



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI – UFCA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL  
SUSTENTÁVEL – PRODER**

**PRISCILLA BARBOSA DE ARAÚJO MOREIRA**

**DEGRADAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS: IMPACTOS DA EROÇÃO NA  
QUALIDADE DA ÁGUA EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO**

**CRATO - CE**

**Outubro/2022**

PRISCILLA BARBOSA DE ARAÚJO MOREIRA

**DEGRADAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS: IMPACTOS DA EROSÃO NA  
QUALIDADE DA ÁGUA EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), da Universidade Federal do Cariri (UFCA), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

**Orientador(a):** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Maria Gorethe de Sousa Lima

**Coorientador(a):** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Ana Patrícia Nunes Bandeira

**CRATO - CE**

**Outubro/2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.  
Universidade Federal do Cariri.  
Sistema de Bibliotecas

---

- M838d    Moreira, Priscilla Barbosa de Araújo.  
          Degradação de ambientes aquáticos : impactos da erosão na qualidade da água em uma  
          unidade de conservação / Priscilla Barbosa de Araújo Moreira. – 2022.  
          102 f.: il. color.30 cm
- Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento  
          Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2022.
- Orientação: Profa. Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima.  
          Coorientação: Profa. Dra. Ana Patrícia Nunes Bandeira.
1. Qualidade do solo. 2. Solo - Uso e ocupação. 3. Recursos hídricos. 4. Processos erosivos.  
          I. Título.

---

CDD 551.302063

Bibliotecária: Glacínésia Leal Mendonça  
CRB 3/ 925


PRISCILLA BARBOSA DE ARAÚJO MOREIRA

**DEGRADAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS: IMPACTOS DA EROSÃO NA  
QUALIDADE DA ÁGUA EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), da Universidade Federal do Cariri (UFCA), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 14/10/2022.


**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 MARIA GORETHE DE SOUSA LIMA BRITO  
Data: 06/11/2022 16:13:05-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Maria Gorethe de Sousa Lima Brito (Orientadora)

UFCA

Documento assinado digitalmente  
 ANA PATRICIA NUNES BANDEIRA  
Data: 05/11/2022 23:58:55-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Ana Patrícia Nunes Bandeira (Coorientadora)

UFCA



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Ana Celia Maia Meireles (Membro Interno)

UFCA



---

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (Membro Externo)

UFC

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por todas as maravilhas que Ele fez e faz por mim. Sem Ele nada sou, Obrigada meu Deus!

Aos meus pais, José Osmar e Helenice, por todo amor, cuidado, compreensão e dedicação para comigo e minhas irmãs. Tenho orgulho de ser filha de vocês, meu amor é eterno.

Ao meu esposo Francisco Gleson, que nos momentos mais difíceis esteve sempre comigo me apoiando, aconselhando e ajudando para que conseguisse concluir com este projeto. Obrigada meu amor por todo carinho, cuidado, paciência e dedicação. Te amarei até o fim dos meus dias.

As minhas irmãs, Natália e Milena, sobrinho/afilhado Levi, meus cunhados, Josildo e Maxwell, minha prima Natany e seu esposo Jamerson, por todo apoio e incentivo para que eu chegasse até aqui.

A todos das Famílias Barbosa, Araújo e Moreira que mesmo que indiretamente me deram forças e torceram por mim.

Família, obrigada por tudo e por tanto!

As minhas orientadoras Maria Gorethe e Ana Patrícia por toda orientação, paciência, incentivo e dedicação confiada a mim, contribuindo para meu crescimento acadêmico e profissional.

A banca examinadora, professora Ana Célia e professor Fernando José, pelas excelentes contribuições científicas que foram de grande valor para o desenvolvimento deste trabalho.

As minhas amigas Ana Beatriz e Yanka Wandréia pelo apoio, incentivo, conselhos e compartilhamentos de muitas alegrias, tristezas e conquistas.

Aos amigos e colegas do PRODER, em especial: a Lucas Fernandes, Fernanda Damasceno, Vinicius Alves, Yago, Vinicius Pereira, Leôncio; aos técnicos de laboratório: Diana, Lucimara, Samuel e Marcel e meu amigo Elvis Alves por todo conhecimento, ensinamento e aprendizado compartilhado que contribuíram para a concretização dessa pesquisa.

E a todos os envolvidos da UFCA e ao Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER) que proporcionaram todos os meios necessários para a conclusão do Mestrado e a FUNCAP pelo apoio financeiro concedido para auxiliar na realização desta pesquisa.

