

ORGANIZADOR  
CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA

ENGENHARIA  
**SANITÁRIA E**  
**AMBIENTAL**

QUALIDADE, PRODUTIVIDADE  
E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

 **Atena**  
Editora  
Ano 2024

ORGANIZADOR  
CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA

ENGENHARIA  
**SANITÁRIA E**  
**AMBIENTAL**

QUALIDADE, PRODUTIVIDADE  
E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

 **Atena**  
Editora  
Ano 2024

**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

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 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 Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

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 Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

# Engenharia sanitária e ambiental: qualidade, produtividade e inovação tecnológica

**Diagramação:** Ellen Andressa Kubisty  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia sanitária e ambiental: qualidade, produtividade e inovação tecnológica / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-2287-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.877242803>

1. Engenharia sanitária e ambiental. 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

## 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.

O e-book: “Engenharia sanitária e ambiental: qualidade, produtividade e inovação tecnológica” é composto por quatro capítulos de livros que procuraram investigar: *i)* avaliação dos parâmetros físico-químicos do efluente gerado no processamento da mandioca, bem como o aproveitamento da biomassa dos resíduos para fins de produção de etanol; *ii)* qualidade de água a partir do monitoramento de macroinvertebrados bentônicos; *iii)* correlação e percepção de doenças diarreicas agudas (DDA) com a qualidade da água para fins potáveis fornecida no município de Tucuruí-PA e; *iv)* análise e correlação dos parâmetros físico-químicos e operacionais da Estação de Tratamento de Esgoto no município de Tacaimbó-PE.

O primeiro capítulo investigou diferentes parâmetros físico-químicos do efluente (alta carga poluidora e levado potencial de toxicidade e impacto ambiental) e do aproveitamento do resíduo agroindustrial para fins de produção de etanol. Os resultados demonstraram que o efluente possui pH de 4,8, elevada turbidez (1000 NTU) e elevadas concentrações de cianeto (17,5 mg/L), sólidos totais (41300 mg/L) e sólidos voláteis (34600 mg/L), produzindo etanol a 54 g/L após 24 h de fermentação e vinho com teor alcoólico de 80°GL. O capítulo 2 avaliou a qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos a partir do monitoramento de reservatórios utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores. Os resultados apontaram a dominância do molusco exótico (*Melanoides tuberculata*) em todos os reservatórios avaliados, indicando a necessidade propor ações que viabilizem a melhoria da qualidade dos biomas aquáticos investigados.

O terceiro capítulo realizou um estudo comparativo entre a qualidade da água para fins potáveis e o perfil epidemiológico de doenças diarreicas agudas (DDA) em quatro bairros do município de Tucuruí-PA entre os anos de 2020 e 2022, sendo observado uma redução de 19% no biênio 2020-2021 e de 17% em 2021-2022 em relação a casos de DDA no município, no qual pôde-se concluir que os maiores índices de DDA ocorriam em períodos chuvosos e de temperaturas mais amenas na região de Tucuruí. Por fim, o quarto capítulo avaliou os diferentes fatores que podem influenciar nos parâmetros físico-químicos do efluente bruto que chega na Estação de Tratamento de Esgoto no município de Tacaimbó/PE. Os resultados apontaram uma correlação negativa entre a vazão e os sólidos sedimentais e uma positiva entre a vazão e a turbidez do efluente.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países, a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>APROVEITAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL</b>	
Cristian Jacques Bolner de Lima	
Monique Virões Barbosa dos Santos	
Marcos Benedito Santana	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8772428031">https://doi.org/10.22533/at.ed.8772428031</a>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>10</b>
<b>O QUE OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS INFORMAM SOBRE A SAÚDE AMBIENTAL DE RESERVATÓRIOS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DE CAATINGA?</b>	
Evaldo de Lira Azevêdo	
Cícero Antônio de Souza	
Rafaela Vieira da Silva	
Naiana Ferreira da Silva	
Breno Carvalho da Silva	
Adriana Oliveira Araujo	
Erickson Melo de Albuquerque	
Victor Nathan Lima da Rocha	
Camila Ferreira Mendes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8772428032">https://doi.org/10.22533/at.ed.8772428032</a>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>22</b>
<b>ANÁLISE E CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E OPERACIONAIS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO TACAIMBÓ, PERNAMBUCO</b>	
Marcella Vianna Cabral Paiva	
Silvanete Severino da Silva	
Luara dos Santos Soares	
Sílvia Mariana da Silva Barbosa	
Tatiana de Oliveira Calado	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8772428033">https://doi.org/10.22533/at.ed.8772428033</a>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>37</b>
<b>ANÁLISE DA CORRELAÇÃO E PERCEPÇÃO DE OCORRÊNCIA DE DDA COM A QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NOS BAIRROS DO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-PA</b>	
Hellean Sacha da Silva de Lima	
Beatriz Souza da Silveira	
Luiza de Nazaré Almeida Lopes	
João Elias Vidueira Ferreira	
Augusto da Gama Rego	
Devanilda Ranieri Martins da Fonseca	
Enayle Maria de Freitas Silva	
Pedro Henrique Silva de Sousa	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8772428034">https://doi.org/10.22533/at.ed.8772428034</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR .....</b>	<b>57</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>58</b>

## APROVEITAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE MANDIOCA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

Data de aceite: 01/04/2024

### **Cristian Jacques Bolner de Lima**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, IFMT  
Cáceres-MT

### **Monique Virões Barbosa dos Santos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, IFMT  
Cáceres-MT

### **Marcos Benedito Santana**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, IFMT  
Cáceres-MT

**RESUMO:** A mandioca (*Manihot esculenta crantz*) é uma planta originária da América do Sul, provavelmente do Brasil Central, sendo atualmente cultivada em vários países. Considerando-se os principais tipos de processamento das raízes de mandioca no Brasil, como a fabricação de farinha de mandioca e a extração de fécula, o subproduto gerado, proveniente da prensagem de mandioca em casas de farinha e fecularias (efluente) possui alta capacidade poluidora, podendo causar grandes impactos ao meio ambiente, devido a sua toxicidade e concentração de matéria orgânica. Assim, torna-se um passivo

ambiental que necessita de pesquisas para que seja reaproveitado. Neste trabalho, avaliou-se a composição físico-química da água de manipueira coletada, a mesma foi quantificada e analisada quanto ao pH, açúcares redutores, teor de amido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Os valores encontrados de pH foi 4,8 e turbidez (UNT) de 1000, com relação a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), cianeto, sólidos totais e sólidos totais voláteis (STV), todos em ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) foram 784, 17914, 17,5, 41300 e 34600, respectivamente. Além disso, a concentração de etanol máxima produzido foi de 54 g/L em 24 horas de fermentação, consumindo 100% do substrato, com a máxima produtividade volumétrica alcançada de 2,8 g/Lh, durante 16 horas de processo, com um rendimento final de (YP/S) de  $0,45 \text{ g}_{\text{etanol}}/\text{g}_{\text{glicose}}$ , com relação a destilação do vinho de levedura apresentou um de teor alcoólico de 80 °GL.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fermentação, Enzimas, Desperdício

## USE AND OPTIMIZATION OF WASTE FROM THE CASSAVA PROCESSING INDUSTRY FOR ETHANOL PRODUCTION

**ABSTRACT:** Cassava (*Manihot esculenta crantz*) is a plant originating from South America, probably from Central Brazil, and is currently cultivated in several countries. Considering the main types of processing of cassava roots in Brazil, such as the manufacture of cassava flour and the extraction of starch, the by-product generated, coming from the pressing of cassava in flour mills and starch factories (effluent) has a high polluting capacity, which can cause major impacts on the environment, due to its toxicity and concentration of organic matter. Thus, it becomes an environmental liability that requires research to be reused. In this work, the physical-chemical composition of the collected manipueira water was evaluated, it was quantified and analyzed for pH, reducing sugars, starch content, biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). The pH values found were 4.8 and turbidity (UNT) of 1000, in relation to biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), cyanide, total solids and total volatile solids (STV), all in (mg.L<sup>-1</sup>) were 784, 17.914, 17.5, 41.300 and 34.600, respectively. Furthermore, the maximum concentration of ethanol produced was 54 g/L in 24 hours of fermentation, consuming 100% of the substrate, with the maximum volumetric productivity achieved of 2.8 g/Lh, during 16 hours of process, with a yield final (YP/S) of 0.45 g<sub>ethanol</sub>/g<sub>glucose</sub> in relation to the distillation of yeast wine, it presented an alcoholic content of 80 °GL.

**KEYWORDS:** Fermentation, Enzymes, wasted

### INTRODUÇÃO

Entre todas as culturas, a mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) é considerada de alta produtividade de calorias e a de maior eficiência biológica como fonte de energia (DAMACENO, et. al. 2014). Além de ser uma planta de fácil cultivo, em função dos baixos custos de produção, ampla adaptação as mais variadas condições de clima, solo e tolerância ao ataque de insetos. No Brasil esta espécie é cultivada em todas as regiões.

A mandioca tem papel importante na alimentação humana e animal, assim como matéria-prima para diversos derivados industriais, além da expressiva participação na geração de emprego e renda, especialmente para pequenos produtores (OTSUBO; FARIAS, 2002). Os maiores produtores do país são os Estados do Pará e da Bahia, entretanto, sua produção é destinada basicamente à produção de farinha para consumo humano. O Estado do Paraná destaca-se como maior produtor de amido com 70,1% da produção nacional, seguido pelo Estado do Mato Grosso Sul com 20,3%, São Paulo com 8,7%, e os Estados de Bahia, Pará e Santa Catarina com apenas 0,3% (SILVA, 2018).

Segundo Souza et al (2014), a mandioca é a segunda cultura mais produzida pelos pequenos produtores no estado de Mato Grosso e representa uma grande fonte de renda e segurança alimentar para os mesmos. Além disso, trabalhos que compreendem a caracterização genética da mandioca vêm sendo desenvolvidos, na região da baixada cuiabana, por ser esta área considerada um centro de diversidade da espécie (MORAIS,

2018). A região denominada de Baixada Cuiabana apresenta grande tradição na produção de farinha por parte das comunidades, sendo o estado um dos centros de diversificação da *Manihot esculenta* (FUKUDA, 2006).

Com uma produtividade de 31,3 toneladas por hectare, materiais genéticos de mandioca biofortificados estão sendo avaliados e reproduzidos no Campo Experimental da Empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER), no município de Tangará da Serra (239 km a Médio Norte de Cuiabá), além desta, as pesquisas são realizadas também nos Campos Experimentais de Acorizal, Cáceres e Sinop. Considerada mais nutritiva, com alto teor de vitamina A, boa produtividade e de ciclo precoce produz a partir de oito meses. Algumas variedades de mandioca superam a produtividade média nacional de 14,4 toneladas por hectare (EMPAER/MT, 2019).

A utilização visando o benefício industrial da mandioca gera, porém, uma série de resíduos cujo impacto no meio ambiente pode ser extremamente danoso. Os principais resíduos gerados são: resíduos sólidos, como casca marrom, entrecasca, descarte e principalmente os resíduos líquidos como água de lavagem, conhecida, também, como água de manipueira (água vegetal ou água de prensa) (MATINEZ, 2016).

A água de manipueira apresenta potencial poluidor reconhecidamente elevado. De acordo com Barana e Cereda (2001), para cada tonelada de raiz processada nas farinheiras são gerados 300 L de manipueira com uma demanda química de oxigênio (DQO) de 60 g.L<sup>-1</sup>. Quanto à composição, a manipueira caracteriza-se por sua elevada carga orgânica e presença de cianeto (CN<sup>-</sup>) resultante da hidrólise dos glicosídeos cianogênicos presentes na mandioca, que durante o processamento são carregados para o líquido residual. Segundo Damasceno et al. (2014), a composição média da manipueira em carbono é: 58,18 g.L<sup>-1</sup> de açúcares totais dos quais 37,96 g.L<sup>-1</sup> de açúcares redutores (com 14,90 g.L<sup>-1</sup> de frutose; 22,34 g.L<sup>-1</sup> de glicose e 0,72 g.L<sup>-1</sup> de maltose) e 20,22 g.L<sup>-1</sup> de açúcares não-redutores (1,52 g.L<sup>-1</sup> de dextrinas e 18,70 g.L<sup>-1</sup> de sacarose). Já Leonel e Cereda (2016) relatam a presença de 5,71% de amido e 2,93% de açúcares redutores totais na manipueira coletada na prensa, antes do processo de decantação.

As razões para o interesse pelos biocombustíveis, como o etanol são muitas e variam de um país para outro e também ao longo do tempo, tendo como principais fatores: diminuir a dependência externa de petróleo, por razões de segurança e suprimento ou impacto na balança de pagamentos, minimizar os efeitos das emissões veiculares na poluição local, principalmente nas grandes cidades e controlar a concentração de gases do efeito estufa na atmosfera (ZAMORA-HERNÁNDEZ, 2014).

Na produção de etanol, a partir de manipueira, é necessário o processo de hidrólise e sacarificação do amido presente, pois este carboidrato não é diretamente fermentável necessitando de uma hidrólise prévia de suas cadeias para a obtenção de glicose (MAAREL et al., 2002).

A habilidade de converter açúcares em etanol é característica de um pequeno grupo de microrganismos, sendo *Saccharomyces cerevisiae*, dentre as leveduras, a que mais se destaca pela alta produção e tolerância a concentrações elevadas de etanol (SCHWAN; CASTRO, 2001).

Muitos são os fatores que exercem efeito significativo sobre o rendimento ou eficiência da fermentação: a qualidade da matéria-prima, as condições fisiológicas do inóculo e fatores ambientais como pH, nível inicial de contaminantes, temperatura, concentração do substrato no mosto, composição nutricional do mosto e concentração do álcool produzido (MOSHI, 2015).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo produzir etanol, a partir da água de manipueira, avaliando o efeito do pH, da agitação, bem como da temperatura durante o processo fermentativo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A manipueira foi coletada e acondicionadas, em sacolas plásticas de 3 litros, diretamente na etapa de prensagem da massa ralada na farinha São Miguel, localizada no município de Cáceres-MT. A água de manipueira foi caracterizada quanto ao DBO, DQO, pH, acidez titulável, açúcares redutores (AACC, 1983) e amido (AOAC, 1998).

O processo de hidrólise-sacarificação foi realizado em um biorreator (SOLAB SL 137) constituído por um vaso cilíndrico de 6,0 L dotado de controle automático de pH e agitação, com um sistema de refrigeração por camisa, com monitoramento e controle constante de temperatura utilizando água como fluido refrigerante. Em 4 L de água de manipueira foram adicionados hidróxido de sódio 4 M para a correção do pH para 6,28 e 70 ppm de cálcio e, em seguida, a enzima Termamyl 120 L na concentração de 0,5 g/kg de amido. A temperatura foi elevada até 90°C, permanecendo nesta sob agitação por 2 h. Decorrido este período, a temperatura foi abaixada para 60°C, o pH foi corrigido com ácido sulfúrico 4 M até 4,5, sendo então adicionada a enzima AMG 300 L na concentração de 1,13 mL.k/g de amido e permanecendo nesta temperatura sob agitação por 24h.

O perfil dos açúcares do hidrolisado foi analisado em HPLC, marca Varian modelo pró-star com duas bombas binárias e índice de refração (detector) com amostrador automático, sendo a coluna de marca BIORAD modelo AMINEX HPX 87P (fase estacionária Pb) 300 x 0,25mm, utilizando como fase móvel água e fluxo da amostra de 0,6 ml/minuto, na temperatura de 80°C. Os perfis em área foram convertidos em concentração (g/L) a partir dos padrões. As soluções padrões foram feitas a partir de soluções PA dos açúcares.

A partir de 4 L de hidrolisado de manipueira foi realizado o processo fermentativo, o qual foi conduzido no biorreator (SOLAB SL 137) a 100 rpm, a 30°C e pH de 4,5 (todos os parâmetros automatizados). A destilação do vinho de levedura foi realizada em um micro destilador de bancada.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 01 são apresentados os resultados da caracterização química da manipueira, efluente oriundo da produção de farinha de mandioca.

De acordo com esses resultados, foi possível ter uma visão mais ampla das características da manipueira. O pH do efluente se apresentou ácido, provavelmente devido à presença do ácido cianídrico. Tanto o pH, quanto a turbidez e a concentração de cianeto se apresentaram acima dos limites permitidos para o lançamento deste efluente (CAMILI, 2010). O mesmo foi observado para os resultados dos sólidos totais e voláteis, nos quais foram detectados em concentrações extremamente altas.

Parâmetro	Valores <sup>a</sup>	Limites <sup>b</sup>
pH	4,8	5,0-9,0(1)
Turbidez (UNT)	1000	100(1)
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (mg.L <sup>-1</sup> )	784	5,0(1)
Demanda química de oxigênio (DQO) (mg.L <sup>-1</sup> )	17914	-
Cianeto (mg.L <sup>-1</sup> )	17,5	0,2(1)
Sólidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	41300	-
Sólidos totais voláteis (STV) (mg.L <sup>-1</sup> )	34600	-

Tabela 01. Apresentam os resultados da caracterização química da manipueira, efluente oriundo da produção de farinha de mandioca.

Fonte: (a) valores obtidos pelo autor 2023; (b) Limites permitidos para o lançamento, segundo (1) Resolução CONAMA n. 430/2011 (CAMILI, 2010).

Analisando os resultados da Tabela 01, foi possível observar a alta concentração de STF, o que pode indicar uma elevada salinidade desse efluente.

A matéria orgânica também foi encontrada em elevadas concentrações na manipueira, uma vez que ambos os seus parâmetros, DQO e DBO, se apresentaram bastante altos; sendo que a DBO, único parâmetro de matéria orgânica com limite estabelecido pela legislação, se apresentou acima desse limite permitido, que é de 5,0 mgL<sup>-1</sup>.

Quanto a matéria seca, obteve-se 11,3%, sendo 7,1% amido e 2,26% de açúcares solúveis totais.

Após o processo enzimático de hidrólise e sacarificação, a análise do perfil de açúcares do hidrolisado indicou a presença de glicose (2,45%), maltose (2,91%), frutose (3,17%) e sacarose (0,3%).

A partir dos 4 litros do hidrolisado de manipueira, realizou-se o processo fermentativo a 100 rpm, 30°C e pH de 4,5 (todos os parâmetros automatizados).

Neste estudo, utilizou-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae* desidratada, na concentração de 4 g/L, a exemplo da Adams & Twiddy (1987), a qual, mostrou-se ser adequada para a obtenção do teor alcoólico desejado.

Os resultados obtidos do perfil cinético da concentração de açúcar redutor (AR), concentração celular e produção de etanol, estão apresentados na Figura 01.

