transformation of inorganic matter in poultry litter during fluidised bed gasification, *Fuel Processing Technology*, v. 221, 2021.

PAVITHRA, K. G.; JAIKUMAR, V.; KUMAR, P. S.; SUNDARRAJAN, P., Removal of emerging pollutants from aquatic system using electrochemical treatment and adsorption: Comparison and analysis.

**Environmental Technology & Innovation**, v. 23, 2021.

PRASANAMEDHA, G.; KUMAR, P. S.; MEHALA, R.; SHARUMITHA, T. J.; SURENDHAR, D.

Enhanced adsorptive removal of sulfamethoxazole from water using biochar derived from hydrothermal carbonization of sugarcane bagasse. **J. Hard Mater.**, v. 407, 2021.

PRESTES O. D.; FRIGGI, C. A.; ADAIME, M.B.; ZANELLA; R. QuEChERS - Um método moderno de preparo de amostra para determinação multirresíduo de pesticidas em alimentos por métodos cromatográficos acoplados à espectrometria de massas. **Química Nova**. v. 32; n. 6, p. 1620-1634. 2009.

RATHI B.S.; KUMAR, P. S.; SHOW, P. L. A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: Current trends and scope for further research. **J. Hard Mater**, v.409, 2021.

REGITANO, J. B.; LEAL, R. M. P. Comportamento e impacto ambiental de antibióticos usados na produção animal brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 601 a 616, 2010.

RODRIGUES, K. L. T. **Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação simultânea de microcontaminantes emergentes em águas superficiais por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas**. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto. 2012.

SILVA, J. J. da; SILVA, B. F; STRADIOTTO, N. R.; PETROVIC, M; GAGO-FERRERO, P; GROS, M. Pressurized Liquid Extraction (PLE) and QuEChERS evaluation for the analysis of antibiotics in agricultural soils. **MethodsX**. v. 7, p.10117.

SUN, P.; BARMAZ, D.; CABRERA, M, L.; PAVLOSTATHIS, S. G.; HUANG, C. H. Detection and quantification of ionophore antibiotics in runoff, soil and poultry litter. **J Chromatogr A**, v.1312, n. 18, p. 10-17. 2013.

YAO, S.; ZHAO, Z.; LU, W.; DONG, X.; HU, J.; LIU, X. Evaluation of Dissipation Behavior, Residues, and Dietary Risk Assessment of Fludioxonil in Cherry via QuEChERS using HPLC-MS / MS Technique. **Molecules**, v. 26, n. 11, p. 3344. 2021.

YÉVENES, K.; POKRANT, E.; PÉREZ, F.; RIQUELME, R.; AVELLO, C.; MADDALENO, A.; MARTÍN, B. S.; CORNEJO, J. Assessment of Three Antimicrobial Residue Concentrations in Broiler Chicken Droppings as a Potential Risk Factor for Public Health and Environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 14. p. 24. 2018.



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 85, 232, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 259, 260

Adsorvato 251, 255, 259

Adsorvito 251

Afluentes 5, 8, 56, 57, 59, 60, 61, 67, 123, 124, 125, 168, 243

Agropecuária 175, 238

Agrotóxicos 3, 8, 41, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248

Água 3, 4, 5, 6, 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 98, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 129, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148, 149, 151, 154, 155, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 186, 193, 196, 198, 199, 201, 204, 205, 215, 216, 217, 218, 219, 226, 227, 228, 232, 234, 242, 244, 246, 247, 248, 250, 251, 252, 253, 264

Águas residuárias 3, 151, 152, 163, 252, 260, 265

Antibiótico 3, 8, 223, 226

Atividades antrópicas 12, 13, 36, 38

Aviário 8, 223, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 235, 236, 237, 238, 239

### B

Bacias hidrográficas 1, 2, 43, 64, 65, 67, 77, 174

Barragem 5, 55, 59, 61, 62, 63, 64, 69, 125, 134, 216, 217, 218, 221

Bioetanol 3, 8, 263, 264, 265, 266, 267

Biomassa 3, 8, 154, 157, 263, 264, 265, 266, 267, 268

### C

Calha Parshall 137

Captação 5, 26, 35, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 66, 68, 69, 75, 76, 81, 87, 89, 106

Carvão ativado 136

Cloração 68, 70, 72, 75, 77

Coagulação 71, 74, 77, 80, 87, 89, 136, 141, 251

Coliformes termotolerantes 1, 2, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 31, 32, 33

Cor 3, 8, 23, 27, 29, 30, 33, 71, 75, 109, 116, 129, 135, 137, 138, 139, 168, 199, 249, 251,