## RESUMO

As ocorrências de processos erosivos, devido ao mal uso e ocupação do solo, são consideradas um dos principais problemas ambientais mais preocupantes enfrentados atualmente. Em Unidades de Conservação, a ocorrência destes processos acarreta riscos à estabilidade quantitativa e qualitativa de todo um sistema, sobretudo a água e o solo. Nesse contexto, a área de drenagem da Lagoa dos Macacos, localizada em uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, o Parque Natural Municipal das Timbaúbas, em Juazeiro do Norte – CE, tem apresentado diversos processos erosivos. Associado a este fato, o referido Parque recebe diariamente lançamentos de águas cinzas provenientes de galerias de águas pluviais. Isto posto, esta pesquisa tem o objetivo de avaliar a influência do lançamento de águas cinzas no processo erosivo na borda da Lagoa dos Macacos e, em consequência, na qualidade da água desta lagoa. Para avaliação da qualidade da água foram determinados os parâmetros pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e sólidos sedimentáveis. O solo, por sua vez, foi avaliado por meio da análise de pH, condutividade elétrica, carbono orgânico total, carbono lábil e carbono solúvel. A erodibilidade dos solos foi determinada por meio dos ensaios de granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, densidade real dos grãos, dispersão rápida, ensaio de desagregação e estabilidade de agregados. Dos resultados obtidos foi verificado que, apesar das águas cinzas terem alterado o conteúdo de matéria orgânica na área de borda da lagoa, as características mecânicas do solo, avaliadas nesta pesquisa, não foram alteradas. Porém, devido ao aporte, também direto, de águas cinzas para a lagoa, associado ao transporte de partículas de solo erodido durante o escoamento superficial, foi constatado que as condições de qualidade das águas da lagoa pesquisada não atendem ao estabelecido pela Resolução nº 357 do CONAMA, para corpos d'água de Classe 1. Diante destes resultados, infere-se que é necessário que o órgão gestor desta Unidade de Conservação elabore seu Plano de Manejo e faça cumprir, dentre outras, as ações voltadas para atender ao objetivo mandatário desta unidade, que é o de preservar os ecossistemas naturais e seus elementos físicos e biológicos de relevância ecológica, para a garantia e manutenção dos serviços ecossistêmicos, dentre os quais, destacam-se, a contribuição para a provisão de água e a regulação do solo.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo, uso e ocupação, recursos hídricos, processos erosivos.

## ABSTRACT

The occurrences of erosive processes, due to the misuse and occupation of the soil, are considered one of the most worrying environmental problems currently faced. In Conservation Units, the occurrence of these processes entails risks to the quantitative and qualitative stability of an entire system, especially water and soil. In this context, the drainage area of Lagoa dos Macacos, located in an Integral Protection Conservation Unit, the Municipal Natural Park of Timbaúbas, in Juazeiro do Norte - CE, has presented several erosive processes. Associated with this fact, the aforementioned Park receives daily releases of gray water from rainwater galleries. That said, this research aims to evaluate the influence of gray water release on the erosive process at the edge of Lagoa dos Macacos and, consequently, on the water quality of this lagoon. To evaluate the water quality, the parameters pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total solids, suspended solids, dissolved solids and sedimentable solids were determined. The soil, in turn, was evaluated through the analysis of pH, electrical conductivity, total organic carbon, labile carbon and soluble carbon. Soil erodibility was determined through granulometry, liquidity limit, plasticity limit, real grain density, rapid dispersion, disaggregation test and aggregate stability. From the results obtained, it was verified that, despite the gray waters having altered the content of organic matter in the pond's edge area, the mechanical characteristics of the soil, evaluated in this research, were not altered. However, due to the also direct input of gray water to the lake, associated with the transport of soil particles eroded during surface runoff, it was found that the water quality conditions of the studied lake do not meet the requirements of Resolution No. 357 of CONAMA, for Class 1 water bodies. In view of these results, it is inferred that it is necessary for the managing body of this Conservation Unit to prepare its Management Plan and enforce, among others, the actions aimed at meeting the mandatory objective of this unit, which is to preserve natural ecosystems and their ecologically relevant physical and biological elements, for the guarantee and maintenance of ecosystem services, among which, the contribution to water supply and soil regulation stand out .

**Keywords:** Soil quality, use and occupation, water resources, erosive processes.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Triângulo textural proposto por Lemos e Santos (1996).....	25
<b>Figura 2.</b> Triângulo textural proposto por Araujo (2000).....	26
<b>Figura 3.</b> Comportamento do solo no ensaio de desagregação.....	27
<b>Figura 4.</b> Localização do município de Juazeiro do Norte-CE.....	34
<b>Figura 5.</b> Localização do Parque Natural Municipal das Timbaúbas.....	36
<b>Figura 6.</b> Fluxograma simplificado das etapas metodológicas.....	38
<b>Figura 7.</b> Localização dos pontos de amostragem.....	40
<b>Figura 8.</b> Desenho esquemático do PMNT, localizado em Juazeiro do Norte – CE, ilustrando a divisão da LAM nas áreas sul e norte e o canal de drenagem natural que interliga as duas áreas da lagoa.....	42
<b>Figura 9.</b> Bairros do entorno do PNMT em Juazeiro do Norte-CE.....	43
<b>Figura 10.</b> Lançamento de águas cinzas por meio da galeria pluvial na Lagos dos Macacos.....	43
<b>Figura 11.</b> Locais dos pontos de coleta do solo.....	44
<b>Figura 12.</b> Pontos de amostragem de solo alagados.....	45
<b>Figura 13.</b> Processo de extração do solo indeformado.....	47
<b>Figura 14.</b> Equipamentos utilizados no ensaio de estabilidade de agregados.....	51
<b>Figura 15.</b> Curva granulométrica das amostra de solo.....	53
<b>Figura 16.</b> Classificação dos solos pelo Triângulo Textural do solo.....	55
<b>Figura 17.</b> Resultado do ensaio Crumb Test.....	57
<b>Figura 18.</b> Comportamento final das amostras quando submetidas a imersão total.....	59
<b>Figura 19.</b> Valores de diâmetros médios ponderados (DMPs e DMPu) para os solos estudados.....	60
<b>Figura 20.</b> Sentido de fluxo da Lagoa dos Macacos.....	68
<b>Figura 21.</b> <i>Boxplot</i> dos dados referentes a variável DBO <sub>5</sub> .....	75
<b>Figura 22.</b> <i>Boxplot</i> dos dados referentes a variável OD.....	75
<b>Figura 23.</b> <i>Boxplot</i> dos dados para a variável Sólidos Dissolvidos.....	76
<b>Figura 24.</b> <i>Boxplot</i> dos dados referente a variável pH.....	76
<b>Figura 25.</b> Córrego poluído no interior do PNMT.....	77
<b>Figura 26.</b> Posto de abastecimento de água da CAGECE, próximo a lagoa poluída no interior do PNMT.....	77
<b>Figura 27.</b> Ponto de amostragem do solo 1.....	81