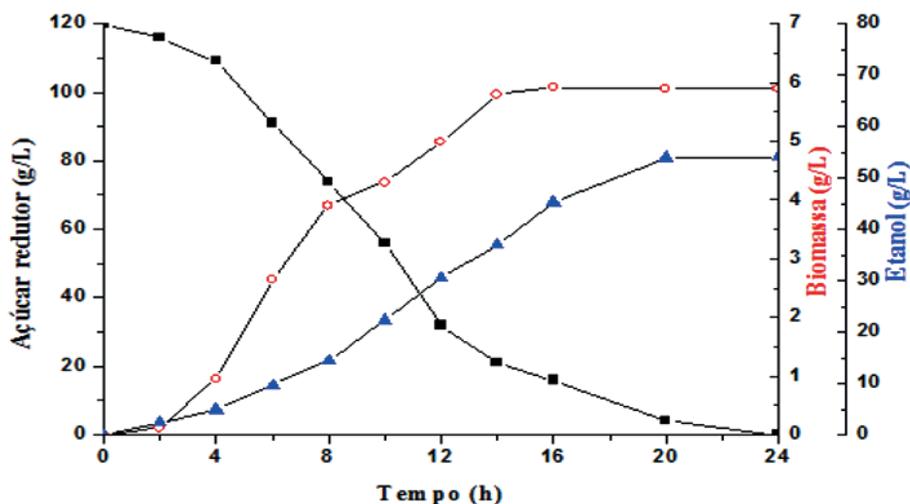


Figura 01. Perfil cinético das concentrações de substrato, produto e biomassa em função do tempo de fermentação realizado em fermentador a 30°C, com controle de pH 4,5 a 100 rpm. g/L: (■) açúcar redutor; (▲) Etanol; (O) Biomassa.

Fonte: (Autor, 2023)

Observa-se na Figura 01 que a produção de etanol aumentou com o crescimento celular, contudo, ocorreu uma lenta produção de etanol nas primeiras 6 horas de processo, provavelmente devido à adaptação do microrganismo ao meio de cultivo.

Após 8 horas, a concentração de etanol aumentou rapidamente, produzindo 54 g/L em 24 horas de fermentação com uma produtividade de 2,25 g/L.h e máxima produtividade volumétrica de 2,8 g/L.h durante 16 horas de processo, consumindo 102 g/L de substrato, ou seja, 86,6 % do açúcar redutor constituído no meio. Silva (2019) em seus estudos obteve 40,7 g/L de etanol em 24 horas de processo.

Pereira et al., (2012) relatam que nos experimentos considerando o mesmo tempo de fermentação, com tratamentos suplementados com sulfato de amônio, a 25°, 30° e 35° Brix (após 2°, 4° e 6° ciclo), a produtividade máxima foi de 4,93 g/L.h para o tratamento. Portanto, a suplementação do mosto com fontes nitrogenadas pode aumentar o rendimento de etanol durante a fermentação alcoólica, visto que este elemento desempenha importantes funções na fisiologia da levedura.

O processo produtividade da fermentação é determinado pela quantidade de açúcar fermentado, na unidade de tempo, por uma dada massa de leveduras. Uma grande velocidade de fermentação é importante porque independentemente da busca por um microrganismo que aumente o rendimento ou a eficiência de transformação de açúcar em

álcool (BIZZO et al., 2014).

Com o consumo de todo o substrato do meio fermentativo, em 24 horas de processo, obteve-se rendimento ( $Y_{P/S}$ ) de  $0,45 \text{ g}_{\text{etanol}}/\text{g}_{\text{glicose}}$ . Vale ressaltar que o rendimento teórico de etanol por grama de glicose consumida é 0,511 gramas, sendo este valor considerado 100% quando o substrato for glicose. Como na condição de fermentação industrial brasileira, o rendimento alcançado é em média 91%, isto corresponde a 0,465 gramas de etanol por grama de açúcar redutor total (ART) consumido (RIBEIRO, 2010).

Com relação à eficiência do processo, obteve-se o valor de 88,1%, ou seja, um grande resultado, visto que no processo industrial, verifica-se que a eficiência fermentativa atinge de 90 a 92% do rendimento estequiométrico, havendo o consumo de açúcar para formação de biomassa celular e subprodutos (LIMA et al., 2001).

A destilação do vinho de levedura foi realizada em um micro destilador de bancada, obtendo-se um teor alcoólico de 80 °GL, sem a separação da cabeça, coração e cauda.

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP) através do Regulamento Técnico ANP nº 3/2011, anexo da Resolução ANP Nº 7 de 09 de fevereiro de 2011, o teor alcoólico do etanol hidratado precisa ser entre 95,1 e 96 ° INPM (unidade de medida equivalente à porcentagem de álcool na mistura). Em relação à massa alcoólica, ela precisa ter entre 92,5 e 93,8% da massa total do etanol hidratado.

Portanto, com o valor encontrado neste trabalho ao final da destilação não foi possível obter álcool carburante. Contudo, é preciso ressaltar que nas destilarias alcoólicas, utilizam-se entre duas a três colunas para se atingir a graduação desejada.

Com relação ao pH 6,7 encontrado no final da destilação está dentro do padrão, pois precisa estar entre 6 ou 8, não sendo nem muito básico nem muito ácido, permanecendo neutro.

## CONCLUSÃO

1. A água de manipeira apresentou grande potencial para a produção de etanol devido suas características biológicas e colaborando para a diminuição dos impactos sociais e ambientais;
2. A utilização da enzima para a hidrólise do amido provou ser muito eficiente, gerando altas concentrações de açúcar redutor;
3. A concentração de etanol máxima produzido foi de 54 g/L em 24 horas de fermentação, consumindo 100% do substrato;
4. A máxima produtividade volumétrica alcançada foi de 2,8 g/Lh durante 16 horas de processo, com um rendimento final de ( $Y_{P/S}$ ) de  $0,45 \text{ g}_{\text{etanol}}/\text{g}_{\text{glicose}}$ ;
5. A destilação do vinho de levedura apresentou um teor alcoólico de 80 °GL.

## AGRADECIMENTOS

Aos órgãos de fomento que contribuíram financeiramente para a realização deste projeto, como a Pró-reitora de pesquisa do Instituto Federal do Mato Grosso (PROPE), ao CNPq, além do IFMT *Campus Cáceres*.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, M.R.; TWIDDY, D.R. **Performance parameters in the quick vinegar process**. Enzyme Microbiology and Technology, v.9, p.369-373, 1987.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 7 ed. Nova York: Rev. St. Paul, 1983.

ANP, Brasília 18 de nov. 2022. Disponível em: <https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=115949>. Acesso em 03 de jan. de 2022.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis**. 16 ed. Washington, 1998.

BARANA, A. C.; CEREDA, M. P. **Avaliação do tratamento de manipueira de farinhas em biodigestores fase acidogênica e metanogênica**. Energia na Agricultura, v. 4, n. 15, p. 69-81, 2001.

BIZZO, W. A.; LENÇO, P.C; CARVALHO, D.J; VEIGA, J.P.S. **The generation of residual biomass during the production of bio-ethanol from sugarcane, its characterization and its use in energy production**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.29, p. 589-603. 2014.

CAMILI, E. A. **Parâmetros operacionais do processo de produção de etanol a partir de polpa de mandioca**. 2010. 131f. Tese, Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2010.

DAMASCENO, S., et. al. Compostos de aroma por *Geotrichum fragans* cultivado em manipueira. **Fundação Cargill**, v.4, p.96- 106, 2014.

EMPAER, Mato Grosso, 01 fev. 2019. Disponível em: <https://www.empaer.mt.gov.br/-/11207591-variedade-de-mandioca-atinge-produtividade-media-de-31-3-toneladas-por-hectare-em-mt>. Acesso em 10 de maio de 2022.

FUKUDA, W.M.G.; IGLESIAS, C. Recursos Genéticos. **Aspectos Socioeconômicos Agrônomicos da mandioca**. In: SOUZA, L.S.; FARIAS, A.R.N.; MATTOS, P.L.P.; FUKUDA, W.M.G. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, vol. 2, p. 817, 2006.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. **Manipueira como substrato na biossíntese de ácido cítrico por *Aspergillus niger***. Scientia Agricola, v. 52, n. 2, p. 299-304, 2016.

LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. **Produção de etanol**. In: LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. Biotecnologia Industrial. (Ed.) São Paulo, v. 3, p. 1-43, 2001.

MAAREL, M. J. E. C. et al. **Properties and applications of starch-converting enzymes of the  $\alpha$ -amylase family**. Journal of Biotechnology, v. 94, n. 2, p. 137-155, 2002.

MARTINEZ, D.G. **Produção do etanol de segunda geração a partir de resíduos do processamento da mandioca**. 2016. 87f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura. Universidade Federal Oeste do Paraná. Cascavel. 2016.

MORAIS, M. L. 2016. Projeto incentiva o reaproveitamento da manipueira em cultivos agrícolas. Universidade Federal do Oeste do Pará. Disponível em: < [http://www.ufopa.edu.br/divulgacao\\_cientifica/projetoincentiva-o-reaproveitamento-da-manipueira-em-cultivos-agricolas](http://www.ufopa.edu.br/divulgacao_cientifica/projetoincentiva-o-reaproveitamento-da-manipueira-em-cultivos-agricolas)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

MOSHI, A. P. et al. **Production of raw starch-degrading enzyme by *Aspergillus* sp. and its use in conversion of inedible wild cassava flour to bioethanol**. Journal of Bioscience and Bioengineering, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2015.

OTSUBO, A. A.; LORENZI, J. O. **Cultivo da Mandioca na Região Centro-Sul do Brasil**. Dourados: EMBRAPA. p. 116, 2004.

PEREIRA, L. A.; PEREIRA, M.C.T.; BRITO, L.T.L.; MELO, R.F.; CAMARGO, A.F.M. **A agricultura e suas relações com o ambiente**. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 13-29, 2012.

RIBEIRO FILHO, N. M.; FLORÊNCIO, I. M.; ROCHA, A. S.; DANTAS, J. P.; FLORENTINO, E. R.; SILVA, F. L. H. **Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16. 2010.

SCHWAN, R. F.; CASTRO, H. A. Fermentação. In: CARDOSO, M. G. (Ed.). **Produção de aguardente de cana de açúcar**. Lavras: UFLA. p. 113-128, 2001.

SILVA, D. V et al. Manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca. **Planta daninha**, v. 30, n. 4, p. 901-910, 2018.

SILVA, I. B. **Potencialidades energéticas proveniente dos resíduos da mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*)**. 2029, 105f. Dissertação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

SOUZA, S. N. M. et al. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Acta Scientiarum. **Technology Maringá**, v. 26, p. 127-133, 2014.

ZAMORA-HERNÁNDEZ, T. et al. **Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales**. Educacion Química, v. 25, n. 2, p. 122-127, 2014.

## CAPÍTULO 2

# O QUE OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS INFORMAM SOBRE A SAÚDE AMBIENTAL DE RESERVATÓRIOS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DE CAATINGA?

---

*Data de submissão: 14/01/2024*

*Data de aceite: 01/04/2024*

### **Evaldo de Lira Azevêdo**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Princesa Isabel, Paraíba/Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande - Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/3480779112786432>

### **Cícero Antônio de Souza**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, Princesa Isabel - Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/4022261679157680>

### **Rafaela Vieira da Silva**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Princesa Isabel - Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/4917320700685246>

### **Naiana Ferreira da Silva**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Princesa Isabel – Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/4203485022614207>

### **Breno Carvalho da Silva**

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande - Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/3941753296936650>

### **Adriana Oliveira Araujo**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, Princesa Isabel - Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/3236810239156775>

### **Erickson Melo de Albuquerque**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, Princesa Isabel - Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/5467509964012082>

### **Victor Nathan Lima da Rocha**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, Princesa Isabel - Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/5022112931485478>

### **Camila Ferreira Mendes**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, Princesa Isabel – Paraíba  
<http://lattes.cnpq.br/4132190396205496>

**RESUMO:** O monitoramento da saúde ambiental de ecossistemas aquáticos é imprescindível, sobretudo quando se trata de reservatórios com usos múltiplos. Para essa avaliação, diversas metodologias podem ser utilizadas, entre elas destaca-se a uso de bioindicadores. Este trabalho teve o objetivo analisar a saúde ambiental de três reservatórios localizados na bacia do riacho Croatá (Caatinga, Princesa Isabel – Paraíba) utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores. Foram demarcados dez locais de amostragem em cada um dos reservatórios, nos quais procedeu-se com a coleta de amostras de sedimento (para análise dos macroinvertebrados), utilizando draga de *Ekman-Birge*. Para análise dos dados, calculou-se a abundância de macroinvertebrados, como também a diversidade de Fisher, além da realização de análise espacial (MDS) e de significância (Permanova univariada). Ocorreu dominância do molusco exótico, *Melanoides tuberculata*, em todos os reservatórios, a maior diversidade média de bioindicadores ocorreu apenas em um reservatório (Jatobá II), não ocorrendo diferença significativa de diversidade entre dois reservatórios (Macapá e Cruzeiro). Com a análise das métricas calculadas a partir da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, conclui-se que apenas um reservatório apresenta saúde ambiental satisfatória (Jatobá II), o que chama a atenção para a necessidade do desenvolvimentos de ações ambientais que busquem a melhoria da saúde ambiental dos reservatórios estudados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Invertebrados, Ecossistemas Aquáticos, Degradação Ambiental.

## WHAT INSIGHTS DO BENTHIC MACROINVERTEBRATES OFFER REGARDING THE ENVIRONMENTAL HEALTH OF RESERVOIRS IN A CAATINGA WATER BASIN?

**ABSTRACT:** Monitoring the environmental health of aquatic ecosystems is essential, especially when dealing with reservoirs with multiple uses. Different methodologies can be employed for this assessment, with a notable emphasis on the use of bioindicators. This study aimed to analyze the environmental health of three reservoirs located in the Croatá River basin (Caatinga, Princesa Isabel – Paraíba) using benthic macroinvertebrates as bioindicators. Ten sampling sites were designated in each reservoir, where sediment samples were collected (for macroinvertebrate analysis) using an Ekman-Birge dredge. For data analysis, macroinvertebrate abundance and Fisher's diversity were calculated, along with spatial analysis (MDS) and significance analysis (univariate Permanova). The exotic mollusk, *Melanoides tuberculata*, dominated in all reservoirs, with the highest average diversity of bioindicators occurring only in one reservoir (Jatobá II). There was no significant difference in diversity between two reservoirs (Macapá and Cruzeiro). Through the analysis of metrics derived from the benthic macroinvertebrate community, it is concluded that only one reservoir exhibits satisfactory environmental health (Jatobá II). This underscores the need for environmental actions aimed at improving the environmental health of the studied reservoirs.

**KEYWORDS:** Invertebrates, Aquatic Ecosystems, Environmental Degradation.

## INTRODUÇÃO

Ecossistemas aquáticos são essenciais para a manutenção de populações ecológicas e humanas. Ecologicamente precisam apresentar boa saúde ambiental para o desenvolvimento e manutenção de espécies autóctones (Ex.: peixes, macrófitas, fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados bentônicos) e alóctones (Ex.: seres vivos terrestres que dependem do ecossistema aquáticos). Para as populações humanas, apresentam importância social, econômica e até mesmo cultural (Lima et al., 2012), o que recai sobre os serviços ecossistêmicos ofertados pelos ambientes aquáticos (Ex.: Provisão, Suporte e Éticos/Estéticos), até mesmo os artificiais, caso dos reservatórios (Ranta et al., 2021).

Na Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, os reservatórios, comumente chamados de açudes, foram construídos historicamente para a mitigação da escassez hídrica causada pelos longos períodos de estiagem (Marengo, 2010). Nesse sentido, esses ecossistemas artificiais passaram a ter uma importância ainda mais preponderante. Desse modo, é essencial que a saúde ambiental dos mesmos seja analisada, tendo em vista a necessidade de que possam atender a suas funções ecológicas, econômicas e sociais (Azevêdo et al., 2022).

A análise da saúde ambiental de ecossistemas aquáticos pode ocorrer utilizando diversas ferramentas, tais como análises físicas e químicas da água, avaliação de condições geomorfológicas, e avaliação de bioindicadores (Buss et al., 2008). Entre esses, os bioindicadores são organismos aquáticos que podem indicar problemas ambientais com base em alterações de suas comunidades, como por meio de métricas como riqueza e diversidade de espécies. Os macroinvertebrados bentônicos têm recebido atenção por refletir, com mudanças na estrutura e distribuição da comunidade, alterações ambientais de longo prazo (Martins et al., 2015; Azevêdo et al., 2017). Os *taxa* representantes da comunidade desempenham papel importante nas cadeias tróficas aquáticas, sendo elo entre os produtores e consumidores secundários (Tokeshi, 1995). Desse modo, o sucesso dessa comunidade na exploração de uma vasta gama de condições tróficas em ecossistemas aquáticos é consequência da alta capacidade de adaptação fisiológica, o que permite que os indivíduos vivam em ambientes onde temperatura, pH, oxigênio dissolvido, poluição, salinidade, profundidade e produtividade variam amplamente (Helson et al., 2006); o que se torna cada mais complexo em ambientes submetidos a elevado nível de estresse ambiental, caso da Caatinga.

Nesse contexto, estudos que analisam organismo bioindicadores na Caatinga, são raros, sobretudo quando se trata de organismos aquáticos (Kotzian et al., 2013). Devido a alta complexidade do bioma, considerando as adversas condições ambientais, torna-se extremamente necessário, conhecer bioindicadores da saúde ambiental dos ecossistemas aquáticos da região (Maltchik, 1999, Azevêdo et al., 2022), o que pode desencadear o desenvolvimento de ações ambientais que desencadeiam resultados positivos tanto para as comunidades ecológicas, ecossistemas aquáticos, como para a própria população humana local.

Desse modo, este trabalho teve o objetivo de analisar a saúde ambiental de três reservatórios localizados na bacia do Rio Crotá (Caatinga, Princesa Isabel – Paraíba) utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores. Buscando contribuir para o maior conhecimento dos macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores, como para o a elucidação da saúde ambiental dos ecossistemas aquáticos locais.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

O estudo foi realizado na Caatinga paraibana, bacia do riacho Crotá, envolvendo três reservatórios: Cruzeiro - 7°38'43"S 37°52'31"W (município de Tavares – PB), Jatobá II - 7°43'09"S 37°59'04"W e Macapá - 7°44'22"S 37°59'08"W (município de Princesa Isabel) (Figura 1). Os reservatórios estudados apresentam usos múltiplos, tais como para irrigação, dessedentação de animais, lazer, pesca; no entanto, apenas o reservatório Jatobá II é utilizado para abastecimento humano. A bacia do riacho Crotá apresenta aproximadamente 1.210 km<sup>2</sup> de extensão e abrange 10 municípios, onde está inserida uma população de 46.431 habitantes (IBGE, 2010). De acordo com a classificação de Koppen (Alvares et al., 2013) o clima é semiárido quente e seco. Apresenta temperaturas que variam de 23 °C a 30 °C, com regime pluviométrico irregular com média de 789,2mm/ano (mínima de 287,4 mm/ano e máxima de 2395,9 mm/ano).