252, 254, 257

Corante 250, 252, 253, 254, 256, 257, 258, 259, 260, 261

## D

Decantação 68, 70, 71, 73, 74, 89, 108, 136, 137

Desaguamento 3, 5, 82, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 101, 102, 104, 113, 114, 117, 119, 120, 122, 124, 126, 127, 130, 132, 134, 142, 144, 145, 146, 147, 148

Desenvolvimento sustentável 37, 43, 166

Design 8, 79, 133, 168, 224, 270, 271, 274, 275, 276, 278, 280, 281

Desinfecção 3, 32, 70, 72, 77, 136, 151

Development 64, 123, 195, 214, 224, 238, 261, 264, 270, 272, 275

## E

Ecosistema 36, 41, 136, 167, 215, 217, 224, 251

Educação ambiental 9, 21, 167, 177, 178, 179, 182, 184, 192, 282

Efluentes 1, 3, 9, 13, 14, 21, 22, 31, 40, 58, 59, 77, 81, 84, 124, 125, 127, 128, 132, 150, 151, 152, 159, 160, 161, 164, 166, 167, 168, 174, 249, 250, 251, 253, 260, 265, 282

Environmental 2, 11, 36, 43, 64, 84, 88, 123, 148, 161, 162, 163, 165, 177, 186, 196, 197, 206, 210, 214, 238, 239, 240, 241, 242, 250, 261, 262, 270, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280

Escoamento pluvial 3

Estação de Tratamento de Efluente - ETE 148

Estuários 56

Eutrofização 3

## F

Fármacos 77, 151, 224, 225, 226, 227, 237, 238

Filtração 68, 72, 74, 75, 89, 92, 106, 126, 127, 133, 136, 138, 142, 146, 148, 155, 200, 254

Flotação 68, 70

Fluoretação 70, 72, 75, 77, 78

Fósforo total 2, 8, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 21

## I

Impactos ambientais 36, 37, 38, 42, 81, 106, 122, 136, 141, 162, 164, 166, 183, 205, 241, 243, 244, 245, 246

Índice de Qualidade da Água 4, 1, 2, 11, 12, 13, 16, 17, 41

Índices pluviométricos 56, 97, 135, 138

## **J**

Jusante 14, 217, 218

## **L**

Leito de drenagem 5, 87, 88, 89, 90, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 111, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 134

Lignocelulósicas 264

## **M**

Mananciais 13, 106, 107, 125, 137

Matrizes ambientais 224, 225, 226, 237

Meio ambiente 10, 21, 22, 24, 27, 34, 38, 77, 82, 85, 86, 88, 89, 91, 105, 106, 108, 123, 133, 148, 150, 164, 167, 177, 178, 183, 187, 192, 194, 198, 199, 219, 220, 224, 225, 241, 243, 244, 248

Micro-organismos 72, 74, 75

Mineração 3, 30, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 222, 264

Montante 14, 58, 59, 218

## **N**

Nitrogênio total 12, 13, 16, 17, 19, 20

## **P**

Passivo ambiental 204

Patógenos 37, 151, 191

Poço artesiano 3, 23, 26, 35

Polímeros 87, 101

Poluição 1, 2, 3, 11, 12, 13, 21, 36, 41, 42, 105, 152, 167, 178, 198, 215, 216, 227, 248, 250

Potabilidade 3, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 37, 64, 68, 74, 75, 76, 77, 90, 123, 136, 196, 199, 204

## **R**

Reaproveitamento 89, 133, 135, 141, 177, 179, 182, 265

Reciclável 186, 188, 192, 194

Recursos hídricos 1, 2, 3, 10, 11, 13, 14, 41, 42, 55, 56, 63, 64, 65, 68, 106, 134, 149, 150, 219, 220

Rejeito 144, 187, 190, 192, 214, 219

Resíduos agroindustriais 249, 251, 260

Resíduos sólidos 7, 3, 81, 84, 85, 102, 106, 120, 136, 143, 144, 147, 148, 165, 176, 177,

178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 190, 194, 195, 197, 198, 199, 204, 260

Resolução CONAMA 357 1, 2, 3, 4, 19, 21, 136

## **S**

Saneamento básico 9, 10, 66, 78, 80, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 103, 106, 110, 125, 144, 147, 164, 165, 174

Segurança hídrica 7, 213, 214, 215, 217, 219, 221

## **T**

Turbidez 2, 8, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 23, 29, 30, 33, 69, 74, 75, 98, 99, 109, 116, 124, 126, 129, 135, 137, 138, 139, 164, 168, 170, 172, 199

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA SANITÁRIA 2



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

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA SANITÁRIA 2

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