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classes de estabilidade de agregados do solo de acordo com o DMP.....	29
<b>Tabela 2.</b> Resumo da caracterização física dos solos.....	54
<b>Tabela 3.</b> Fator de erodibilidade (K) para os solos, conforme Oliveira e Araujo (2018). .....	54
<b>Tabela 4.</b> Valores de diâmetros médios ponderados (DMPs e DMPu) e índice de estabilidade de agregados (IEA) para os solos estudados.....	60
<b>Tabela 5.</b> Estatística descritiva das análises físico-químicas da água da Lagoa dos Macacos, localizado no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, em Juazeiro do Norte - CE.....	63
<b>Tabela 6.</b> Pontos de coleta onde foram obtidos os maiores desvios padrões dos dados dos parâmetros analisados. ....	64
<b>Tabela 7.</b> Relação DBO/DQO obtidas nos pontos de amostragem.....	66
<b>Tabela 8.</b> Percentual de matéria orgânica (MO) e índice de estabilidade de agregados (IEA) para os solos estudados. ....	79
<b>Tabela 9.</b> Estatística descritiva das análises físico-químicas do solo. ....	79

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Parâmetros físico-químicos, e seus respectivos métodos de análise, determinados em amostras de água coletadas na LAM, localizada no PNMT, em Juazeiro do Norte - CE.	41
<b>Quadro 2.</b> Parâmetros físico-químicos e métodos de análise. ....	46
<b>Quadro 3.</b> Ensaio do Solo. ....	47
<b>Quadro 4.</b> Graus de dispersão do solo. ....	49
<b>Quadro 5.</b> Classificação proposta por Holmgren e Flanagan (1997), quanto aos tipos de reação à inundação do solo. ....	50
<b>Quadro 6.</b> Descrição do comportamento dos solos no ensaio de desagregação. ....	58
<b>Quadro 7.</b> Resumo dos métodos avaliativos da erodibilidade do solo. ....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Amostra Controle

AS1 – Amostra de Solo 1

AS2 – Amostra de Solo 2

ASTM – American Society for Testing and Materials

C – Carbono

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará

C<sub>c</sub> – Coeficiente de Curvatura

CE – Condutividade Elétrica

Clábil – Carbono Lábil

COGERH – Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

CS – Carbono Solúvel

C<sub>u</sub> – Coeficiente de Uniformidade

CV – Coeficiente de Variação

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DMPs – Diâmetro Médio Ponderado por Via Seca

DMP<sub>u</sub> – Diâmetro Médio Ponderado por Via Úmida

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DP – Desvio Padrão

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

IEA – Índice de Estabilidade de Agregados

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

K – Fator de Erodibilidade do Solo

LAM – Lagoa dos Macacos

MO – Matéria Orgânica

PARNA – Parque Nacional

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNMT – Parque Natural Municipal das Timbaúbas

SD – Sólidos Dissolvidos

SEMACE – Superintendência Estadual do Meio Ambiente

SNUC – Sistema Nacional de Unidade de Conservação

SS – Sólidos Suspensos

SSed – Sólidos Sedimentáveis

ST – Sólidos Totais

SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos

UC – Unidade de Conservação

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	16
<b>2.1. Objetivo Geral</b> .....	16
<b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
<b>3.1. Aspectos legais relacionados à preservação ambiental de Área de Proteção Integral</b> .....	17
<b>3.2. Impacto da erosão na qualidade do solo e de ecossistemas hídricos</b> .....	21
<b>3.3. Processos erosivos em bordas de corpos hídricos</b> .....	23
3.3.1. Aspectos físicos, químicos, mineralógicos, biológicos nos processos erosivos	23
3.3.2. Métodos de avaliação da erodibilidade.....	23
3.3.3. Métodos de avaliação da qualidade do solo.....	29
3.3.4. Métodos de avaliação da qualidade da água .....	31
<b>3.4. Área de estudo: Parque Natural Municipal das Timbaúbas</b> .....	34
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	38
<b>4.1. Tipo de Pesquisa</b> .....	38
<b>4.2. Amostragem e métodos de análise físico-química da água e do solo</b> .....	39
<b>4.3. Ensaio da caracterização mecânica e avaliação da erodibilidade dos solos</b> .....	46
4.3.1. Caracterização física do solo .....	48
4.3.2. Ensaio para avaliação indireta da erodibilidade do solo .....	48
4.3.2.1. Ensaio de Dispersão Rápida ( <i>Crumb Test</i> ) .....	48
4.3.2.2. Ensaio de Desagregação ( <i>Slaking Test</i> ).....	49
4.3.2.3. Ensaio da Estabilidade de Agregados .....	50
<b>4.4. Análise Estatística</b> .....	52
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	53
<b>5.1. Avaliação indireta da erodibilidade a partir da caracterização física do solo</b> ..	53
<b>5.2. Ensaio para avaliação indireta da erodibilidade do solo</b> .....	55
5.2.1. Ensaio de Dispersão Rápida ( <i>Crumb Test</i> ) .....	55
5.2.2. Ensaio de Desagregação ( <i>Slaking Test</i> ).....	57

5.2.3. Ensaio da Estabilidade de Agregados .....	60
<b>5.3. Estatística descritiva dos dados.....</b>	<b>62</b>
5.3.1. Caracterização físico-químicos da água da Lagoa dos Macacos. ....	62
5.3.2. Atendimento às condições de qualidade e aos padrões estabelecidos na Resolução nº 357/05 do CONAMA .....	74
5.3.3. Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos determinados em amostras de solo	78
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>102</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da ocupação urbana não tem sido acompanhado pelos serviços de infraestrutura urbana em geral e, especificamente, pelo saneamento básico. Esse fator tem provocado uma pressão intensa no meio ambiente resultando na degradação ambiental e perda da qualidade de vida da população (SILVA *et al.*, 2017a).