Figura 1: Reservatórios estudados, bacia do Riacho Crotá, Caatinga, Paraíba.

### Coleta e identificação de macroinvertebrados bentônicos

As amostragens macroinvertebrados bentônicos ocorreram em outubro de 2023. Para isso, foram marcados dez locais de amostragem na zona litorânea de cada um dos reservatórios, os quais foram disponibilizados de forma equidistante ao longo do perímetro dos reservatórios, o que foi feito de acordo com metodologia definida por Macedo et al., (2012).

As amostras foram realizadas com draga de *Ekman-Birge* (capacidade de 0,225m<sup>2</sup>). O material coletado foi fixado *in situ* com álcool a 70%, acondicionado em sacos plásticos e transportado até o laboratório de Ecologia do IFPB – Princesa Isabel. Em laboratório, as

amostras foram lavadas individualmente com água, utilizando uma peneira de abertura de malha de 0,50 mm. Os organismos foram triados e identificados ao menor nível taxonômico possível utilizando estereomicroscópio de luz e chaves de identificação especializadas.

## Análise de dados

Os dados foram plotados em planilha de dados, onde foram calculados dados estatísticos descritivos, tais como abundância (em porcentagem), média e desvio padrão por reservatório. Para avaliação da diversidade de macroinvertebrados foi calculada a diversidade Fisher (Fisher et al. 1943). Este índice apresenta vantagens, como a pouca influência do tamanho amostral e dominância de espécies comuns no cálculo da diversidade (Taylor et al. 1976; Carmo et al., 2011). O referido índice relaciona o número de espécies (S) ao número de indivíduos (N) em uma comunidade através da equação:  $S = \alpha \ln(1 + N/\alpha)$ . Com isso, foi calculada a média da diversidade por reservatório. Os valores da diversidade foram utilizados para realização de análise de dignificância – Permanova univariada (para avaliação da existência de diferenças significativas da diversidade entre reservatórios). Também foi realizada a análise espacial de Análise de Escalonamento Multidimensional (MDS) para visualização da distribuição dos locais de amostragem com base na diversidade. Ainda foram construídos gráficos de barra para visualização da abundância dos bioindicadores entre os reservatórios. Todas as análises estatísticas foram realizadas programa PRIMER-6 + PERMANOVA (Systat Software, Cranes Software International Ltd., ANDERSON et al., 2008)

## RESULTADOS

Considerando os três reservatórios analisados foram registradas a riqueza numérica de 10 taxa de macroinvertebrados bentônicos, com o reservatório Jatobá II apresentando maior riqueza (6), tendo o reservatório Macapá riqueza 5 e o Cruzeiro riqueza 2 (Figura 2). Assim, os taxa foram pertencentes ao filo Mollusca (*Melanooides tuberculata*, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae e Ampullariidae), filo Arthropoda, classe Insecta (Chironomidae), filo Arthropoda, Classe Crustacea (Palaemomidae e Aeglidae), e filo Annelida (Oligochaeta).

O molusco exótico, *M. tuberculata*, dominou a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em todos os reservatórios, com porcentagem de 99,24% (média 131, ± 125) no reservatório Cruzeiro, 98,63% (média 347, ± 311) no reservatório Macapá, e 69,24% (média 53, ± 52) no reservatório jatobá. Nesse último reservatório também ocorreu abundância representativa 27,3% % (média 21,2, ± 22,2) do molusco nativo da família Hydrobiidae (Figura 2).

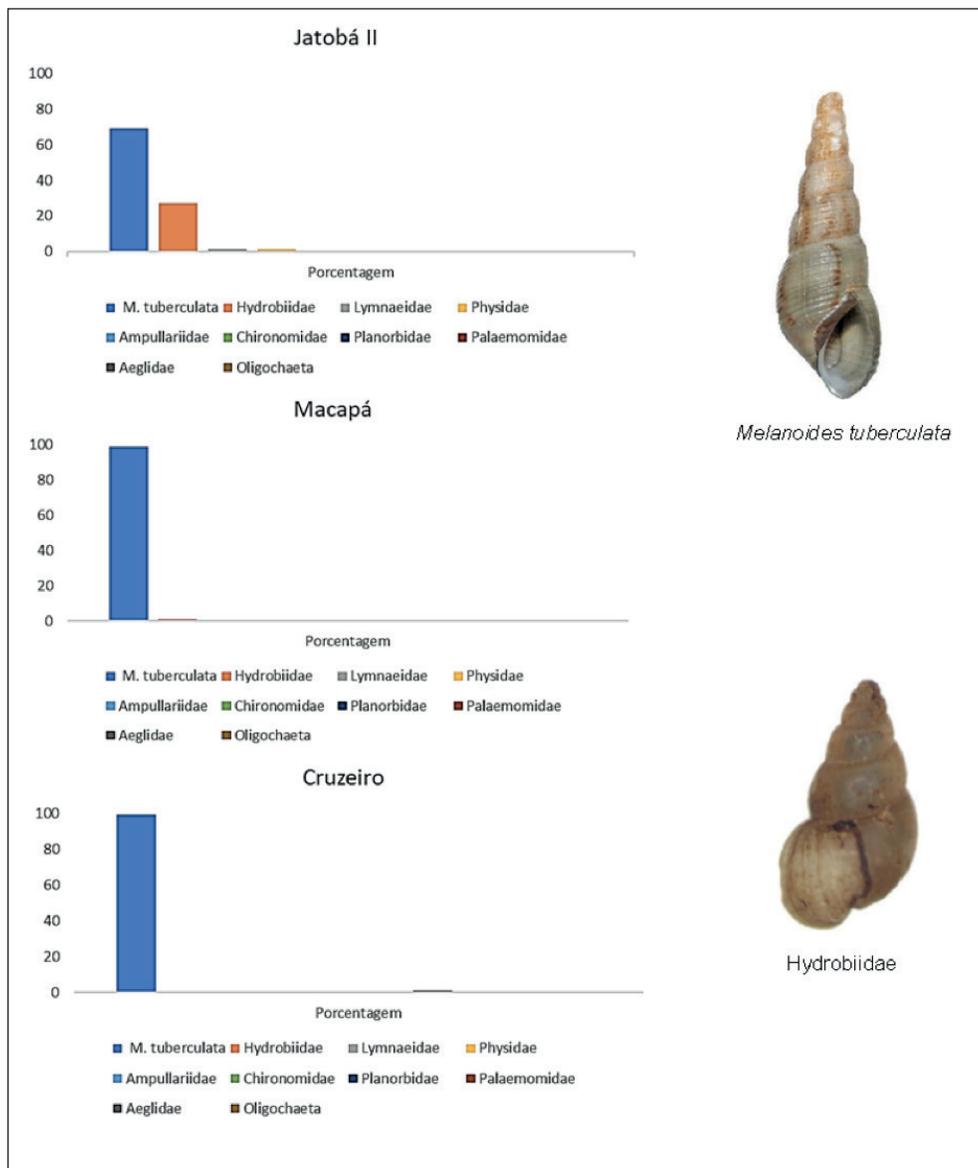


Figura 2: Taxa ocorrentes, porcentagens e espécimes mais representativos de macroinvertebrados bentônicos nos reservatórios analisados, bacia do Riacho Croatá, Caatinga, Paraíba – Brasil. Fonte das imagens dos moluscos Kotzian e Amaral (2013), Gonçalves et al. (2012).

Considerando os resultados para a diversidade de Fisher, a maior diversidade média ocorreu no reservatório Jatobá II (média 0,60, ± 0,38), com menores diversidades no reservatório Macapá (média 0,24, ± 0,11) e Cruzeiro (média 0,21, ± 0,07) (Figura 3).

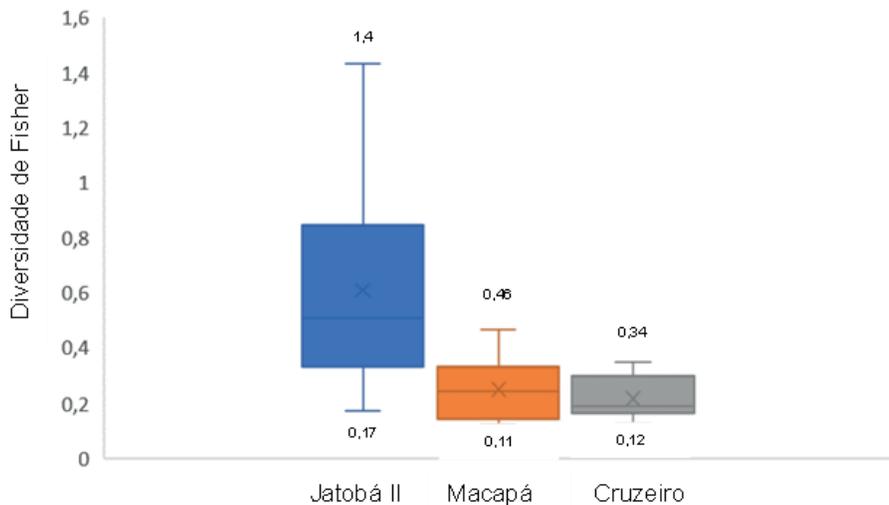


Figura 3: Representação da diversidade de Fisher em cada um dos reservatórios estudados, bacia do Riacho Croatá, Caatinga, Paraíba – Brasil.

A análise de significância mostrou diferenças da diversidade entre os reservatórios. A partir de um teste de comparação por pares (*Pair-Wise Tests*), foi confirmada a diferença significativa da diversidade entre os reservatórios Jatobá II e Macapá (PERMANOVA: Pseudo- $F_{2,80}=17$ ;  $p=0,002$ ), entre Jatobá II e Cruzeiro (PERMANOVA: Pseudo- $F_{3,13}=17$ ;  $p=0,0005$ ). No entanto, não houve diferença significativa da diversidade entre os reservatórios Tavares e Cruzeiro (PERMANOVA: Pseudo- $F_{0,75}=18$ ;  $p=0,45$ ). Assim, a análise espacial (MDS) mostrou formação de dois agrupamentos de locais de amostragem, separando a maioria dos pontos do reservatório Jatobá II dos demais, relacionados aos outros reservatórios (Figura 4).

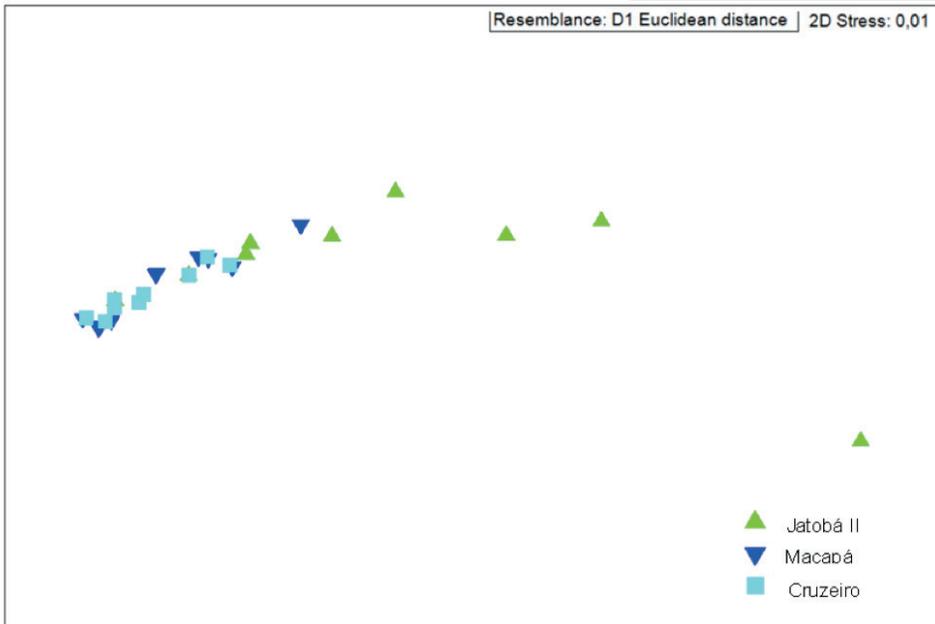


Figura 4: Análise espacial (MDS – Escalonamento multidimensional) mostrando a agregação dos locais de amostragem dos reservatórios estudados, bacia do Riacho Croatá, Caatinga, Paraíba – Brasil.

## DISCUSSÃO

Reservatórios são ecossistemas artificiais formados pelo barramento de rios, desse modo, seu próprio estabelecimento altera as características ambientais naturais, fazendo que muitas espécies não consigam se estabelecer. No referido estudo, a maior riqueza de espécies foi representada por moluscos gastrópodes, os quais conseguem respirar utilizando o oxigênio atmosférico, assim o oxigênio da água não é um fator limitante para esses organismos, sendo classificados como bioindicadores tolerantes à degradação ambiental (Goulart; Callisto, 2003; Azevêdo et al., 2018). Mesmo assim, apenas um reservatório (Jatobá II) apresentou maior riqueza de moluscos, o que evidencia que as condições ambientais nos demais reservatórios (Macapá e Cruzeiro) podem ser ainda mais degradantes, não permitindo o estabelecimento, até mesmo, de organismos tolerantes.

A dominância do molusco *M. tuberculata* em relação aos demais *taxa* merece destaque. É um gastrópode pertencente à família Thiaridae, sendo nativo na Ásia, apresentando alta plasticidade ecológica, com grande capacidade adaptativa e dispersiva (Santos e Eskinazi-Sant’Anna, 2010). Com isso, têm alcançado grande dominância nos reservatórios da Caatinga (Azevêdo et al. 2015; Oliveira et al. 2019), apresentando maiores potenciais reprodutivos e tamanho populacional naqueles ecossistemas com menor saúde ambiental (Molozzi et al. 2013; Jovem-Azevêdo et al. 2015; Paiva et al. 2018; Araújo 2020). *M. tuberculata*, assim como outros gastrópodes, apresentam capacidade de estivação, o que favorece seu estabelecimento no bioma Caatinga, tendo em vista que em períodos

de estiagem conseguem se enterrar no sedimento se mantendo vivos; em condições laboratoriais o molusco foi capaz de permanecer por 26 meses em período de estivação (Abílio 2002, Abílio 2007).

A presença de gastrópodes da família Hydrobyidae, representando a segunda maior abundância no reservatório Jatobá II, pode indicar melhores condições ambientais nesse ecossistema, tendo em vista que esses moluscos são nativos, apresentando menor nível de dispersão que *M. tuberculata*, com isso podem estar resistindo a competição com o molusco exótico; ainda apresentam elevado nível de endemismo (Tuce et al., 1982; Vidigal 2005).

A diversidade de macroinvertebrados bentônicos reflete a saúde ambiental do ecossistema aquático, tendo em vista que em ambientes mais saudáveis, ocorre maior diversidade de microhabitats, maiores concentrações de oxigênio, como também variabilidade de recursos (Goulart; Callisto, 2003; Azevêdo et al.; 2017). Desse modo, os ecossistemas aquáticos que sofrem, com frequência, perturbações, como desmatamento da região ripária, entrada de efluentes, ocasionado maiores concentrações de nitrogênio e fósforo, apresentam frequentemente menor diversidade da comunidade bentônica (Copatti et al., 2010; Negrão; Cunha, 2019), o que tem ocorrido em reservatórios da Caatinga (Abílio 2007; Azevêdo et al., 2017, Azevêdo et al., 2018).

Neste contexto, a partir da análise da comunidade de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da saúde ambiental dos reservatórios estudados, pode-se constatar, de forma preliminar, que apenas o reservatório Jatobá II apresenta saúde ambiental melhor em comparação aos demais, tendo em vista que apresentou maior riqueza de taxa, maior diversidade, e menor abundância da espécie exótica *M. tuberculata*. Em contrapartida, os dados evidenciam, que a saúde ambiental dos reservatórios Macapá e Cruzeiro encontra-se bastante comprometida, ainda que o nível de degradação entre eles é semelhante, uma vez que apresentaram menor riqueza de taxa, menor diversidade e abundância extrema de *M. tuberculata*.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O referido estudo evidencia a necessidade de monitoramento da saúde ambiental de reservatórios na Caatinga. Também reforça a utilização de bioindicadores de saúde ambiental, a exemplo dos macroinvertebrados bentônicos, os quais respondem a perturbações crônicas nos ecossistemas aquáticos, possibilitando a obtenção de dados que refletem o passado e o presente de perturbações ambientais.

O conjunto de dados obtido, embora preliminar, subsidia estudos futuros em bacias hidrográficas na Caatinga, com isso, demais estudos poderão analisar a saúde ambiental considerando outras variáveis (dados físicos e químicos, conservação da região ripária, percepção de comunidades locais), como também poderão definir ações para a melhoria da qualidade ambiental dos ecossistemas estudados.

## REFERÊNCIAS

ABÍLIO, F. J. P. et al. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade ambiental de corpos aquáticos da caatinga. **Oecologia brasiliensis**, v. 11, n. 3, p. 397-409, 2007.

ABÍLIO, F.J.P. 2002. **Gastrópodes e outros invertebrados bentônicos do sedimento litorâneo e associado a macrófitas aquáticas em açudes do semi-árido paraibano, nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP. 175p.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDERSON, M. J. et al. **PERMANOVA + for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods**. Plymouth: PRIMER-E, 2008.

ARAUJO, M. et al. Avaliação alométrica e da biomassa de *Melanoides tuberculata* (MULLER, 1774) como ferramenta para a avaliação da qualidade ambiental de reservatórios. **Gaia Scientia**, v. 14, p. 136-149, 2020.

AZEVEDO E. L. et al. Application of a statistical model for the assessment of environmental quality in neotropical semi-arid reservoirs. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, p. 65, 2017..

AZEVEDO et al.. The use of Risk Incidence and Diversity Indices to evaluate water quality of semi-arid reservoirs. **Ecological Indicators** v. 90, p. 90-100, 2018.

AZEVEDO, E. D. L.; ALVES, R. R. N.; DIAS, T. L. P.; ÁLVARO, É. L. F.; BARBOSA, J. E. D. L., MOLOZZI, J. Perception of the local community: What is their relationship with environmental quality indicators of reservoirs? **Plos one**, 17(1), e0261945, 2022.

AZEVEDO, E. L. et al. Application of a statistical model for the assessment of environmental quality in neotropical semi-arid reservoirs. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, n. 2, p. 65, 2017.

BUSS, D. F., Oliveira, R. B., Baptista, D. F. Monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos continentais. 2008.

CARMO, AB do; VASCONCELOS, H. L.; ARAÚJO, GM de. Estrutura da comunidade de plantas lenhosas em fragmentos de cerrado: relação com o tamanho do fragmento e seu nível de perturbação. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, p. 31-38, 2011.

COPATTI, C.E.; SCHIRMER, F.G.; MACHADO, J.V.V. Diversidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação da qualidade ambiental de uma microbacia no sul do Brasil. **Perspectiva**, Erechim. vol.34, n o .124, p.79-91, 2010.

GOULART, M. D.; CALLISTO, Marcos. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v. 2, n. 1, p. 156-164, 2003.

HELSON, Julie E.; WILLIAMS, D. Dudley; TURNER, Dorothea. Larval chironomid community organization in four tropical rivers: human impacts and longitudinal zonation. **Hydrobiologia**, v. 559, n. 1, p. 413-431, 2006.

HEPP, L. U., RESTELLO, R. M. **Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade das águas do Alto Uruguai Gaúcho**. In. ZAKRZEWSKI, S.B.B. (Org.). Conservação e uso sustentável da água: múltiplos olhares. Erechim: Edifapes, p.75-85, 2007

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de dados agregados: censo demográfico**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE: Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 27 fev.2022.

JOVEM-AZEVÊDO et al. Diversity measures in macroinvertebrate and zooplankton communities related to the trophic status of subtropical reservoirs: Contradictory or complementary responses? **Ecological Indicators**, 50: 135-149, 2015.

KOTZIAN, Carla Bender; AMARAL, Aline Monique Blank do. Diversity and distribution of mollusks along the Contas River in a tropical semiarid region (Caatinga), Northeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 13, p. 299-314, 2013.

LIMA, Suzana Marinho Souto et al. Dinâmica funcional de reservatórios de usos múltiplos da região semiárida/Paraíba-Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 18-25, 2012.

MACEDO, D. R. et al. Parâmetros biológicos e de habitats físicos para a avaliação de bacias no sudeste do Brasil. **Ação Ambiental**, v. 13, p. 15-18, 2012.

MALTCHIK, L. 1999. Ecologia de rios intermitentes tropicais. In *Perspectivas na Limnologia do Brasil* (M.L.M. Pompêo, ed.). Gráfica e Editora União, São Luis.

MARENGO, Jose A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MARTINS, Isabela et al. Ecological assessment of a southeastern Brazil reservoir. **Biota Neotropica**, v. 15, n. 1, 2015.

MOLLUSCA, FILO. CLASSE GASTROPODA. **Xibei Diqu gu shengwu tuce: Shaan-Gan-Ning fence [Palaeontological Atlas of Northwest China, Part 3: Mesozoic and Cenozoic]**, p. 28-52, 1982.

NEGRÃO, Glaucio Nonose; CUNHA, Márcia Cristina. Diversidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação do uso do solo e qualidade ambiental da bacia do Guabiroba, Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Geografar**, v. 14, n. 1, p. 7-26, 2019.

OLIVEIRA et al. Growth parameters of the invasive gastropod *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) (Gastropoda, Thiaridae) in a semi-arid region, Northeastern Brazil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, 41: 1-9, 2019.

PAIVA FF et al. Environmental factors influencing the occurrence of alien mollusks in semiarid reservoirs. **Limnetica**, 37: 187-198. 2018.

RANTA, E.; VIDAL-ABARCA, M. R.; CALAPEZ, A. R.; FEIO, M. J. Urban stream assessment system (UsAs): An integrative tool to assess biodiversity, ecosystem functions and services. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 106980, 2021.

SANTOS C. M, ESKINAZI-SANT'ANNA E. M. 2010. The introduced snail *Melanoidestherculatus*(Muller, 1774) (Mollusca: Thiaridae) in aquatic ecosystems of the Brazilian semiarid northeast (Piranhas-Assu River basin, State of Rio Grande do Norte). **Brazilian Journal of Biology**, 70: 1-7.

TAYLOR, L.R., KEMPTON, R.A. & WOIWOD, I.P. 1976. Diversity statistics and the log-series model. *Journal of Animal Ecology* 45:255-272.

*TOKESHI*, M. Species interactions and community structure. In: **The Chironomidae**. Springer, Dordrecht, 1995. p. 297-335.

VIDIGAL, Teofânia HDA et al. Gastrópodes e bivalves límnicos do trecho médio da bacia do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Lundiana: International Journal of Biodiversity**, v. 6, n. sup., p. 67-76, 2005.

## CAPÍTULO 3

# ANÁLISE E CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E OPERACIONAIS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO TACAIMBÓ, PERNAMBUCO

*Data de submissão: 22/01/2024*

*Data de aceite: 01/04/2024*

### **Marcella Vianna Cabral Paiva**

Funcionária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Professora da Autarquia Educacional do Belo Jardim (AEB). Belo Jardim – Pernambuco  
<https://lattes.cnpq.br/2866768055235663>

### **Silvanete Severino da Silva**

Professora da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Unidade Acadêmica do Belo Jardim (UABJ). Belo Jardim – Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/0697832792587182>

### **Luara dos Santos Soares**

Estagiária da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Aluna do curso de Engenharia Hídrica da Unidade Acadêmica do Belo Jardim (UABJ/ UFRPE)  
<http://lattes.cnpq.br/3028085984539774>

### **Sílvia Mariana da Silva Barbosa**

Funcionária da Sanvale – Gestão Ambiental. Petrolina – Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/6897701912860507>

### **Tatiana de Oliveira Calado**

Professora do Instituto Federal de Pernambuco – IFPE – Campus Garanhuns  
<http://lattes.cnpq.br/9446644042468735>

**RESUMO:** Diversos fatores podem influenciar os parâmetros dos efluentes, a exemplo das variações das vazões de chegada do efluente bruto às Estações de Tratamento de Esgoto. O presente trabalho objetivou a verificação da existência de correlações entre os parâmetros vazão, volume, índices pluviométricos, sólidos sedimentáveis no ano de 2023, além de avaliar os resultados de DBO, DQO, pH para avaliar a eficiência na Estação de Tratamento de Esgoto - Tacaimbó, localizada no município de Tacaimbó, em Pernambuco. A análise estatística foi realizada através do teste de Spearman utilizando o software GraphPad Prism 9. Com isso, foi verificada a inexistência de correlação significativa entre a vazão e os sólidos sedimentáveis e a existência de uma correlação positiva fraca entre a vazão e os turbidez.

**PALAVRAS-CHAVE:** sólidos sedimentáveis, vazão, correlação, tratamento de esgoto

**ABSTRACT:** Several factors can influence effluent parameters, such as variations in the flow rates of raw effluent arriving at the Sewage Treatment Plants. The present work aimed to verify the existence of correlations between the parameters flow,

volume, rainfall indices, settleable solids in the year 2023, in addition to evaluating the results of BOD, COD, pH to evaluate the efficiency at the Sewage Treatment Station - Tacaimbó, located in the municipality of Tacaimbó, in Pernambuco. Statistical analysis was performed using Spearman's test using the GraphPad Prism 9 software. This verified the absence of a significant correlation between the flow rate and settleable solids and the existence of a weak positive correlation between the flow rate and turbidity.

**KEYWORDS:** settleable solids, flow, correlation, sewage treatment

## INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) têm como objetivo executar o tratamento apropriado do efluente bruto, visando obter um efluente tratado adequado para ser descarregado no corpo receptor. Para realizar o lançamento dos efluentes, é imprescindível que estejam em conformidade com os padrões estabelecidos pelo corpo receptor e com as normas vigentes, a fim de prevenir impactos ambientais e evitar sanções por parte dos órgãos responsáveis. Para assegurar essa conformidade, é essencial monitorar tanto o corpo hídrico quanto o efluente a ser lançado, por meio da análise dos parâmetros mais relevantes que indicam a eficácia do tratamento (SCHLUSAZ, 2014; ALBORNOZ et al., 2016).

Para que este seja lançado em um corpo receptor, é necessário seguir padrões de ordem química, física e biológica de modo que o corpo receptor não seja degradado. Para isso, a Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece que:

“Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis (BRASIL, 2011, Art. 33)”.

Desta forma, é necessário um acompanhamento dos parâmetros físico-químicos e biológicos, como: temperatura, pH, sólidos, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), óleos e graxas, nutrientes, metais, entre outros, e os limites exigidos pela Resolução CONAMA n° 430/2011 para verificar a eficiência de tratamento e realizar mudanças na operação das ETE's. A Instrução Normativa CPRH N° 003 de 2018, dispõe também sobre os padrões para o lançamento de efluentes, colocando limites mais restritivos quando comparados a Resolução CONAMA.

De acordo com Mello (2007), as ETE's são compostas basicamente pelas seguintes etapas: pré-tratamento ou preliminar (gradeamento, peneiras e desarenação), tratamento primário, tratamento secundário (processos biológicos de oxidação, como lodos ativados e filtros biológicos aerados), tratamento do lodo e tratamento terciário, em alguns casos. Para Nuvolari (2011), as ETEs são fundamentais para a coleta e elevação do esgoto em casos de pavimento abaixo do greide, bem como no transporte, levando esgoto até as unidades de tratamento (ETEs).

Segundo a definição de Jordão e Pessoa (2009), o sistema de lodos ativados é descrito como um processo biológico em que o esgoto de entrada e o lodo ativado (aglomerados biológicos) são minuciosamente misturados, agitados e aerados, sendo posteriormente separados por sedimentação. A maior parte do lodo ativado separado é reintegrada ao processo, enquanto uma fração menor é retirada para um tratamento específico ou destino, conhecido como lodo em excesso. De acordo com Cordi et al. (2007), diversos fatores do procedimento impactam a habilidade de sedimentação dos aglomerados de lodo, incluindo a carga orgânica do efluente a ser tratado, a concentração de oxigênio dissolvido, o tempo de retenção dos sólidos e a presença de cátions no efluente. Após a passagem pelo sistema de lodos ativados é necessário que o esgoto seja encaminhado para decantadores que por meio de processos físicos resultam na sedimentação do lodo suspenso.

Von Sperling (2002), destaca que os decantadores secundários desempenham um papel essencial no contexto do processo de lodos ativados, sendo responsáveis por importantes fenômenos. Estes incluem a separação dos sólidos em suspensão presentes no reator, possibilitando a liberação de um efluente clarificado; o adensamento dos sólidos em suspensão no fundo do decantador, permitindo o retorno do lodo com uma concentração mais elevada; e o armazenamento dos sólidos em suspensão no próprio decantador, complementando o armazenamento já realizado no reator.

Alguns fatores externos podem influenciar os parâmetros do efluente, como o aumento inesperado da vazão do efluente que chega à ETE, da carga orgânica e da composição do esgoto. Geralmente isso se dá em razão do aumento do índice pluviométrico que provoca uma sobrecarga da unidade, implicando no comprometimento do tratamento do efluente (PAIVA; BRACARENSE e SOUSA, 2018). Os problemas decorrentes das vazões indesejáveis, conforme analisados por Pereira et al. (2003), originam-se da variabilidade na carga orgânica e nas vazões que alcançam a estação de tratamento, resultando em ajustes nos padrões cinéticos e operacionais.

Diante do contexto, é necessário que os parâmetros do esgoto bruto sejam acompanhados, devido as mudanças nas características em decorrência das estações mais chuvosas, quando comparado as estações mais secas que demandam ajustes operacionais nas estações de tratamento e elevatórias de esgoto, como por exemplo: controle da vazão, aumento da frequência de descargas de lodo e areia, realização de mais limpezas e retiradas de resíduos das peneiras, nas caixas de areia, grades e poços de sucção e ajustes na recirculação de lodo .

## OBJETIVO DO TRABALHO

Este estudo tem como objetivo geral analisar a correlação entre a índice pluviométrico, vazão do efluente, a presença de sólidos sedimentáveis na ETE Tacaimbó, além de outros parâmetros físico-químicos, como pH, DBO, turbidez para avaliar a eficiência da ETE e comparar os resultados com as exigências da Resolução CONAMA nº 430 de 2011 e com a Instrução Normativa nº 003 de 2018 da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). Os objetivos específicos incluem a coleta sistemática de dados, a realização de análises laboratoriais detalhadas, a avaliação da influência sazonal nessas correlações, ajustes operacionais, como também a conformidade legal do efluente tratado que é descartado corpo receptor, o rio Ipojuca.

## METODOLOGIA

### Caracterização da área de estudo e dados do Sistema de Esgotamento sanitário de Tacaimbó

A Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Tacaimbó, que está situada no Município de Tacaimbó, com coordenadas geográficas 8°19'0.21"S e 36°16'23.28"O.

O rio Ipojuca corta o município de Tacaimbó e é o corpo receptor do efluente tratado na ETE. A bacia do rio Ipojuca abrange uma área de 3.435,34 km<sup>2</sup>, correspondendo a 3,49% da área do Estado. Considerado um dos cinco rios mais poluídos do Brasil, o Ipojuca faz parte de um programa que visa a sustentabilidade hidroambiental da bacia hidrográfica. O governo do estado de Pernambuco vem investindo na implementação da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos e para isto firmou um contrato de empréstimo com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

O sistema de esgotamento sanitário (SES) foi dimensionado para a vazão de final de plano considerando a população estimada do município em 2013, atendendo dados básicos, como: um alcance de 20 anos. Sendo assim, a população considerada para início de plano foi de 7.292 habitantes e a de final de plano será de 13.861 habitantes.

O SES Tacaimbó foi concebido em dois microsistemas de esgotamento, A e B, com execução de rede coletora, ramais condominiais, ligações intra domiciliares, duas estações elevatórias em cada um deles e uma estação de tratamento de esgoto. A estação elevatória 2 (dois) lança seus efluentes na elevatória 1 (um), que recalca os esgotos para a estação de tratamento de esgoto, a ETE Tacaimbó (Figura 1).



Figura 1. ETE Tacaimbó

Fonte: Compesa 2021

## Etapas de tratamento

A ETE Tacaimbó é composta por peneiras, desarenador, reator UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo), lodos ativados, decantador lamelar, desinfecção com aplicação de cloro e leitos de secagem para descarte de lodo e duas EEE elevatórias com gradeamento para retenção de resíduos sólidos, caixa de areia, e poço de sucção para bombeamento do esgoto para a unidade de tratamento.

## Análises e Medições em Laboratório

Com a realização do tratamento do efluente através das etapas descritas, tem-se a necessidade de realizar o monitoramento diário dos parâmetros nas etapas de tratamento, por meio de medição de vazão e volume de esgoto, através de um medidor eletromagnético, e análises laboratoriais realizadas no laboratório da própria ETE, como também, o envio de amostras para o laboratório central da COMPESA para realização de análises complementares. As análises e medições diárias e que serão consideradas neste presente estudo são: pH, sólidos sedimentáveis (mL/L) e turbidez (NTU) e os resultados apresentados neste estudo são do ano de 2023. As análises complementares que são realizadas uma vez por mês e que serão utilizadas no presente trabalho são DBO (mg/L) e DQO (mg/L) também são do ano de 2023.

## Elaboração dos Gráficos e Análise estatística

As informações no software para realizar uma comparação estatística e gerar gráficos box-plot. Esse processo permitiu uma análise visual e quantitativa das variações nos parâmetros, facilitando a identificação de padrões e tendências relevantes. O box-plot é uma ferramenta eficaz para identificar a simetria, a dispersão, e a presença de outliers em um conjunto de dados. Ele é particularmente útil quando se deseja comparar distribuições de diferentes grupos ou variáveis, proporcionando uma representação compacta e informativa da variabilidade estatística.

Na elaboração deste trabalho, foi utilizado o software GraphPad Prism para a criação dos gráficos e análises estatísticas. Para o teste de normalidade da distribuição dos dados de vazão e sólidos sedimentáveis foi realizado o Teste D'Agostino-Pearson ( $\alpha=0,05$ ). Devido ao resultado do teste, onde foi encontrada uma distribuição anormal, foi realizado o teste não paramétrico de Spearman.

## Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos anuais referentes ao ano de 2023 foram obtidos a partir do site da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). A APAC é reconhecida como uma fonte confiável e autoritativa de informações relacionadas ao clima e recursos hídricos na região, e os dados foram acessados diretamente de seus registros online. Para a obtenção do índice pluviométrico mensal, os dados foram coletados do Instituto de Pesquisas Agropecuárias (IPA).

## Resolução e Instrução Normativa

O monitoramento é realizado para garantir o atendimento aos padrões estabelecido pelo CONAMA 430/2011 e Instrução Normativa nº 03 de 2018 da Agência Pernambucana de Meio Ambiente (CPRH). Os parâmetros que serão considerados neste estudo, estão descritos nas **Tabela 1 e 2**.

<b>CONAMA nº 430/2011</b>	
<b>Limites da Resolução</b>	
<b>TEMP</b>	<b>Não pode ser superior a 40 °C</b>
<b>PH</b>	<b>entre 5 e 9</b>
<b>DBO</b>	<b>120 mg/l ou 60% de eficiência</b>
<b>SOL.SED.</b>	<b>Não pode ser superior a 1 ml/L</b>
<b>OLEO/GRA</b>	<b>Até 100 mg/L</b>

Tabela 1. Limites da Resolução CONAMA 430/2011

Fonte: BRASIL, 2011

<b>Instrução Normativa nº 03/2018 CPRH</b>	
<b>Limites da Instrução Normativa</b>	
<b>TEMP</b>	<b>- Não pode ser superior a 40 °C</b>
<b>PH</b>	<b>- Deve estar entre 5 e 9</b>
<b>DBO</b>	<b>- 60 mg/l ou 90% de eficiência</b>
<b>SOL.SED.</b>	<b>- Não pode ser superior a 1 ml/L</b>
<b>OLEO/GRA</b>	<b>Óleos minerais: até 20 mg/L</b>
	<b>Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L</b>
<b>COLIFORMES TERMOTOLERANTES</b>	<b>1.000 coliformes termotolerantes/100mL</b>

Tabela 2: Limites da Instrução Normativa nº 03 de 2018 – CPRH

Fonte: CPRH, 2018

## RESULTADOS OBTIDOS

A interação entre a água de chuva e o esgoto resulta em um aumento significativo na vazão devido a falta de drenagem urbana e descarte indevido de águas pluviais na rede coletora de esgoto. Também pode gerar uma maior concentração de sólidos e areia no esgoto bruto.

Para a comparação das vazões e volumes do ano de 2023, os dados foram agrupados em gráficos box-plot, conforme Figura 2 (A) e Figura 2 (B), respectivamente. Em relação as vazões máximas ocorreram nos meses de março, maio, junho, eventualmente ocorreram picos de chuva em alguns dias dos meses de novembro e dezembro. Em relação as vazões mínimas, os meses de janeiro, fevereiro, abril, julho, agosto, setembro, outubro.

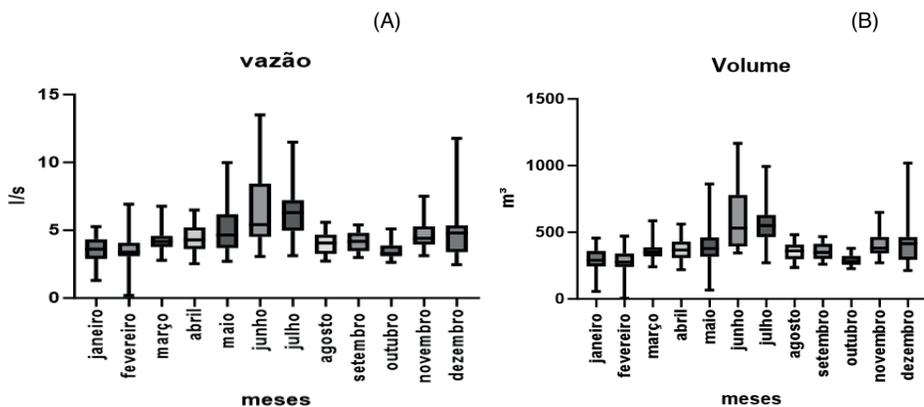


Figura 2. (A) vazão mensal e figura (B) volumes mensais

O aumento da vazão e do volume nos meses de maio, junho, julho novembro e dezembro como demonstrado nos gráficos da **Figura 2**, é explicado pelo aumento da incidência pluviométrica nesses meses, que é comumente registrado no município, conforme o monitoramento pluviométrico do município realizado pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) (**Figura 3**).