A ausência de esgotamento sanitário, por exemplo, na grande maioria dos municípios brasileiros, contribui para a prática de descargas de efluentes domésticos e industriais em sistemas de drenagens naturais. Essa ação intensifica os problemas de poluição dos mananciais superficiais e subterrâneos (em casos de bacias de drenagem que possibilitam a infiltração da água no solo) agravando ainda mais os problemas de escassez hídrica.

O uso e ocupação do solo de maneira inadequada é outra importante causa de degradação do meio ambiente urbano. Nas grandes cidades brasileiras, as consequências da ocupação desordenada são reveladas através dos desastres naturais, que têm sido cada vez mais frequentes nos últimos anos, como os deslizamentos, erosões intensas e inundações, que têm provocado dezenas de vítimas fatais e enormes prejuízos financeiros aos cofres públicos. Salienta-se que o solo deve ser ocupado adequadamente, obedecendo os critérios técnicos elencados nas diretrizes das legislações municipais, uma vez que é um recurso natural que é responsável pela produção de alimentos e exercício das funções ecossistêmicas, tais como: (i) a estocagem e ciclagem de nutrientes, (ii) auxílio no crescimento da vegetação e (iii) na filtragem e regulação do fluxo de água para o lençol freático (SILVA *et al.*, 2020).

As ocorrências de processos erosivos, devido ao mal uso e ocupação do solo, são consideradas um dos principais problemas ambientais mais preocupantes enfrentados atualmente, devido a perda de solo agricultável, assoreamento dos mananciais, deslizamentos de terras e perdas de nutrientes do solo (FERNANDES, 2015).

Conforme apresentado em Admas *et al.* (2022), a erosão do solo conduz a sérios problemas tanto para a produção agrícola, devido a remoção da parte superior do solo fértil rico em matéria orgânica (MO), quanto para o assoreamento de lagos, reservatórios e canais fluviais intensificando os alagamentos e degradando os serviços ecossistêmicos locais.

Neste contexto está a área de drenagem da Lagoa dos Macacos, situada no Parque Natural Municipal das Timbaúbas (PNMT), localizado no município de Juazeiro do Norte – CE. Este parque foi enquadrado pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), em 2017, como uma Unidade de Conservação de Proteção Integral com o

objetivo de preservar os ecossistemas naturais, dentre os quais destacam-se os recursos hídricos nele existentes (Lagoa dos Macacos e um trecho do Riacho dos Macacos). Porém, ao longo dos anos, este Parque vem sendo urbanizado para atrair visitantes e oferecer espaços de assistência à saúde, esporte e lazer à população, tais como o Centro de Reabilitação e a Oficina Ortopédica, Centro de Iniciação ao Esporte (CIE), a piscina semiolímpica, trilhas pavimentadas, anfiteatro, quiosques, playground e quadras de vôlei e de futebol. Contudo, para a construção destas obras de urbanização, foi necessário remover a vegetação de expressivas áreas do Parque e impermeabilizá-las. Em relação a este aspecto, já é de conhecimento dos especialistas da área de solos, que a supressão da vegetação e a impermeabilização do solo aumentam a velocidade de escoamento superficial da água, principalmente em áreas com solo exposto, contribuindo para aumentar o potencial de erodibilidade dos solos.

Os processos de erosão que vêm ocorrendo na área do PNMT, identificados por Macêdo (2019) e Sá (2020), apresentam indícios de transporte de partículas de solo desagregadas para o interior da Lagoa dos Macacos, o que pode alterar desfavoravelmente a qualidade de suas águas. Além disso, essa área tem sofrido, ao longo dos anos, intensa pressão antrópica associada aos despejos irregulares de efluentes sanitários na borda da lagoa.

Nesse contexto, sendo o PNMT um local de turismo ecológico, recreação e preservação ambiental e, segundo Sá (2021), sendo a Lagoa dos Macacos um importante contribuinte para a recarga do aquífero local que abastece o município, faz-se necessário analisar a influência do escoamento de esgotos sanitários nos processos erosivos, ocorridos na borda da lagoa, e na qualidade da água desse corpo hídrico.

Isto posto, foi formulada a seguinte hipótese para esta pesquisa: o aporte de efluentes domésticos e/ou industriais pode estar agravando o processo erosivo do solo nas bordas da Lagoa dos Macacos do PNMT, localizado em Juazeiro do Norte – CE, e, em consequência, alterando as características físicas e químicas do solo e da água.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a influência do lançamento de esgotos no processo erosivo do solo das bordas da Lagoa dos Macacos, localizada no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, em Juazeiro do Norte – CE, e sua influência nas características físico-químicas do solo e da água desta lagoa.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar o grau de erodibilidade do solo da área da borda da LAM que recebe contribuição de esgotos sanitários e da área não antropizada (área de referência) por meio de ensaios geotécnicos de laboratório.
- Identificar os tipos e conteúdo de matéria orgânica, a condutividade elétrica e o potencial hidrogeniônico de partículas de solo em áreas poluídas por esgotos e em área de referência.
- Avaliar as características físico-químicas da água da Lagoa dos Macacos, quanto as concentrações de material orgânico, sólidos, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico.
- Avaliar se as condições de qualidade das águas da lagoa pesquisada, notadamente em relação aos parâmetros DBO<sub>5</sub>, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos e pH, atendem ao estabelecido pela Resolução nº 357 do CONAMA, considerando seu uso mais restritivo.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Aspectos legais relacionados à preservação ambiental de Área de Proteção Integral

A Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação (UCs), versa em seu artigo 2º, inciso I, a definição de Unidades de Conservação como sendo:

Unidade de Conservação: espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

A partir desta Lei, o Brasil foi o país no mundo que mais criou Unidades de Conservação (DIAS; PEREIRA, 2010). Em 2020, o Brasil já possuía 2.446 UCs nas esferas Federal, Estaduais e Municipais, cujas áreas somadas atingem em torno de 250.619.900ha (SNIF, 2020), o que corresponde a aproximadamente 29,43% do território nacional.

Silva *et al.* (2019a) afirmam que, com a publicação da Lei 9.985/2000, foi possível desenvolver um conjunto de normas jurídicas e técnicas que permitissem a gestão adequada das UCs, atentando para os objetivos e diretrizes de cada atividade e indicando os procedimentos necessários para as tomadas de decisões nas diferentes esferas da gestão.

As Unidades de Conservação estão divididas em dois grupos: i) as de Uso sustentável, cujo objetivo é conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos seus recursos naturais; e ii) as de Proteção Integral, destinadas a preservarem a natureza, sendo permitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000). O grupo das Unidades de Proteção Integral é composto pelas seguintes categorias: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio da Vida Silvestre.

Para implantação de uma UC é necessário a elaboração de um Plano de Manejo que corresponde a um documento técnico que estabelece o zoneamento e as diretrizes que devem gerir o uso da terra e o manejo dos recursos, bem como implantação de estruturas físicas indispensáveis para a gestão da unidade (BRASIL, 2000). A elaboração do Plano de Manejo é feita por meio de informações existentes e com base em dados sobre a UC e sua zona de amortecimento (MELO *et al.*, 2020).

Para Lopes *et al.* (2019) o zoneamento ambiental é “uma ferramenta importante que possibilita a espacialização de unidades homogêneas reconhecidas por meio de parâmetros físico-ambientais e/ou socioeconômicos, que irão atuar como diretrizes no processo de ocupação e manejo de unidades de conservação (UC)”.

O art. 25 da Lei do SNUC estabelece que todas as categorias de UC devem possuir a zona de amortecimento, exceto Área de Proteção Ambiental e Reserva Particular do Patrimônio Natural (BRASIL, 2000). Nestes casos, a área de entorno da unidade de conservação, onde as atividades humanas como caça, extração de madeira, crescimento urbano irregular e agricultura não sustentável estão sujeitas a restrições (LOPES *et al.*, 2021) com o intuito de minimizar os impactos negativos sobre a área protegida.

Deste modo, as zonas de amortecimento têm diversos objetivos, destacando-se: proteger sua unidade de conservação contra o desmatamento (JUSYS, 2016), conservar o solo e o armazenamento de água, reduzir a dispersão da poluição (FENG *et al.*, 2021), proteger o solo contra processos erosivos (LOPES *et al.*, 2021), reduzir os efeitos em áreas adjacentes [efeitos de borda], reduzir a erosão e a perda de nutrientes de um rio, reduzir as pressões externas à vida selvagem (SCHOU *et al.*, 2019), servir de barreira física às interferências humanas e melhorar os serviços ecossistêmicos do ambiente (PASTRANA *et al.*, 2021). Logo, “identificar e delinear terras importantes ao redor de áreas protegidas pode ser fundamental para o desenvolvimento de estratégias de conservação para manter a biodiversidade” (BELOTE; WILSON, 2020).

Para Signorati (2018) essa zona foi prevista para servir de filtro aos problemas ambientais que o meio externo gera e, essa medida, é de grande importância, pois com a diminuição de impactos negativos do exterior para o interior assegura-se um aumento na proteção e na integridade ecológica. A criação de novas zonas de amortecimento e a manutenção e restauração de zonas existentes, que estejam degradadas, constituem uma das medidas mais eficazes de gestão para controlar a poluição por fontes difusas (IZYDORCZYK *et al.*, 2013).

A Unidade de Conservação de Proteção Integral na categoria de Parque Nacional (PARNA) conforme descrito no art. 11 da Lei 9.985 tem o objetivo de preservar os ecossistemas naturais proporcionando o desenvolvimento de pesquisas científicas, atividades de educação e interpretação ambiental, recreação e o turismo ecológico (BRASIL, 2000). Consoante a isso, Lima e Pessoa-Gutierrez (2021) citam que:

As unidades de conservação não devem ser concebidas como áreas intocáveis, pois são ambientes que, além de poderem contribuir com a qualidade de vida da sociedade

através dos seus serviços ecossistêmicos, podem ser utilizadas como incremento de atividades relacionadas à pesquisa, a educação, ao turismo e ao lazer, além de proporcionar as futuras gerações um referencial de patrimônio cultural, natural, paisagístico e ecológico.