Os dados pluviométricos mensais do Município de Tacaimbó apresentam variações ao longo do ano, com notáveis picos de chuva em março, maio, junho e dezembro, conforme a **Figura 3**. A análise desses dados sugere a existência de padrões sazonais e a influência significativa das condições climáticas na região.

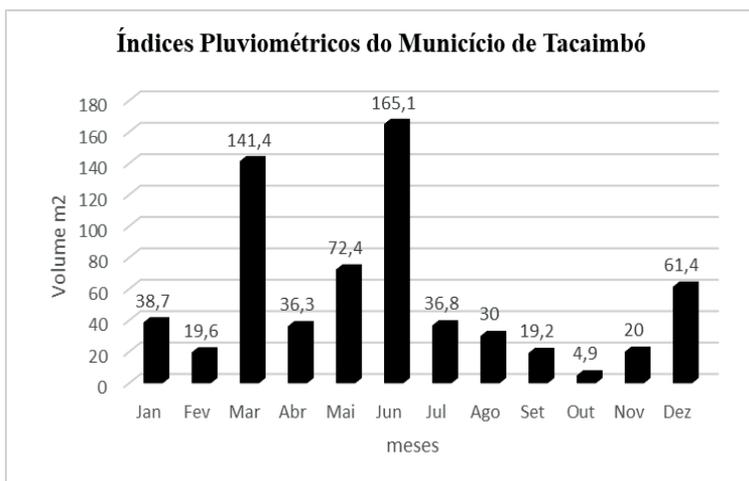


Figura 3. Índices pluviométricos mensal

Os dados dos sólidos sedimentáveis da entrada e saída foram avaliados levando em consideração os módulos 1 e 2 do sistema de lodos ativados, foram abordados através de box-plots, e expresso na **Figura 4**, letras A, B respectivamente.

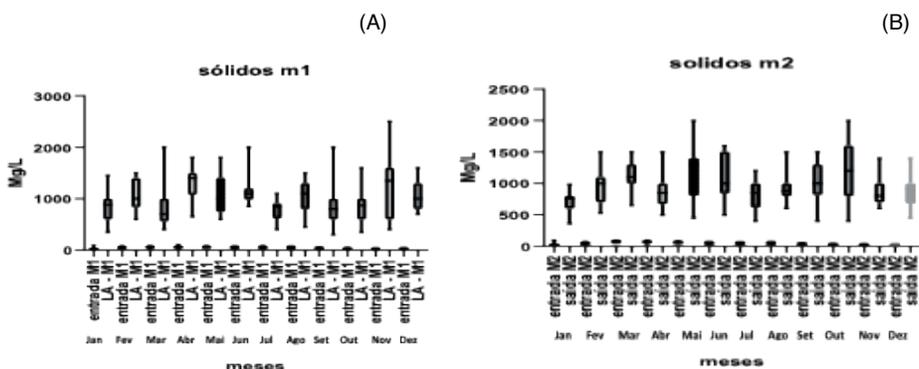


Figura 4. (A) Gráfico de Sólidos decantáveis da Entrada e saída do M1, (B) Gráfico de sólidos decantáveis de entrada e saída do M2.

As variações dos sólidos sedimentáveis da entrada é influenciada pela sazonalidade. É possível verificar o aumento das concentrações médias dos sólidos sedimentáveis, quando realizada a comparação entre a entrada e os meses (**Figuras 3 A e B**).

A concentração elevada de sólidos na saída do efluente tratado durante os meses de junho e julho, coincidindo com o período de chuvas, destaca a influência direta dos eventos pluviométricos na qualidade do efluente tratado. Durante esses meses, o aumento da vazão devido à chuva intensa pode resultar no carreamento significativo de sólidos para o sistema de tratamento, levando a um pico na concentração de sólidos na saída do sistema de tratamento. Esse cenário ressalta a importância de ajustes operacionais sazonais na ETE para lidar com variações na carga de sólidos durante eventos de chuva, destacando a necessidade de estratégias específicas para manter a qualidade do efluente em conformidade com as normas ambientais, especialmente durante condições climáticas adversas

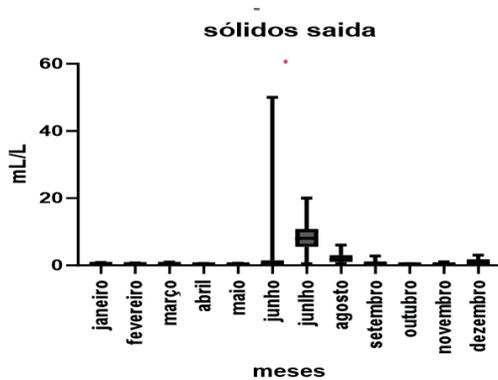


Figura 7. Sólidos saída da ETE Tacaimbó

Com a aeração do sistema de lodos ativados, há a aceleração da atividade biológica de degradação da matéria orgânica por meio de bactérias aeróbicas. As bactérias que estão presentes no processo formam o lodo (FERREIRA e CORAIOLA, 2008), aumentando dessa forma a concentração de sólidos decantáveis. Com a etapa de recirculação, onde o lodo é recirculado do decantador para o lodo ativado e misturado ao esgoto, essa concentração de sólidos tende a ser ainda maior que a obtida na etapa anterior. Sendo necessário realizar ajustes operacionais para remoção de lodo em excesso no decantador e no sistema de lodos ativados.

Os resultados obtidos de DBO média de entrada durante o ano de 2023 foi de 283 mg/L. A DBO média de saída foi de 7,6 mg/L com eficiência média de 96%, atendendo assim a Resolução e Instrução Normativa citadas que estabelece o limite de 120 mg/L ou de eficiência mínima de remoção de 60% e limite de 60 mg/L e eficiência mínima de 90%, respectivamente, na saída do efluente para o corpo receptor.

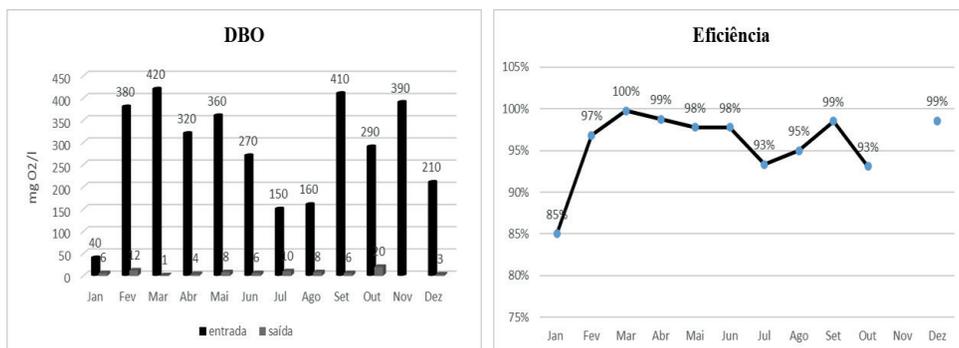


Figura 4. Resultados de DBO da ETE Tacaimbó

A análise comparativa entre os valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) na entrada e saída da (ETE) ao longo do ano revela variações significativas. A média mensal de DQO na entrada da ETE foi de 600,6 mg/L, enquanto na saída foi de 109,0 mg/L, representando uma eficiência média de remoção de 85%. A eficiência de remoção da DQO demonstrou resultados notáveis, atingindo picos de 97% nos meses de março e abril, refletindo uma eficaz degradação da matéria orgânica durante esses períodos. No entanto, observou-se uma redução considerável da eficiência nos meses de julho, agosto e setembro, atingindo os percentuais de 61%, 62% e 81%, respectivamente (**Figura 8**).

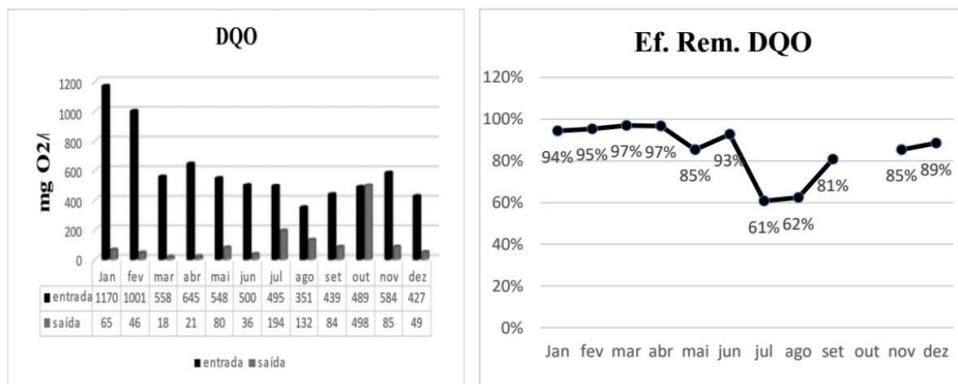


Figura 8. Resultados de DQO da ETE Tacaimbó

Os resultados revelaram que a ETE manteve um pH em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA e pela Instrução Normativa CPRH, que preconizam que o pH na saída da ETE deve situar-se entre 5 e 9. A importância dessa conformidade reside na prevenção de impactos adversos nos corpos d'água receptores, garantindo assim que os efluentes atendam aos requisitos legais estipulados. Em resumo, os resultados evidenciam o eficaz controle do pH do efluente tratado pela ETE, sem violar as normativas, preservando a integridade dos ecossistemas aquáticos durante o ano de 2023.

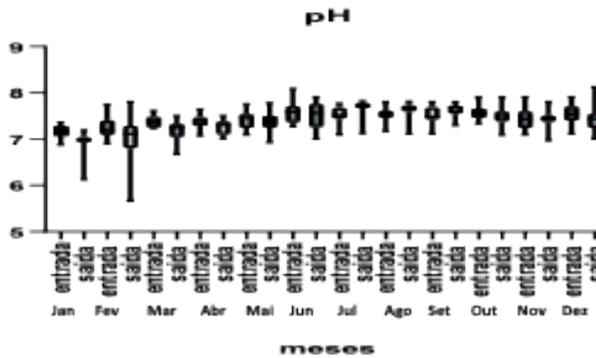


Figura 5. Resultados de pH da ETE Tacaimbó

A turbidez em corpos d'água, influenciada por fatores como vazão, volume e períodos de chuva, pode ter implicações diretas na eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Durante chuvas intensas, a vazão aumentada nos cursos d'água pode resultar no carreamento significativo de sedimentos para o sistema de tratamento, aumentando a carga de sólidos em suspensão. Esse aumento na turbidez pode sobrecarregar os processos de sedimentação e processos biológicos na ETE, afetando a capacidade do sistema de remover eficientemente os poluentes sólidos. Portanto, uma compreensão da dinâmica da turbidez em relação aos eventos de chuva é essencial para otimizar o desempenho da ETE e garantir a conformidade com as normas ambientais durante condições climáticas variáveis, nota-se que em março, maio, junho, julho novembro a turbidez de entrada elevou-se justamente no período de chuva com um pico alto no mês de dezembro.

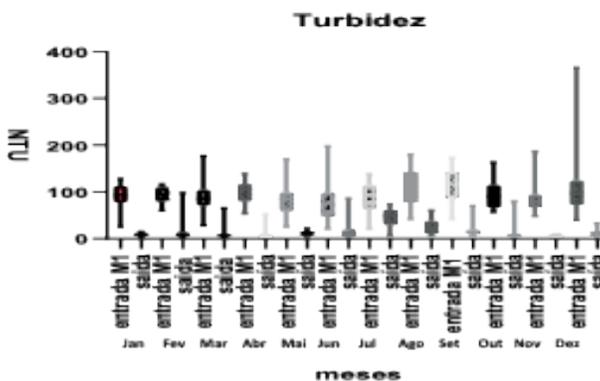


Figura 6. Turbidez da entrada do módulo 1 da ETE Tacaimbó

Para a verificação da normalidade dos dados foi utilizado o teste D'Agostino-Pearson, onde é considerado como normal  $\alpha=0,05$ . Esse teste é indicado para amostras mais numerosas ( $n>100$ ), conforme Miot (2017). Foi verificado que as amostras apresentam distribuição não paramétrica. Para análise da correlação dos parâmetros dos sólidos sedimentáveis e dos valores de vazão, utilizou-se a correlação de Spearman, com 95% de nível de confiança, adequada para a análise de amostras com distribuição não paramétrica. A correlação foi utilizada com o propósito de verificar se o aumento da vazão do efluente que chega a ETE, contribui para o aumento ou diminuição das concentrações de sólidos sedimentáveis efluentes da entrada e na saída do sistema.

As correlações, obtidas através do teste de Spearman, entre a vazão e os sólidos sedimentáveis da entrada dos módulos 1 e 2 não foram estatisticamente significantes. Já o coeficiente de correlação entre a vazão e os turbidez, de 0,25, foi considerado como significativo estatisticamente e positivo, porém é classificado como pequeno, conforme Cohen (1988). Esse resultado demonstra que com o aumento da vazão de chegada do efluente à ETE, também ocorre o aumento da concentração de sólidos suspensos, ainda que não seja de forma tão acentuada, dado o baixo coeficiente de correlação.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos parâmetros operacionais e de qualidade da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) ao longo de 2023 revela informações sobre o desempenho do sistema de tratamento. A interação entre água de chuva e esgoto destaca-se como um desafio, gerando aumento significativo na vazão durante períodos chuvosos devido à falta de drenagem urbana e ao descarte inadequado de águas pluviais na rede de esgoto. Essa combinação de águas pluviais e esgotos demanda estratégias específicas para lidar com as variações sazonais no fluxo e na qualidade da água.

A análise das vazões mensais e volumes destaca variações consideráveis, especialmente nos meses de março, abril, maio, junho, novembro e dezembro, correlacionando-se com picos de chuva registrados no monitoramento pluviométrico. Os gráficos box-plot evidenciam as amplitudes nas vazões, indicando maiores valores nos meses mencionados. O aumento da vazão e do volume nesses meses é atribuído ao incremento da incidência pluviométrica, representando 69% da precipitação anual.

A concentração média dos sólidos decantáveis mostra variações notáveis entre os meses, com aumento significativo em meses como maio. A aeração e recirculação contribuem para o aumento da concentração de sólidos sedimentáveis no sistema de lodos ativados, ressaltando a importância dessas etapas no tratamento.

A análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) destaca uma média de entrada de 283 mg/L em 2023, com uma eficiência média de remoção de 96%.

A análise da Demanda Química de Oxigênio (DQO) indica uma eficiência média de remoção de 85%, com picos 97% em março e abril. No entanto, uma redução considerável da eficiência é observada nos meses de julho, agosto e setembro

Os resultados atendem aos limites estabelecidos pelas normativas, demonstrando a eficácia do tratamento na redução da carga orgânica.

A turbidez, influenciada por vazão, volume e chuvas intensas, mostra elevações notáveis em março, maio, junho, julho e novembro, destacando a necessidade de ajustes operacionais sazonais para otimizar o desempenho da ETE.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Em conclusão, a análise minuciosa dos dados operacionais e das análises laboratoriais e estatísticas da ETE Tacaimbó é importante para fazer um diagnóstico das mudanças nas características do esgoto bruto e da vazão e volume de entrada para que se seja possível realizar ajustes operacionais com o objetivo de manter a eficiência e qualidade do esgoto tratado a ser descartado no rio Ipojuca, contribuindo para a preservação deste corpo hídrico.

## REFERÊNCIAS

APHA – AWWA - **WEF. Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater**. 19th edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. 1995.

APAC. **APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima - RIOS E RESERVATÓRIOS**. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/rios-e-reservatorios>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

ALBORNOZ, L. L.; BERNARDES, A. M.; TESSARO, I. C.; CENTURIÃO, T. C.; MENDES, A. A. B.; Monitoramento, caracterização e avaliação da eficiência de remoção de poluentes em uma estação compacta de tratamento de efluentes. In: **10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: 2016**.

FERREIRA, F. D.; CORAIOLA, M. **Eficiência do Lodo Ativado em fluxo contínuo para tratamento de esgoto**. Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba, V. 6, N. 2, P. 259-279, abr./jun. 2008.

**Instituto agrônomo de pernambuco - IPA**. Disponível em: <[http://www.ipa.br/indice\\_pluv.php](http://www.ipa.br/indice_pluv.php)>. Acesso em: 18 jan. 2024.

JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 942p. 2009.

MEDEIROS, R. M.; SILVA, V. P.; HOLANDA, R. M. **Climatologia do município de Tacaimbó – PE, Brasil**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, p. 29, 2015.

MEDEIROS, R. M. **Mudanças climáticas em Tacaimbó – PE, Brasil**. Revista Eixo, v. 8 n. 1, p.223 - 235 2019.

PAIVA, M. A. **Avaliação do impacto da água de chuva na vazão afluente à ETE Norte na cidade de Palmas (TO)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA). Palmas, p. 56. 2018.

PEREIRA, C. E. B.; SOARES, S. R. A.; SAMPAIO, S. P.; BERNARDES, R. S. Efeito do aporte de águas pluviais ao sistema de esgotos sanitários: Variação da vazão afluente à estação de tratamento de esgotos. **22o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Joinville/SC, n. 1, 2003.

SCHLUSAZ, M. **Avaliação da eficiência da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE – Ronda, Ponta Grossa – PR) através da análise de parâmetros físico-químicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química). Departamento Acadêmico de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, p. 82. 2014.

SOUZA, I. T. A. **Análise da influência da sazonalidade na eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Caldas Novas – GO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Rio Verde, p. 49. 2019.