Ainda segundo a Lei Federal nº 9.985/2000, os Parques Nacionais são propriedades públicas e as áreas particulares que estão inseridas nos limites da unidade de conservação deverão ser desapropriadas. A Lei discorre ainda que, quando criadas por Estados ou Municípios serão denominados de Parque Estadual e Parque Natural Municipal, respectivamente (BRASIL, 2000). Observa-se ainda que, conforme estabelecido nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, ODS-11, deve-se buscar reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros.

Queiroz (2021) afirma que os parques são essenciais na inserção social e no desenvolvimento do uso público dessas áreas protegidas, visto que, é a categoria mais conhecida e de maior visitação. Contudo, é necessário a criação de atividades educativas de inclusão social, no que concerne ao uso sustentável do lugar para que haja a satisfação do visitante e a conservação do parque.

“O solo, um recurso não renovável, sustenta a vida na Terra, apoiando cerca de 95% da produção global de alimentos e fornecendo serviços ecossistêmicos, como produção de biomassa, filtragem de contaminantes e transferência de massa e energia entre as esferas” (FERREIRA *et al.*, 2022).

O uso e ocupação do solo de forma inadequada promove alteração da qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos, mudanças no regime hidrológico, degradação da vegetação e a ocorrência de processos erosivos nas formas de sulcos, ravinas ou voçorocas (CORNELLI *et al.*, 2016; MENDES, 2014).

Nesse contexto, chama a atenção nos objetivos do desenvolvimento sustentável, ODS-6, que se deve procurar melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente, pois são fatores que vem sendo negligenciados.

Estudos de Vanzela *et al.* (2010) verificando a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água do córrego Três Barras, município de Marinópolis-SP, constataram que as áreas ocupadas por matas e pastagens (de menor intensidade) favoreceram a qualidade e

disponibilidade da água do córrego, no entanto, em áreas habitadas, de agriculturas e de matas degradadas reduziram a disponibilidade e qualidade do corpo hídrico.

Conforme mencionado por Silva *et al.* (2016) “o uso e ocupação do solo abrange o conjunto de atividades socioeconômicas desenvolvidas por uma determinada sociedade e como ela se estabelece em determinado espaço geográfico”. E, à medida que cresce as necessidades de uma população, o homem explora cada vez mais os recursos oriundos do solo e com isso são criados mais formas de uso e ocupação.

Em decorrência do uso e ocupação do solo de forma indevida, têm-se a erosão que é um processo de desgaste da superfície terrestre, causado pela ação de agentes externos, como a água e o vento (MASCARENHA *et al.*, 2015), sendo considerado um processo que traz ameaças destrutivas ao meio ambiente, principalmente para a agricultura, em razão da perda de produtividade do solo (ROCHA *et al.*, 2009).

A erosão pode se dar de forma natural (geológica), que cresce em condições de equilíbrio com a formação natural do solo, ou acelerada (antrópica), quando há um desequilíbrio com a formação do solo, impedindo a recuperação natural em função da ação direta do homem sob o solo, por meio da urbanização, impermeabilização do solo, desmatamentos, queimadas, dentre outras práticas que alteram o meio natural (MENDES, 2014; BORGES; PINTO, 2018).

Quanto à origem, a erosão pode ser do tipo pluvial (por ação da chuva), fluvial (ação da água dos rios), costeira (recoo da linha de costa em direção ao continente), eólica (ação dos ventos), antrópica (ação do homem) (BANDEIRA, 2003) e glacial (ação das geleiras) (MENDES, 2014). O clima, a cobertura vegetal, o tipo de solo, a topografia do terreno, além da interferência humana, são fatores interferem nos processos erosivos (RUBIRA *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2018a).

Segundo Couto (2020), em solo brasileiro a erosão hídrica tem recebido maior atenção por ser o tipo de erosão que causa maiores taxas de perdas de solo. A erosão hídrica pode ocorrer de duas formas: (i) pela ação da gota da chuva que ao colidir-se com o solo (denominado de *splash*) ocorre o destacamento e movimento (a curta distância) de agregados, “selando o topo do solo e dando condições para formações de poças” (BANDEIRA, 2010) e (ii) pelo escoamento superficial que acontece quando a intensidade da chuva ultrapassa a capacidade de infiltração do solo (BASTOS, 1999; COUTO, 2020).

Investigando os impactos do uso da terra e a variação espacial do grau de intemperismo ao longo das encostas de uma região subtropical da Mata Atlântica que foi convertida em terras agrícolas, Vanacker *et al.* (2019) observaram que o intemperismo químico é dependente da

inclinação da encosta. Encostas mais íngremes possuíram alta variação de intemperismo, já em encostas mais suaves mostraram diferenças insignificantes no grau de intemperismo químico. A erosão acelerada provocada pela conversão de florestas em terras de cultivo leva a perda do solo na camada superficial ao longo da encosta. As encostas íngremes de terras cultivadas apresentam indícios de rejuvenescimento dos nutrientes decorrentes do intemperismo após a perda de solo e a mistura de material subsuperficial menos intemperizado no manto do solo (VANACKER *et al.*, 2019).

Inicialmente o processo erosivo se dá na forma de erosão laminar e, em razão da concentração do fluxo, avança para os sulcos. Com o aumento e aprofundamento ainda mais do fluxo, o sulco evolui para o estágio de ravina e por fim, para o último estágio do processo erosivo, na forma de voçoroca (LIMA *et al.*, 2017). Conforme consta em Lessa (2019), a erosão laminar é mais recorrente em áreas rurais e só é perceptível com o passar do tempo com a aparecimento das raízes da vegetação. Já a erosão em sulcos é comum em terrenos com declividades acentuadas e que não possuem cobertura vegetal. Souza (2015) afirma que nas áreas urbanas, a erosão em sulcos ocorre na fase de implantação de loteamentos, aberturas de ruas, nas condições de solo exposto e movimento de terra.

### **3.2. Impacto da erosão na qualidade do solo e de ecossistemas hídricos**

O solo é essencial para o desenvolvimento de diversas atividades humanas, no entanto, há diferentes usos ou atividades que comprometem a qualidade do solo o que levam a degradação. Zare *et al.* (2017) afirmam que o risco de ocorrer a erosão do solo depende de fatores como a topografia da bacia hidrográfica, as características mecânicas do solo, as condições do clima local, e o uso e práticas de manejo do solo.

Zare *et al.* (2017) estimaram mudanças do uso da terra na bacia hidrográfica de Kasilian no Irã que poderiam ocorrer em 2030. Destacaram que o potencial médio de erosão aumentaria em 45% devido ao aumento no uso da terra de área de floresta para área de assentamento, sendo este o fator mais significativo nos processos erosivos.

Chappell *et al.* (2019) afirmam que a “erosão acelerada do solo altera todos os ciclos biofísicos e biogeoquímicos, perturbando os ciclos de C, poeira, energia e água e degrada a qualidade do solo e do ar que impacta os sistemas socioeconômicos globais”.

Para Mandal *et al.* (2021), a erosão do solo afeta não só a produtividade, como também causa a perda da biodiversidade, a qual detém a capacidade de ciclagem dos nutrientes. Para

Borrelli *et al.* (2018) os efeitos da degradação do solo são graves não apenas por causa da deterioração e perda da fertilidade, como também gera sérios danos fora da área de incidência direta, como a eutrofização das águas, assoreamento dos leitos dos rios ou danos à infraestrutura. Oliveira *et al.* (2018a) acrescentam ainda a diminuição da produção agrícola; o solapamento de tubulações e pavimentações; as enchentes e os assoreamentos de portos e canais.

A vegetação tem papel fundamental para proteger o solo contra os processos erosivos, reduzindo a desagregação das partículas de solo, devido a interceptação do impacto das gotas de chuva, e agindo como um redutor de velocidade das águas que escoam na superfície. Em solos desprotegidos, a velocidade de escoamento é aumentada, o que intensifica o processo de degradação (SANTANA; ARAÚJO, 2017). Assim, o arraste de partículas e nutrientes oriundos do solo são lixiviados para os corpos hídricos (AMORIM, 2018), causando, em zonas urbanas, o assoreamento do leito dos rios, de canais e galerias de águas pluviais, favorecendo o processo de enchentes urbanas (SANTANA; ARAÚJO, 2017) podendo ainda refletir na quantidade e qualidade da água disponível (AMORIM, 2018).

Pereira-Silva *et al.* (2011), avaliando a qualidade da água de três microbacias hidrográficas inseridas em um Unidade de Conservação, verificaram a importância da vegetação ciliar na proteção do corpo hídrico. Das três microbacias analisadas os autores constataram que apenas uma apresentou qualidade de água elevada em função da presença de vegetação no entorno. Já as outras duas apresentaram qualidade de água inferior, principalmente em relação aos sólidos suspensos, devido à ausência de vegetação ciliar e aos impactos antrópicos ocorridos às margens dessas microbacias.

Avaliando as possíveis relações entre o uso e ocupação do solo e a variação espaço temporal da qualidade da água da bacia do Ribeirão Vermelho, localizado em Lavras-MG, Menezes *et al.* (2016) verificaram que a qualidade da água da bacia está associada a diferentes fontes de contaminação. As principais fontes de contaminação, do Ribeirão Vermelho e seus afluentes, estão relacionadas ao escoamento superficial, sobretudo de áreas agrícolas e rurais no período de verão e, pelo lançamento de efluentes domésticos sem tratamento no período de inverno.

### 3.3. Processos erosivos em bordas de corpos hídricos

#### 3.3.1. Aspectos físicos, químicos, mineralógicos, biológicos nos processos erosivos

As erosões de borda podem ocorrer tanto de forma natural ou associada ao uso e ocupação de forma inadequada do solo, o mal planejamento e/ou execução na construção do reservatório ou ainda provocada pelo movimento de embarcações (SONODA *et al.*, 2017).

A topografia do terreno influencia diretamente nas taxas de infiltração e escoamento superficial da água, ou seja, quanto maior for a declividade do terreno, maior será a velocidade de escoamento superficial da água e vice-versa. Assim, a variação da declividade pode aumentar ou reduzir o fluxo da água e, conseqüentemente alterar o mecanismo dos processos erosivos, interferindo na quantidade de partículas que serão transportados para os corpos hídricos, alterando o desenvolvimento dos processos erosivos (LIMA *et al.*, 2017).

Lima (2003) afirma que as degradações físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo estão relacionadas a degradação dos solos e, assim, influenciam no surgimento de voçorocas e deslizamentos de terras. Em seu estudo, avaliando o processo evolutivo de cinco voçorocas localizadas no Distrito Federal, a autora concluiu que as propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo sofrem alterações próximo as bordas das voçorocas. Essas alterações interferem nos comportamentos mecânico e hidráulico dos solos e, conseqüentemente, na estabilidade dos taludes das voçorocas.

Os solos com processo de intemperismo, presente nas bordas dos reservatórios, dependendo das características físicas, químico-mineralógicas e estruturais, podem apresentar maior ou menor potencial de erodibilidade (GUIMARÃES *et al.*, 2017). Os autores exemplificam que solos arenosos são mais suscetíveis a erosão das margens, já solos com maior teor de argila são menos erodíveis.