SPERLING, M.V. Lodos ativados. 2.ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

## CAPÍTULO 4

# ANÁLISE DA CORRELAÇÃO E PERCEPÇÃO DE OCORRÊNCIA DE DDA COM A QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NOS BAIROS DO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-PA

---

*Data de submissão: 29/02/2024*

*Data de aceite: 01/04/2024*

### **Hellean Sacha da Silva de Lima**

Instituto Federal do Pará- Campus Tucuruí  
Tucuruí-PA  
<https://lattes.cnpq.br/4315620140122201>

### **Beatriz Souza da Silveira**

Instituto Federal do Pará- Campus Tucuruí  
Tucuruí-PA  
<http://lattes.cnpq.br/7444597996958280>

### **Luiza de Nazaré Almeida Lopes**

Instituto Federal do Pará- Campus Tucuruí  
Tucuruí-PA  
<http://lattes.cnpq.br/3332622265434535>

### **João Elias Vidueira Ferreira**

Instituto Federal do Pará- Campus Tucuruí  
Tucuruí-PA  
<http://lattes.cnpq.br/8018691254585785>

### **Augusto da Gama Rego**

Instituto Federal do Pará- Campus Tucuruí  
Tucuruí-PA  
<http://lattes.cnpq.br/8395640780400778>

### **Devanilda Ranieri Martins da Fonseca**

Instituto Federal do Pará- Campus Tucuruí  
Tucuruí-PA  
<http://lattes.cnpq.br/8082374583529846>

### **Enayle Maria de Freitas Silva**

Instituto Federal do Pará- Campus Tucuruí  
Tucuruí-PA  
<https://lattes.cnpq.br/0468021149856532>

### **Pedro Henrique Silva de Sousa**

Instituto Federal do Pará- Campus Tucuruí  
Tucuruí-PA  
<http://lattes.cnpq.br/1243598066623818>

**RESUMO:** Este estudo teve o propósito de investigar a qualidade da água para consumo humano, identificar o perfil epidemiológico de DDA e analisar a correlação de precipitação e temperatura nos casos de doenças diarreicas agudas (DDA) notificadas em quatro bairros do município de Tucuruí-PA, entre os anos de 2020 a 2022. Na realização da pesquisa obteve-se o levantamento de dados pela aplicação de questionários sobre os serviços de saneamento nos bairros e o acesso aos dados públicos (VIGIAGUA, Sivep-DDA e INMET). Analisaram-se as variáveis de pesquisa com base em estatísticas descritivas, das quais foram utilizadas ferramentas de análise hierárquica de agrupamentos e correlação. Nos resultados observou-se que, em 2020 e 2021 o número de ocorrências de DDA diminuiu 19%, e de 2021 a 2022, houve decréscimo de 17% no número de casos da doença no município, os resultados também podem

representar a existência de inúmeros casos subnotificados pela unidade de atendimento de saúde. A sazonalidade foi observada com aumento de casos de DDA no primeiro semestre do ano, quando são registradas as maiores incidências de chuvas e as temperaturas mais amenas da região. No teste de correlação de *Spearman*, entre as ocorrências de DDA e as variáveis climáticas (precipitação e temperatura) para os anos de 2020 e 2021 se mostraram fracas e no ano de 2022 indicou uma correlação moderada positiva, adotando o nível de relevância de 5% ( $p < 0,05$ ). Os resultados das entrevistas mostraram que grande parte da população entrevistada não está satisfeita com o serviço de abastecimento de água oferecido, de acordo com o período estudado. É possível destacar no estudo que a falta dos serviços de saneamento e deficiências no SAA são condicionantes para a progressão das doenças diarreicas agudas nos bairros pesquisados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Doenças diarreicas agudas; Saneamento; Qualidade da água; Precipitação; Temperatura.

## ANALYSIS OF THE CORRELATION AND PERCEPTION OF THE OCCURRENCE OF ADD WITH THE QUALITY OF WATER FOR HUMAN CONSUMPTION IN THE NEIGHBORHOODS OF THE MUNICIPALITY OF TUCURUÍ-PA

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to investigate the quality of water for human consumption, identify the epidemiological profile of acute diarrheal diseases (ADDs), and analyze the correlation between precipitation and temperature with cases of ADDs reported in four neighborhoods in the municipality of Tucuruí-PA, between the years 2020 to 2022. To conduct this research, data was collected through the application of questionnaires addressing sanitation services in the neighborhoods and access to public data (VIGIAGUA, Sivep-DDA and INMET). The research variables were analyzed based on descriptive statistics, using hierarchical cluster analysis and correlation tools. In the results, it was observed that, in 2020 and 2021, the number of ADD occurrences decreased by 19%, and from 2021 to 2022, there was a 17% decrease in the number of cases of the disease in the municipality. These results may also suggest the existence of numerous cases underreported by the health care unit. Seasonality was observed, with an increase in ADD cases in the first half of the year, when the highest incidences of rainfall and mildest temperatures in the region are recorded. In Spearman's correlation test, between the occurrences of ADD and the climatic variables (precipitation and temperature) for the years 2020 and 2021 were demonstrated to be weak and in the year 2022, it indicated a moderate positive correlation, adopting a relevance level of 5% ( $p < 0.05$ ). The results of the interviews showed that a large part of the interviewed population is not satisfied with the water supply service offered, according to the studied period. It is possible to highlight in the study that the lack of sanitation services and deficiencies in the SAA are conditions for the progression of acute diarrheal diseases in the researched neighborhood.

**KEYWORDS:** Acute diarrheal diseases; Sanitation; Water quality; Precipitation; Temperature.

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para o desenvolvimento e manutenção dos seres humanos. Logo, a água utilizada para o consumo humano, quando não tratada corretamente, e fora dos padrões de potabilidade determinados pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, pode ser um risco à saúde, sendo uma via importante de transmissão de doenças provenientes de veiculação hídrica, principalmente aquelas que afetam o trato intestinal, agindo como meio de cultura de microrganismos patogênicos (CASTRO, CRUVINEL E OLIVEIRA, 2020).

As precárias condições de saneamento, são fatores determinantes para a exposição dos seres vivos a agentes patogênicos. Arelado a isto, as condições climáticas exercem forte influência na disseminação de patógenos, devido à contaminação de fontes de água. Neste contexto, a região Amazônica sofre com elevados índices de morbidade por doenças diarreicas infecciosas, em função de eventos climáticos extremos (AGUIAR *et al.*, 2020).

As doenças diarreicas infecciosas representam uma grande problemática para a saúde do país. Nesta perspectiva, as Doenças Diarreicas Agudas (DDA) apresentam maior probabilidade de ocorrência, sendo estas, causadas por diferentes agentes etiológicos, como bactérias, protozoários e vírus. Como sintoma dominante destas doenças, temos o aumento do número de evacuações, com fezes aquosas ou de pouca consistência, podendo estar diretamente associada às situações de vulnerabilidade social, seca, enchentes e fenômenos relacionados às mudanças climáticas (AGUIAR *et al.*, 2020).

Entre as DDAs, a Organização Mundial de Saúde (OMS) ressalta as doenças diarreicas infecciosas intestinais (CID 10: A00-A09), estando relacionadas a diferentes enfermidades descritas na classificação internacional de doenças, tais como, a cólera, a febre tifóide e paratifóide, infecções bacterianas e doenças intestinais causadas por protozoários e vírus. As notificações destas doenças são registradas no Sistema de Informação de Vigilância Epidemiológica das DDA (SIVEP-DDA), sendo um programa de monitoramento contínuo, com a finalidade de sistematizar os índices de casos da doença nas cidades em diferentes períodos (CASTRO E NETO, 2023).

Desta forma, as medidas de vigilância da qualidade da água para consumo humano, e o monitoramento mensal da qualidade da água nos sistemas, são imprescindíveis para manter a qualidade da água consumida (CASTRO, CRUVINEL E OLIVEIRA, 2020).

Dentre os indivíduos que apresentam maior vulnerabilidade as DDAs, estão aqueles que vivem em ambientes desprovidos de saneamento, ou que são assistidos de forma precária. Neste contexto, a percepção dos usuários sobre o serviço de saneamento oferecido se faz um mecanismo para a avaliação do sistema, sendo um meio importante que possibilita a visualização de um conjunto de ações (SILVA E SILVA, 2021).

Este estudo teve escopo identificar o perfil epidemiológico DDA e a correlação de precipitação e temperatura nos casos de doenças diarreicas agudas notificadas em quatro bairros, situados no município de Tucuruí-PA, compreendendo entre os anos de 2020 a 2022.

## MÉTODOS

### Área de Estudo

O município de Tucuruí situa-se no Sudoeste do estado do Pará (Figura 1), abrangendo uma área de aproximadamente 2.084,289 km<sup>2</sup>. Situa-se nas coordenadas geográficas de Latitude 3° 46' 10" Sul e Longitude 49° 40' 27" Oeste, às margens do lago artificial decorrente da construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, por ser uma região próxima a linha do equador, apresenta clima úmido tropical (SILVA E SILVA, 2021).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a localidade possui população de 97.128 habitantes, com densidade demográfica de 46,56 hab/km<sup>2</sup>. Grande parte da população do município localiza-se em área urbana, cerca de 95,18%. Tal aglomeração ocasionou uma maior demanda por serviços de saneamento básico, dentre estes serviços destacamos o abastecimento de água. Segundo dados do Departamento de Endemias – DE, a população está distribuída em 49 bairros somente na zona urbana (RANIERI *et al.*, 2022).

### Descrição dos Pontos de Estudo

O estudo foi realizado em quatro bairros da cidade de Tucuruí (Alto Alegre, Jaqueira, Mangal e Nova Tucuruí), três deles situam-se na região mais suburbana do município, sendo estes: Alto Alegre, Jaqueira e Mangal (DATASUS, 2023).

O bairro da Jaqueira, apesar de localizar-se em área mais afastada, agrupa a Feira Municipal de Tucuruí, tornando-se o bairro com alto fluxo de pessoas e maior número de residências, bem como o bairro mais antigo dentre os quatro. Por outro lado, a Nova Tucuruí reúne a segunda maior quantidade de residências, tal como encontra-se em direção oposta às demais, ou seja, mais próximo do centro da cidade (DATASUS, 2023).

Deste modo, para a realização do diagnóstico do abastecimento de água, os quatro bairros no município de Tucuruí foram selecionados por possuírem pontos de monitoramento do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) e por serem abastecidos pela mesma Estação de Tratamento de Água - ETA (ETA-Km 04) a qual é responsável pela distribuição de mais de 50% do município (SILVA E SILVA, 2021). Os bairros selecionados na pesquisa foram descritos a seguir (Figura 1).

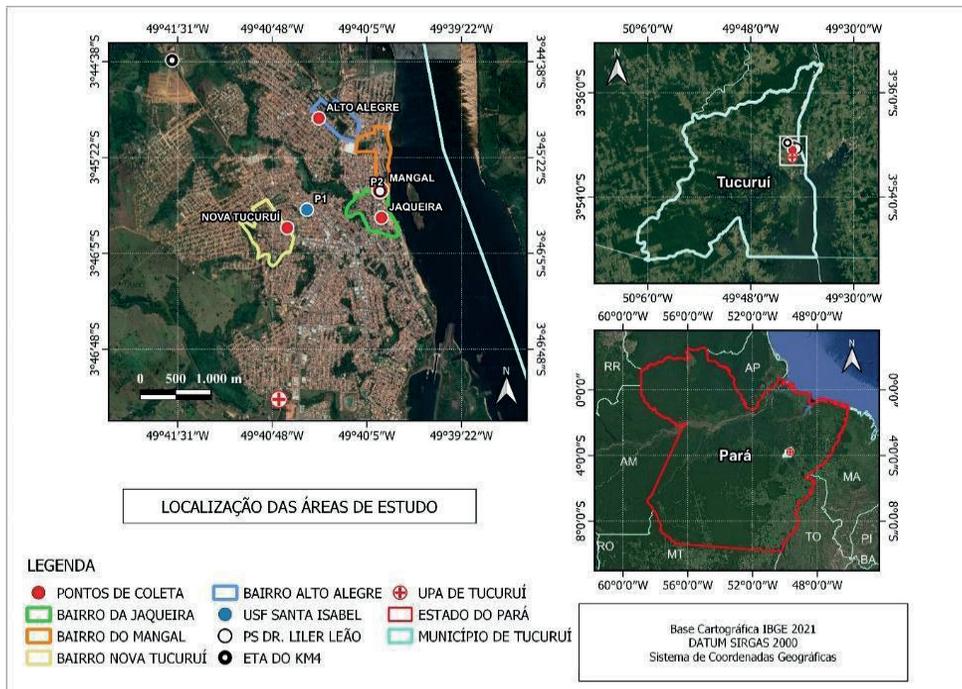


Figura 1- Mapa demonstrando as localizações dos pontos estudados e localização do município de Tucuruí//PA

Fonte: Autores (2023).

A ETA-Km 04, responsável pelo abastecimento de água deste estudo, está localizada na rodovia Transcmetá, possui o tipo de captação superficial, feita do Igarapé Santos (latitude:  $3^{\circ}44'31.07''S$  e longitude:  $49^{\circ}41'44.60''O$ ) com capacidade de captação de 278 L/s. Sendo esta unidade de tratamento composta por 12 filtros. O tratamento é feito por meio de filtração direta, desta forma, durante a técnica, são adicionados o sulfato de alumínio e o hipoclorito de cálcio à água de abastecimento. O processo de reservação da água tratada é feito em dois reservatórios semienterrados, com capacidade de 250 m<sup>3</sup> cada, sendo esta estação responsável por abastecer 26 bairros do município (SILVA E SILVA, 2021).

## MÉTODOS DA PESQUISA

A pesquisa aplicada é de caráter explicativo, com abordagem quanti-qualitativo, onde método de pesquisa qualitativo adotado buscou entender, interagir e interpretar as motivações e significados ao longo do processo, enquanto o quantitativo evidenciou a precisão em medir quantidade de dados, frequência e intensidade de determinado público-alvo (LAKATOS E MARCONI 2017).

Para a elaboração deste estudo, também foi realizada uma pesquisa documental e bibliográfica, por meio de artigos, livros, periódicos e boletins epidemiológicos da doença, cujo principal intuito foi observar o posicionamento de outros autores acerca da temática.

Neste sentido, a pesquisa envolveu seis etapas para coleta e análise dos dados. A primeira etapa da pesquisa consistiu no levantamento de dados pela aplicação de questionários sobre os serviços de saneamento nos bairros. Posteriormente, o tratamento dos dados foi composto pelas seguintes atividades: (i) seleção e agrupamento de dados referentes às notificações de DDA, precipitação e temperatura semanais, mensais e anuais; (ii) tratamentos estatísticos descritivos; (iii) análise multivariada, procedeu-se a análise hierárquica de agrupamentos; (iv) normalização dos dados; e (v) aplicação de ferramentas de análises de correlação.

## MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE DADOS

### Banco de dados das entrevistas com os moradores

A primeira etapa da pesquisa sucedeu-se por meio de aplicação de questionários específico sobre os serviços de saneamento, composto por 22 questões fechadas à população dos bairros em questão, adotou-se como critério de seleção um morador por residência, utilizando a metodologia adotada por Santos (2014), através do software desenvolvido para cálculo amostral. As informações referentes ao número de residências por bairro foram obtidas através dos registros do Departamento de Combate às Endemias (DATASUS, 2023).

Para amostragem do estudo, foram consideradas 237 residências nos bairros, obtidos por meio do cálculo amostral, para homogeneização da amostra. Adotando um erro de 10%, determinou-se a distribuição de 53 questionários no bairro Alto Alegre, 63 na Jaqueira, 59 no bairro do Mangal e 62 na Nova Tucuruí. A partir das respostas obtidas nos questionários, foi realizada a tabulação no programa Excel e *Bioestat 5.0* os dados para o tratamento estatístico descritivo (BRITO, *et al.*, 2018).

Os moradores dos bairros Alto Alegre, Jaqueira e Mangal foram entrevistados em seus respectivos bairros e na Unidade Básica de Saúde (UBS) mais próximas de sua residência, responsável pelo atendimento da população (BRITO, *et al.*, 2018). Logo, a aplicação de questionários dos moradores do bairro Nova Tucuruí também ocorreu na Unidade de Saúde da Família (USF) do bairro, a estratégia foi utilizada com a finalidade de garantir uma diversificação na amostragem (SILVA E SILVA, 2021).

Os dados obtidos ocorreram por meio de indicadores quantitativos e qualitativos, mediante a caracterização dos serviços de saneamento, através de informações dos Órgãos Públicos responsáveis, identificação das características do local de estudo e a aplicação de questionários estruturados com perguntas fechadas.

O consentimento para a participação da pesquisa aos entrevistados, fora obtido por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), disponibilizado aos participantes antes do momento da entrevista, informando a utilização dos dados para o desenvolvimento da pesquisa.

## **Banco de dados VIGIAGUA**

Os dados do Sistema de Informação da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano obtidos dos bairros foram analisados como no estudo de Chiarini *et al.* (2022), de acordo com as variáveis dos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de qualidade da água de abastecimento da Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 e a Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, referentes a Turbidez (uT), *Escherichia coli* e Residual do Agente Desinfetante (mg/L), estabelecidos pela portaria como critério para garantir a potabilidade da água distribuída para população.

Para classificar o resultado de análise como “recomendação padrão”, utilizou-se o valor estabelecido na norma de potabilidade da água (BRASIL, 2017).

## **Banco de dados DDA**

Os dados de DDA foram disponibilizados pela Unidade de Pronto Atendimento – UPA da cidade, por meio de ofício, sendo que estes integram o banco de dados das notificações do Sistema Informatizado de Vigilância Epidemiológica de Doenças Diarreicas Agudas (Sivep-DDA) utilizado para facilitar a tabulação dos dados da Monitorização das Doenças Diarreicas Agudas registrados pelas Unidades de Saúde.

Na análise dos dados, foi realizado um estudo epidemiológico do tipo ecológico, visando observar a existência de associação entre exposição e a ocorrência da doença ou a condição relacionada à saúde da coletividade.

Para o levantamento da incidência de DDA entre a população do município, foram selecionadas as 52 semanas epidemiológicas como adotadas nos registros da Sivep-DDA, como no estudo de Silva, Pimentel e Jardim (2019), correspondentes ao período de estudo, compreendido entre janeiro de 2020 a dezembro de 2022. O número de casos notificados dos bairros estudados foi contabilizado e tabulado com a finalidade de se verificar uma correlação entre a incidência de DDA registrados nos quatro bairros.

## **Banco de dados de climatológicos (Temperatura e Precipitação)**

Foram utilizados dados climatológicos semanais, obtidos através da média dos dados diários disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), originários da Estação Meteorológica de Tucuuruí (82361) localizada nas coordenadas 3°45'37”S e 49°40'00”W, relativos à precipitação pluviométrica (mm) e temperatura do ar (°C) compensada, de acordo com as semanas epidemiológicas dos casos de DDA notificadas pela Unidade de Pronto Atendimento.

Os dados coletados durante a pesquisa foram tabulados em planilhas e tratados (descritivos) para possibilitar comparações, inferências e correlações de acordo com outros estudos. Essa etapa da pesquisa baseou-se na construção da explanação, que Silva, Pimentel e Jardim (2019) adotaram em sua pesquisa, com o intuito de verificar a influência da precipitação e temperatura nos dados de ocorrência de DDA e dados de qualidade da água.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

### Análise hierárquica de agrupamento

Inicialmente, como etapa de pré-processamento dos dados, fez-se o auto escalonamento da matriz com os dados referentes ao número de casos de doença diarreica nos bairros estudados, em cada um dos quatro trimestres do ano, durante os anos de 2020 a 2022. Esse processo consistiu em padronizar os dados de modo que as variáveis tivessem média zero e variância um, assim as variáveis passaram a ter a mesma importância com relação à escala e, portanto, puderam ser comparadas sem nenhum viés (GOMES E CAVALCANTE, 2017).

Após essa etapa, procedeu-se a análise hierárquica de agrupamentos propriamente dita, cujo principal objetivo foi de demonstrar as semelhanças entre amostras representadas por pontos em espaços maiores do que três dimensões, facilitando o processo de interpretação de dados e associações com similaridades entre os dados estudados, por meio de dendrograma (BUSATO *et al.*, 2013). Para isso, utilizou-se o *método Ward* (1963) como método hierárquico de agrupamento, e a distância Euclidiana como tipo de distância (similaridade) entre as amostras (HAIR *et al.*, 2009).

Então, na escala utilizada no dendrograma, uma distância igual a 0 (zero) indica amostras idênticas. As amostras similares tendem a ficar em um mesmo agrupamento (também chamado cluster). No final do processo, todas as amostras formam um único agrupamento (BUSATO *et al.*, 2013).

Como critério de escolha do número de agrupamentos para serem discutidos, utilizou-se a regra prática de adotar como ponto de corte (*cut off*) no dendrograma o ponto em que as distâncias acima dos agrupamentos deram um salto. Assim, o ponto de corte foi na distância de 40% (identificado pela linha tracejada horizontal alaranjada). Além disso, verificou-se se os agrupamentos possuíam alguma lógica ao reunir aquelas amostras.

## Teste de correlação

De acordo como os estudos de Silva, Pimentel e Jardim (2019), através de estatísticas descritivas, com a finalidade de determinar as médias, desvio padrão, coeficiente de variação, mediana, mínimo e máximo. Desta forma, foram realizados testes de normalidade de *Shapiro-Wilk*, e para as variáveis que apresentaram  $p < 0,05$ , optou-se pela logaritimização como medida para normalizar e homogeneizar a distribuição das variáveis. Posteriormente, a correlação linear entre as ocorrências de diarreia aguda e as variáveis temperatura do ar e precipitação pluviométrica foram determinadas pelo *método de Spearman* (HAIR *et al.*, 2009).

## RESULTADOS

### Avaliação da qualidade da água distribuída para população

A Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, define os métodos de monitoramento e verificação dos padrões da água para consumo humano e seus parâmetros de potabilidade. No Anexo 15, deste documento consta a quantidade mínima de amostras para monitoramento da qualidade da água, para as análises químicas, físicas e microbiológicas, conforme o tipo de manancial e os pontos de coleta e amostragem (BRASIL, 2017).

Para o município de Tucuruí, com cerca de 97.128 habitantes (IBGE, 2010) considerando os parâmetros pH, Coliformes Totais, *Escherichia coli* e Turbidez (uT), devem ser realizados uma coleta para cada 1.000 habitantes semanalmente, totalizando mais de 40 amostras anuais para o município, considerando mais de 100.000 habitantes.

A Tabela 1 apresenta o número total de coletas realizadas no período estudado, identificou-se inúmeras falhas de coletas no banco de dados VIGIAGUA, pois o total de coletas anuais é inferior à quantidade determinada pelo plano de monitoramento e amostragem do Departamento de Vigilância Ambiental até o ano de 2021, ao qual determinava 36 coletas mensais, considerando esta mesma quantidade, nenhum ponto atenderia, entretanto a ETA-Km 04 estaria próxima da quantidade mínima mensal determinada pelo plano de monitoramento.

Anos de Coleta	Pontos de coletas				
	ETA-Km 04	Alto Alegre	Jaqueira	Mangal	Nova Tucuruí
2020	21	Não realizado	12	Não realizado	16
2021	29	Não realizado	28	1	17
2022	33	2	7	1	1

Tabela 1- Total de coletas de água realizadas no período estudado.

Fonte: Autores (2023).

Desta forma, para o quantitativo de presença ou ausência de agentes microbiológicos (*Coliformes totais e E.coli*), a relação ocorre pela quantidade de amostras examinadas. O ponto de monitoramento localizado na ETA-Km 04 apresentou resultados mais satisfatórios, com um percentual de mais de 80% de amostras com inexistência de agentes microbiológicos.

Conforme Chiarini *et al.* (2022), em seu estudo acerca do diagnóstico das características da água fornecida, identificou resultados satisfatórios nas amostras da saída da estação. Com isso, definiu que a ausência de *E.coli* mostra que está de acordo com os padrões.

Por outro lado, o bairro da Jaqueira apresentou maior quantidade de amostras com resultados insatisfatórios, durante os anos de 2021 e 2022 mais de 70% das amostras coletadas deram presente para coliformes totais, nesta área durante os mesmos anos o valor de Cloro Residual Livre (CRL) em mais de 90% das coletas foram 0 mg/L. Logo, os resultados encontram-se em desacordo com a Portaria MS nº 888/2021.

Entretanto, ao parâmetro de CRL nos três anos trabalhados, apontou que o ponto localizado na Jaqueira durante os dois semestres do ano de 2021, evidenciou valores de média, máximo e mínimo igual a zero, estando em desconformidade ao valor mínimo estabelecido pelas Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, bem como pela Portaria MS nº 888/2021.

Nessa circunstância, dados de pesquisa, quando possuir valores de Cloro Residual Livre inferiores a 0,20 mg/L em uma amostra, aponta-se ineficiência na técnica de desinfecção, um consumo exagerado do cloro residual no sistema de distribuição ou demanda de novos pontos de cloração (recloração) devido a ampliação do sistema (rede de distribuição) (BRASIL, 2017).

Contudo, conforme o plano de monitoramento e amostragem do Departamento de Vigilância Ambiental, o departamento realiza o monitoramento de mais dois parâmetros, sendo estes, Turbidez e pH.

Com base nos dados obtidos a partir do parâmetro turbidez, pode-se analisar que bairro que apresentou a maior média relacionada ao parâmetro, foi o bairro Jaqueira, como média de 5,52 uT, sendo o valor máximo de 16,47 uT, em 2021, o que se encontra fora do parâmetro estabelecido pela Portaria 888/21, bem como pela Portaria de Consolidação nº 5/2017 que estabelece o valor máximo de 5,0 uT. Desta forma, foi observado na saída do tratamento da ETA-Km04, de 8,67 uT, referente ao primeiro semestre de 2022, estando em desconformidade.

Nesse contexto, os valores pH médios obtidos variaram de 4,11 a 5,39. Onde, o maior valor de pH analisado está descrito no ponto da Jaqueira, referente ao segundo semestre de 2022. Contudo, em todas as amostras os resultados apontam para uma água na faixa ácida.

Neste parâmetro, destaca-se também os valores de pH referentes ao ano de 2020, onde conforme o Capítulo V (Padrão de Potabilidade), da Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017, estabelece que os valores de pH para sistema de distribuição devem ser mantidos na faixa de 6,0 a 9,5. Logo, os resultados dos pontos localizados na Jaqueira e Nova Tucuruí denotam valores menores que 6,0 não estando em conformidade com a portaria vigente (BRASIL, 2017).

## **A influência das variáveis socioeconômicas nas ocorrências de DDA**

Os resultados apurados por meio de aplicação de questionários nas áreas trabalhadas, buscou-se compreender qual o perfil da população da área. Nessa ocasião, foram realizadas perguntas sobre: sexo, idade, grau de escolaridade, número de residentes e renda média familiar. Onde, o perfil dos entrevistados apontou que mais de 30% dos interrogados possuem mais de 65 anos.

Já para a análise da variável grau de escolaridade, a pesquisa evidenciou que a maior parte dos residentes dos bairros possuem apenas EFI (Ensino Fundamental Incompleto), onde 41,5% estão no Alto Alegre, 20,6% na Jaqueira, 28,8% no bairro do Mangal e 16,1% para Nova Tucuruí e EMC (Ensino Médio Completo) sendo, 20,8% no Alto Alegre, 31,8% na Jaqueira, 42,4% no Mangal e 37,1% na Nova Tucuruí.

Apesar da abordagem aleatória, os resultados de sua pesquisa mostram semelhanças percentuais próximas para os resultados obtidos para idade e grau de escolaridade (MILAGRES E SAYAGO, 2012).

Entretanto, nas variáveis número de residentes e renda média familiar, observou-se um alto índice de respostas indicando que nos quatro bairros mais de 50% das residências possuíam de 4 a 6 pessoas e um percentual de 25 a 63% com renda média familiar de até um salário-mínimo, neste parâmetro o bairro da Jaqueira se destacou.

Nesse contexto, com relação a percepção dos moradores acerca dos serviços oferecidos pelo Município. Neste bloco, os resultados obtidos apontaram que mais de 80% dos moradores dos bairros Alto Alegre, Jaqueira e Nova Tucuruí não estão satisfeitos com os serviços oferecidos pelo município, assim como o mesmo percentual afirmou que a qualidade da água fornecida é ruim.

Segundo a percepção dos usuários, sobre a qualidade da água no município de Tucuruí, grande parte da população abastecida pelo SAA (Sistema de Abastecimento de Água) classificou a qualidade da água como ruim, vale ressaltar que esta classificação foi realizada com base na cor e gosto (MARINHO, PONTES E BICHARA, 2021).

Quando perguntados sobre a fonte de água para consumo, nesta opção, boa parte dos entrevistados respondeu que compra água mineral e/ou coleta nas escolas. Em suma, os mesmos responderam que suas queixas eram devido a qualidade e cor da água, sendo, respectivamente 69,8% e 28,3% no Alto Alegre, 57,1% e 39,7% na Jaqueira, 55,9% e 35,6% no Mangal e 77,4% e 22,6% em Nova Tucuruí.

## Descrição do monitoramento das Doenças Diarreicas Agudas (DDA)

Para o quantitativo de casos notificados pela Unidade de Pronto Atendimento – UPA do município, agrupados em períodos semestrais, foram tratados pelo *Software BioEstat 5.0*, estes foram analisados com base nas semanas epidemiológicas do município referente aos três anos trabalhados (2020, 2021 e 2022). Para o ano de 2020 o valor médio de número de casos mais elevados ocorreu no 1º semestre, o valor médio de incidência foi de 94,6 casos geral para o município.

É importante ressaltar na pesquisa que os números de casos de DDA nos bairros protocolados pela UPA podem não retratar sua totalidade, mediante a evidência da existência de inúmeros casos subnotificados.

A grande quantidade de casos pode-se justificar em virtude das más condições de saneamento em um determinado território em que há uma população exposta a riscos sanitários e ambientais, às DDA também estão associadas a situações de vulnerabilidade social, inundações, desastres, entre outros (MILAGRES E SAYAGO, 2012).

Em conformidade com os dados trabalhados, a ocorrência de DDA, com base nas semanas epidemiológicas dos anos de trabalhados, analisando casos em cada bairro por semestre. Conforme apresentado, é possível verificar os resultados obtidos através de estatística descritiva, que contém os anos de coleta, os bairros que foram denominados 1 (Alto Alegre), 2 (Jaqueira), 3 (Mangal) e 4 (Nova Tucuruí), a média de casos, desvio padrão, coeficiente de variação, máximo e mínimo.

Para o ano de 2020, o valor médio de número de casos mais elevados ocorreu no 1º semestre no bairro da Jaqueira, o valor médio de incidência foi de 1,8 casos. Quando comparado esta quantidade com a média municipal, nota-se que a incidência no município é superior ao valor dos bairros selecionados (MARINHO, PONTES E BICHARA, 2021)

Os bairros em questão, dispõe apenas do mínimo de serviços de saneamento, ou seja, apesar dos bairros possuírem abastecimento de água público e coleta de resíduos (três vezes) por semana, não possuem os demais serviços de saneamento básico. Deste modo, a população está sujeita a doenças de veiculação hídrica.

Contudo, para o ano de 2021 a média de casos foi de 1,9 no primeiro semestre do ano no bairro do Mangal. Para 2022, os bairros que apresentaram a maior média de casos foram Jaqueira e Alto Alegre, totalizando 1,5 e 1,4 casos no 1º semestre de 2022, respectivamente. Durante as atividades de campo (aplicação de questionários), evidenciou-se que o bairro Alto Alegre se situa nas proximidades de uma área de invasão desprovida de serviços de saneamento conhecida como “Alto do Bode” (este pertence aos limites do bairro do Getat), isto pode justificar a alta incidência de casos de DDA durante o ano de 2022.

Por outro lado, o bairro do Mangal localiza-se às margens do Rio Tocantins, observou-se a ausência de esgotamento sanitário adequado no local e lançamento dos despejos domésticos diretamente no rio.

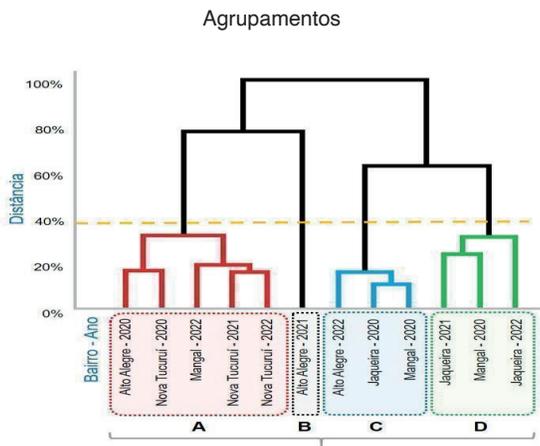
# ANÁLISE HIERÁRQUICA DE AGRUPAMENTOS DOS CASOS DE DDA

## Análise hierárquica de agrupamentos

O número de casos de doença diarreica nos bairros estudados foi tabulado em trimestres do ano durante os anos de 2020 a 2022, com intuito de construir um dendrograma. O dendrograma é baseado na incidência de doença diarreica nos bairros analisados e nos anos estudados, onde os descritores foram as incidências ao longo dos quatro semestres no respectivo ano de estudo.

As distâncias mostradas no dendrograma são normalizadas em relação a maior distância calculada. Deste modo, o dendrograma (Figura 2) apresenta agrupamentos (A, B, C e D), considerando a incidência de doenças diarreicas em determinado bairro e em determinado ano.

Com base no agrupamento realizado por este método, sintetizou-se os tipos de tratamento realizados, para a presente pesquisa a análise se desencadeia por semelhança do número de casos em cada setor estudado. Esta busca compreender quais são as semelhanças encontradas nos diferentes bairros e como influenciaram o número de casos de DDA (GOMES E CAVALCANTE, 2017).



A- Grupo com as menores incidências no ano: 20 a 48 casos.

B- Amostra com elevada incidência em um único trimestre: 44 casos, 4º trimestre.

C- Grupo com as duas maiores incidências no ano (Jaqueira -2020, 73 casos, e Mangal- 2020, 80 casos).

D- Grupo com altas incidências no segundo trimestre do ano (Jaqueira – 2021, 22 casos, Mangal – 2021, 31 casos, e Jaqueira – 2022, 32 casos); e baixas incidências no quarto trimestre (Jaqueira- 2021, 4 casos, Mangal – 2021, 8 casos, e Jaqueira – 2022, 9 casos).

Figura 2. Dendrograma com base na incidência de doença diarreica nos bairros estudados nos anos de 2020 a 2022

Fonte: Autores (2023).

No agrupamento A, estão os bairros/anos com as menores incidências de doenças diarreicas. Em relação ao agrupamento B, tem-se isoladamente o bairro Alto Alegre no ano de 2021, que se caracterizou por apresentar uma elevada incidência de casos (44 casos) num único semestre (4º semestre). Esse foi o maior registro trimestral considerando todos os bairros e os três anos analisados.

Os bairros acima citados encontram-se em direções opostas, o bairro da Nova Tucuruí situa-se mais ao centro da cidade este, é o bairro que apresenta melhores instalações sanitárias, pois 24,2% dos residentes possuem três ou mais banheiros, e 32,26% possuem em seus domicílios fossa séptica ou fossa filtro. Nesse contexto, os bairros trabalhados Jaqueira, Alto Alegre, e Mangal não possuem coleta e tratamento de esgoto, desta maneira a população fica exposta a patógenos e vetores que podem ser responsáveis por ocasionar doenças.

Por outro lado, o bairro (Alto Alegre) apresentou baixa incidência nos demais trimestres de 2021 (menos de dez casos), chegando a não ter nenhum caso registrado no 3º semestre. O agrupamento C tem as duas maiores incidências no período analisado: Jaqueira - 2020, com 80 casos notificados, e Mangal – 2020, 73 casos, seguidos do bairro do Alto Alegre com 62 casos em 2022.

Isto pode ser reafirmado nos resultados obtidos através dos questionários, onde, no bairro do Mangal, Jaqueira e Alto Alegre apontou que mais de 90% dos entrevistados responderam possuir em suas residências de 1-2 banheiros e mais de 44% despejam seus esgotos sanitários em fossas rudimentares ou buraco.

Referente a qualidade da água consumida pela população, a mesma não pode ser garantida como adequada para consumo, uma vez que os bairros Alto Alegre e Mangal não realizaram coletas no ano de 2020 e o bairro da Jaqueira apresentou uma quantidade insuficiente para análise de dados.

O agrupamento D revela altas incidências no segundo trimestre do ano pesquisados (Jaqueira – 2021, 22 casos, Mangal – 2021, 31 casos, e Jaqueira – 2022, 32 casos). A alta incidência ocasionada no ano de 2019 em Tucuruí ressalta a atenção no que tange a saúde ambiental, considerando a evidência da existência de subnotificações e a falta de um sistema de saneamento (RANIERI *et al.*, 2022).

Para este grupo, destaca-se o bairro da Jaqueira no ano de 2021, quando relacionado com os dados do VIGIAGUA, constatou-se que 23 das 28 amostras coletadas para o ano de 2021 indicam presença de coliformes totais. Portanto, a água neste ponto não apresentou adequada, segundo a Portaria nº 888/2021.

Gonçalves *et al.* (2021), em sua pesquisa, apontaram que entre os anos (2018 até 2020) o percentual de casos de diarreia por semana epidemiológica nas aldeias do município variava entre 60 e 86%, neste caso, a incidência está distribuída por bairro, ano e número de casos. Os descritores foram as incidências ao longo dos quatro trimestres no respectivo ano de estudo.

Logo, a realização de análises de dados por bairros de casos de doenças diarreicas permite uma avaliação da área estudada e maior aproximação da realidade local. Portanto, realizar a análise de agrupamento por bairros permitiu compreender o comportamento dos dados nos três anos trabalhados, sendo possível identificar as maiores e menores incidências.

## **Análise de Correlação entre as Variáveis climáticas e epidemiológicas**

Neste eixo temático, são apresentados os dados semanais de temperatura do ar (°C), precipitação pluviométrica (mm) e ocorrências de DDA (em casos), para os anos selecionados, do município de Tucuruí, utilizou-se referência do estudo de Silva, Pimentel e Jardim (2019), 52 semanas epidemiológicas para análise de dados.

Contudo, a ausência de dados referentes a precipitação pluviométrica e a temperatura média compensada nos anos em estudo, foram desconsideradas na análise duas semanas epidemiológicas nº 16 e 17 referente ao ano de 2021 e ainda nº 33 e nº 34 referentes ao ano de 2022. De acordo com o banco de dados disponibilizado pela UPA, em 2020, 2021 e 2022, foram notificados respectivamente 4.564, 3.686 e 3.057 casos de DDA em Tucuruí.

Em 2020 e 2021 o número de ocorrências de DDA diminuiu 19%, e de 2021 a 2022 houve decréscimo de 17% no número de casos no município, os resultados também representam a existência de inúmeros casos subnotificados pela unidade de atendimento de saúde.

Tal como, essa informação causa preocupação uma vez que nos países em desenvolvimento, assim como o Brasil, as disenterias refletem preocupação com a saúde pública da população, visto que é um dos maiores motivos de mortalidade e morbidade em crianças abaixo de cinco anos, acarretando em torno de 20% de mortes, apesar de poder ser facilmente evitável, isto indica que a quantidade de casos pode está diretamente relacionada com as condições socioambientais (MARINHO, PONTES E BICHARA, 2021).

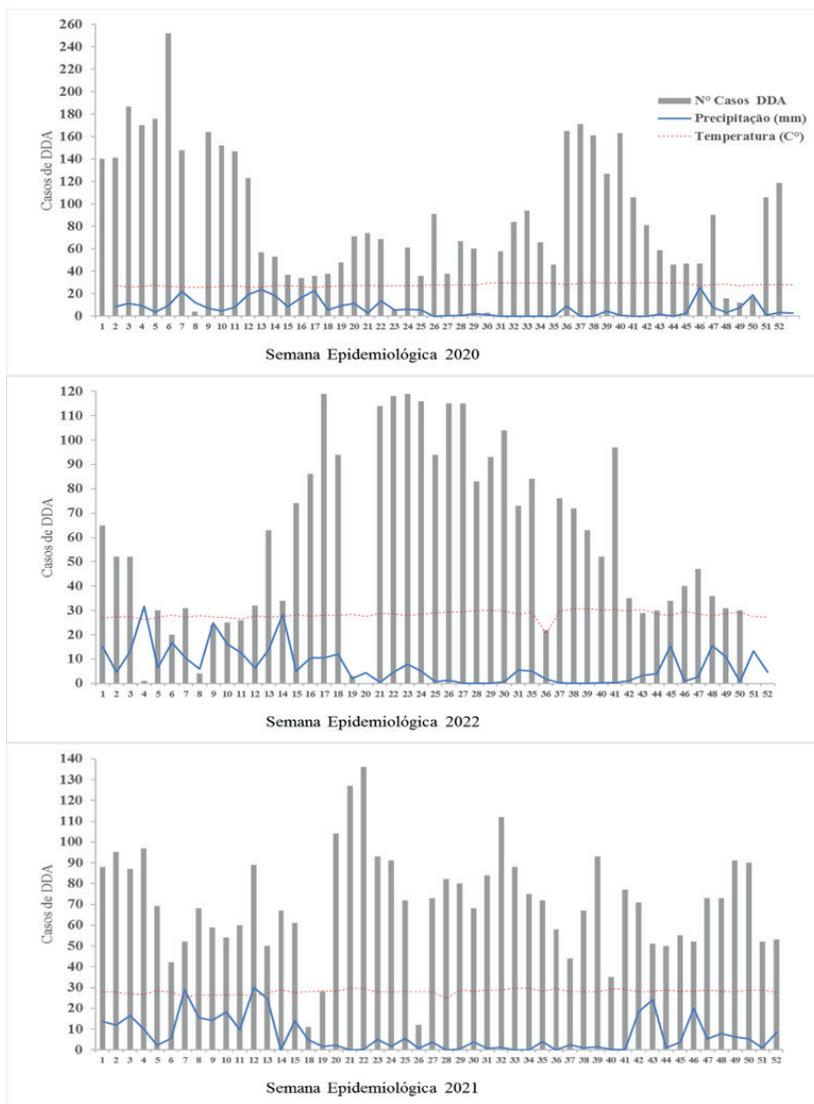


Figura 3. Ocorrências semanais de DDA (em %), temperatura do ar e precipitação pluviométrica o período de 2020 a 2022, em Tucuruí- PA

Fonte: Autores (2023).

O município de Tucuruí-PA, indicou sazonalidade com média mensal de 202,6 mm e duas estações distintas: uma estação chuvosa, do mês de dezembro até maio, e o intervalo seco, que vai do mês de junho a novembro, podendo este sofrer alteração decorrente do microclima causado pela aquosidade para evaporação reconhecido pela criação do lago artificial (LOPES *et al.*, 2020).

De acordo com a análise, observa-se o aumento nas ocorrências de DDA a partir da 3ª semana (mês de janeiro) do ano de 2020, com pico máximo na 6ª semana (mês de fevereiro, 252 casos) ainda na estação chuvosa, nas quais as ocorrências variaram gradativamente até o começo da 36ª semana epidemiológica (165 casos), onde o número de casos aumentou até a 40ª semana epidemiológica (163 casos).

No decorrer de 2021, a notificação da doença tem seu pico máximo na 22ª semana (136 casos), esta corresponde a última semana do mês de maio, término do período chuvoso na região, contudo ocorreram poucas variações no número de casos com o aumento da precipitação.

Em 2022 vê-se crescimento das notificações da doença na 17ª e 23ª semanas epidemiológicas (mês de abril e junho, 80 e 93 casos), no período da 41ª de semana epidemiológica (mês de outubro, 77 casos) há redução contínua, até a última semana epidemiológica referente ao ano. Como nos estudos de Silva, Pimentel e Jardim (2019), não foram evidentes a relação entre aumento no número de casos de doenças tropicais negligenciadas com o aumento da precipitação pluvial, no período estudado.

O teste de correlação de *Spearman* ( $\rho$ ), entre as ocorrências de DDA e as variáveis climáticas (precipitação e temperatura) para os anos de 2020, 2021 e 2022 e suas respectivas significâncias estatísticas, adotando o nível de relevância de 5% ( $p < 0,05$ ). Para os cálculos, foi considerado que havia dados que não seguiam o comportamento da distribuição normal (MEISEN *et al.*, 2011.; PINTO *et al.*, 2022).

Em 2020, as ocorrências de casos de DDA fazendo-se uso do teste não paramétrico de *Spearman*, não identificou correlação fracas (negativas) entre as ocorrências da doença e a temperatura do ar ( $\rho = -0,013$ ;  $p > 0,05$ ) nem a precipitação pluviométrica ( $\rho = -0,016$ ;  $p > 0,05$ ).

Nesse sentido, 2021 procedeu-se à correlação de *Spearman*, que não identificou correlação (positivas ou negativas) entre ocorrências de DDA, temperatura do ar ( $\rho = -0,016$ ;  $p > 0,05$ ) e precipitação pluviométrica ( $\rho = -0,150$ ;  $p > 0,05$ ).

Em 2022, o que teste de *Spearman* identificou correlação positiva e moderada entre as ocorrências de casos de DDA e temperatura do ar ( $r = 0,467$ ;  $p < 0,05$ ) e correlação positiva e moderada entre as ocorrências de DDA e precipitação pluviométrica ( $r = 0,595$ ;  $p < 0,05$ ).

Logo, a correlação obtida nos dados foi considerada fraca, diante disso, não se realizou outros tratamentos estatísticos, apesar dos dados apresentarem comportamento normal, agrupados em quantidade suficiente, assim como atenderam aos requisitos mínimos de correlação (BUSATO *et al.*, 2013).

## CONCLUSÕES

A análise de dados do VIGIAGUA aponta que existem falhas no banco de dados decorrente ao número de amostras nos períodos e bairros estudados, uma vez que o número total de coletas anuais é inferior à quantidade determinada pelo plano de monitoramento e amostragem, deste modo, de acordo com a análise, pode-se verificar que o ponto da saída da ETA- Km 04 apresentou mais coerência com os parâmetros *Coliformes totais* e *E.coli* e cloro residual.

Todavia, o ponto localizado no bairro da Jaqueira que é abastecido pela ETA- Km 04 apresentou índice significativo de amostras com resultados insatisfatórios, para *Coliformes totais* e *E.coli* e cloro residual, por consequência riscos à saúde população, podem estar associados com a inconformidades com os parâmetros estabelecidos pelas Portarias.

De acordo, com o estudo sobre a percepção dos moradores participantes da pesquisa, constatou-se que a principal insatisfação dos serviços de saneamento foi referente a qualidade da água por apresentar padrões organolépticos não aceitos pelos entrevistados, o que torna necessária a busca por fontes alternativas para o consumo humano, aumentando os custos e riscos para a população.

A análise temporal constatou a diminuição do número de casos de DDA entre os anos de 2020, 2021 e 2022. No período analisado, houve padrão sazonal com maiores ocorrências da DDA no primeiro semestre no município nos 2020 (média 94,6), 2021(média 71,9) e 2022 (média 60,2), no qual foram registrados maiores índices de chuvas e temperaturas mais amenas, sendo observado redução no número de registros da doença no segundo semestre, que coincide com o período de estiagem da região.

Em 2022, a precipitação pluviométrica e temperatura do ar correlacionou-se positivamente com os casos de DDA, contudo sugere-se que novos estudos sejam realizados com uma maior abrangência de períodos estudados.

Portanto, de acordo com o estudo é possível destacar que falta dos serviços de saneamento e deficiências no SAA são condicionantes para a progressão das doenças diarreicas agudas (DDA), logo melhorias no SAA e condições socioeconômicas, devem ser adotadas com a finalidade de diminuir os riscos à saúde da população.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, E. S. et al. **Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado e indicadores socioeconômicos na Amazônia brasileira**. Research, Society and Development, v. 9, n. 9, p. e771997302-e771997302, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7302>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **DATASUS**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

BRASIL. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.** Dispõe sobre a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2017. Disponível em: [http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria\\_Consolidacao\\_5\\_28\\_SETEMBRO\\_2017.pdf](http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf). Acesso em: 23 jul. 2023.

BRASIL. **Portaria GM/SM nº888, de 4 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2021. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 20 jun. 2023.

BRITO, F. S. L. et al. **Comparação dos serviços de saneamento básico em bairros da cidade de Belém-Pa.** In: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente. 2018.

BUSATO, M. A. et al. **Distribuição de doenças diarreicas agudas em municípios do estado de Santa Catarina.** Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, v. 9, n. 16, p. 18, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/download/20951/12451/87716>. Acesso em: 15 maio 2023.

CASTRO, M. B.; NETO, J. C. A. D. S. **Influência Hidroclimática nas Interações por Diarreia Aguda, Manaus, Amazonas, Brasil.** Revista Geonorte, v. 14, n. 43, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/10900/8478>. Acesso em: 10 maio 2023.

CASTRO, R. S. D.; CRUVINEL, V. R. N.; OLIVEIRA, J. L. D. M. **Correlação entre qualidade da água e ocorrência de diarreia e hepatite A no Distrito Federal/Brasil.** Saúde em debate, v. 43, p. 8-19, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/kDsVZRQxJ4w4Z9YZCsc4w6w/>. Acesso em: 18 maio 2023.

CHIARINI, G. S. et al. **Análise da qualidade da água distribuída na cidade de Altamira-PA.** Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 11, n. 15, p. e77111536531, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/36531>. Acesso em: 15 abr. 2023.

GOMES, M. C. R.; CAVALCANTE, I. N. **Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea.** Águas subterrâneas, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28617/18693>. Acesso em: 25 abr. 2023.

GONÇALVES, M. et al. **Doenças diarreicas agudas e a qualidade da água na aldeia Trocará (Tucuruí/Pará/Brasil): um estudo estatístico.** 10 f, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Campus Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2021. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/handle/prefix/3484>. Acesso em: 14 abr. 2023.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados.** 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/tucuru/panorama>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. D. A. **Fundamentos de metodologia científica.** 7.ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LOPES, L. N. A.; LIRA, B. R. P.; TEIXEIRA, L. C. G. M.; COSTA, L. S.; SOUSA, A. A. do N. **Análise da variabilidade da precipitação frente às mudanças no uso da terra no município de Tucuruí-PA**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 3, p. e186932726, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i3.2726. Disponível em: <https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2726>. Acesso em: 01 jul. 2023.

MARINHO, A. C. D. S. M.; PONTES, A. N.; BICHARA, C. N. C. **Perfil epidemiológico de doenças diarreicas agudas notificadas em um município da Amazônia paraense**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 5, p. 51582-51596, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/30269/23806>. Acesso em: 10 maio 2023.

MEISEN, M. N. et al. **Análise de correlação da ocorrência de Doenças Diarreicas Agudas (DDA) com a qualidade da água para consumo humano no município de Pouso Redondo-SC**. Revista de Estudos Ambientais, v. 13, n. 2, p. 57-67, 2011. Disponível em: <https://bu.furb.br/ojs/index.php/real/article/view/2673/1803>. Acesso em: 15 abr. 2023.

MILAGRES, V. R.; SAYAGO, D. A. V. **Qualidade da água e doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI): uma abordagem perceptiva com os moradores do Distrito Taquaruçu, Palmas (TO)**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 5, n. 6, p. 1317-1332, 2012. Disponível em: <https://www.realp.uevora.pt/content/download/468/1796/file/516-2473-1-PB.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

RANIERI, C. L. W. et al. **Correlação da ocorrência de doenças diarreicas agudas (DDA) com fatores sanitários e ambientais no município de Tucuruí-Pa**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 8, n. 5, p. 793-805, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/5515/2082>. Acesso em: 16 abr. 2023.

SANTOS, G. E. O. **Cálculo Amostral**. 2014. Disponível em: <http://www.praticaclinica.com.br/anexos/c colaborativa-calculo-amostal/ccolaborativa-calculo-amostal.php>. Acesso em: 12 maio 2023.

SILVA, J. P. D.; PIMENTEL, M. A. D. S.; JARDIM, M. A. G. **A influência da precipitação e da temperatura sobre as ocorrências de febre chikungunya no município de Belém do Pará, Brasil**. Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB), n. 53, p. 81-96, 2019. Disponível em: [https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes\\_RBCIAMB/article/download/243/489](https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/download/243/489). Acesso em: 15 maio 2023.

SILVA, R. O. D.; SILVA, A. B. **Diagnóstico do sistema de abastecimento de água na zona urbana sob a percepção do usuário no município de Tucuruí-PA**. Revista de Ciência e Tecnologia, v. 7, 2021. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/y72sbsaohrbcxgdsrpb6zk7kq/access/wayback/https://revista.ufr.br/rct/article/download/6839/3372>. Acesso em: 02 jun. 2023.

WARD JUNIOR, J. H. **Hierarchical grouping to optimize an objective function**. Journal of the American statistical association, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1963.10500845>. Acesso em: 01 jun. 2023.

**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA:** Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), licenciado em Química (2011) e Bacharel em Química Industrial (2023) pela Universidade de Uberaba, licenciado em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única. Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Docência do Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho pela Universidade Federal do Piauí (2022) e em Química Analítica pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo (2024). Mestre (2015) e doutor (2018) em Química Analítica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Estágio Pós-Doutoral (de maio de 2020 a dezembro de 2023) na UFU com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes para remoção de Contaminantes de Preocupação Emergente (CPE) em efluentes de ETE, utilizando a radiação solar como catalisador. Atuou como Técnico de Laboratório/Química no Instituto Federal de Goiás (junho/2010 até janeiro/2022), instrutor de Formação no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) em Minas Gerais e Goiás e químico e responsável técnico pelos laboratórios da Unicesumar/Polo Patrocínio (março/2023 a janeiro/2024). Atualmente, é professor concursado e lotado no Colégio Militar de Araguaína/TO. Atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos;; (ii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iii) Aplicação de processos oxidativos avançados ( $H_2O_2/UV-C$ ,  $TiO_2/UV-A$  e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (iv) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (v) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências da Natureza, em especial biologia e química. É membro do corpo editorial da Atena Editora desde 2021 e já organizou mais de 75 e-books e publicou 40 capítulos de livros nas diferentes áreas de Ciências da Natureza, Engenharia Química e Sanitária/Ambiental, Meio ambiente dentre outras áreas afins.

**A**

Açúcares não-redutores 3

Açúcares redutores 1, 3, 4

Açúcares totais 3

Açudes 12, 19

Agentes microbiológicos 46

Água 1, 3, 4, 7, 12, 14, 17, 19, 20, 28, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 54, 55, 56

Amido 1, 2, 3, 4, 5, 7

**B**

Bentônicos 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20

Bioindicadores 11, 13

**C**

Caatinga 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20

Cadeias tróficas 12

Cloro residual livre 46

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 23

Corpo receptor 23, 25, 31

**D**

Degradação ambiental 11, 17

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) 1, 5, 23, 34

Demanda Química de Oxigênio (DQO) 1, 3, 5, 23, 32, 35

Doenças Diarreicas Agudas (DDA) 37, 38, 39, 43, 48, 54, 55, 56

**E**

Ecosistemas aquáticos 11, 12, 13, 18, 19, 32

Efluentes 18, 22, 23, 25, 32, 34, 35, 36, 57

Enzimas 1

Escassez hídrica 12

Estação de Tratamento de Água (ETA) 40

Estação de tratamento de esgoto 22, 25, 33, 36

Etanol 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9

**F**

Fermentação 1, 4, 6, 7, 9

Frutose 3, 5

**G**

Glicose 3, 5, 7

**H**

Hidrólise-sacarificação 4

**L**

Levedura 1, 4, 5, 6, 7

**M**

Macroinvertebrados 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20

Mandioca 1, 2, 3, 5, 8, 9

Microrganismos patogênicos 39

**O**

Organização Mundial de Saúde (OMS) 39

**P**

Perfil epidemiológico 37, 39, 56

Potabilidade 39, 43, 45, 47, 55

Precipitação 34, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 51, 52, 53, 54, 56

**Q**

Qualidade da água 34, 37, 38, 39, 43, 44, 45, 47, 50, 54, 55, 56

**R**

Reservatórios 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 35, 41

Resíduos 1, 3, 9, 24, 26, 48, 57

Riacho Croatá 13, 15, 16, 17

**S**

*Saccharomyces cerevisiae* 4

Saneamento 22, 37, 38, 39, 40, 42, 48, 50, 54, 55, 56

Saúde ambiental 10, 11, 12, 13, 17, 18, 50

Sazonalidade 30, 36, 38, 52

Sólidos sedimentáveis 22, 25, 26, 27, 30, 34

**T**

Temperatura 4, 12, 23, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 51, 52, 53, 54, 56

Teste de *Spearman* 58

Tucuruí 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 47, 48, 50, 51, 52, 55, 56

Turbidez 1, 5, 22, 25, 26, 33, 34, 35, 43, 45, 46

**U**

Unidade de Saúde da Família (USF) 42

# ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

QUALIDADE, PRODUTIVIDADE  
E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

-  [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)

# ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

QUALIDADE, PRODUTIVIDADE  
E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

-  [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)