#### 3.3.2. Métodos de avaliação da erodibilidade

A erodibilidade é caracterizada como a resistência do solo ao processo erosivo (LIMA *et al.*, 2017) e é em função da textura e estrutura do solo (MOMOLI *et al.*, 2017). Couto *et al.* (2021) mencionam que a erodibilidade pode ser determinada desde ensaios sob condições naturais *in loco*, simulações controladas em campo ou em laboratório e a execução de métodos indiretos por meio de propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos. Dentre os métodos de avaliação da erodibilidade realizados em laboratório estão os ensaios de



Granulometria, Desagregação (*Slaking test*), Dispersão Rápida (*Crumb test*) e Estabilidade de Agregados.

Para a determinação da erodibilidade através de ensaios geotécnicos como a granulometria, Oliveira e Araújo (2018) destacam o autor Mannigel *et al.* (2002) que utilizam o fator erodibilidade do solo (K) de forma indireta, relacionando a erodibilidade do solo com as frações de areia, silte e argila conforme a Equação 1:

$$K = \frac{(\%areia + \%silte)}{\%argila} / 100 \quad (1)$$

A partir do resultado do fator K, é possível classificar o solo nas seguintes classes de erodibilidade:

- a) Baixo:  $0,01 \leq K \leq 0,03$ ;
- b) Médio:  $0,03 \leq K \leq 0,06$ ;
- c) Alto:  $K > 0,06$ .

Meireles (1967) estabelece um critério de erodibilidade em relação a porcentagem passante na peneira # 200 (0,075 mm), conforme demonstrado em Bastos (1999), Santos e Araujo (2018) e Oliveira e Araujo (2018), onde:

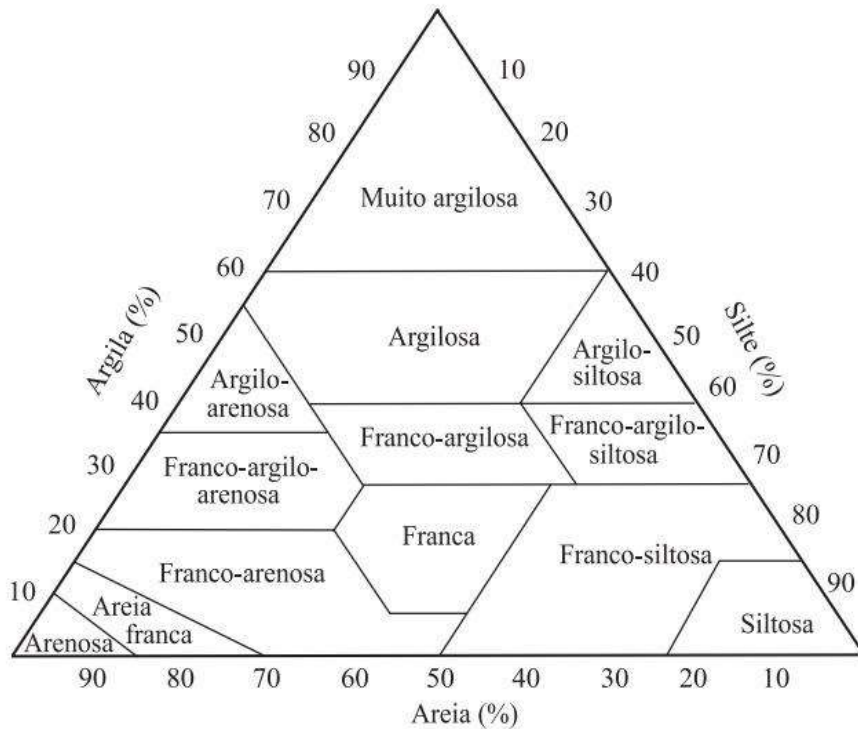
- % passante # 200  $\leq 20\%$  - solos com forte possibilidade de erosão;
- $20\% < \%$  passante # 200  $> 40\%$  - solos passíveis de erosão;
- % passante # 200  $\geq 40\%$  - solos com pequena possibilidade de erosão.

Santos e Araujo (2018) e Oliveira e Araujo (2018) salientam que é possível analisar a erodibilidade em relação ao Coeficiente de Uniformidade ( $C_u$ ) proposta adotada por Santos (2001), onde:

- $C_u < 5$  – solos erodíveis;
- $5 < C_u < 15$  – solos de média erodibilidade;
- $C_u > 15$  – solos de baixa erodibilidade.

A textura do solo é a proporção relativa das frações granulométricas (pedregulho, areia, silte e argila) que compõe um material do solo (LEPSCH, 2016) e pode ser identificada, preliminarmente, através de uma análise táctil-visual, por meio do contato direto ao friccionar um pouco de solo úmido entre os dedos (LEMOS; SANTOS, 1996). Os pedregulhos são visíveis a olho nu e possuem tamanhos de grãos superiores a 2,0 mm. Amostras com predominância de areia são ásperas, possuindo grãos visíveis a olho nu; com predominância de silte tem-se sensação de sedosidade e os grãos são finos; e com predominância de argila há uma sensação de pegajosidade (LEMOS; SANTOS, 1996; LEPSCH, 2016). Para Lemos e Santos (1996) é raro um solo apresentar apenas uma fração granulométrica e com isso, surgiram as classes texturais do solo. A Figura 1 apresenta um diagrama triangular textural, possibilitando determinar 13 diferentes combinações de areia, silte e argila.

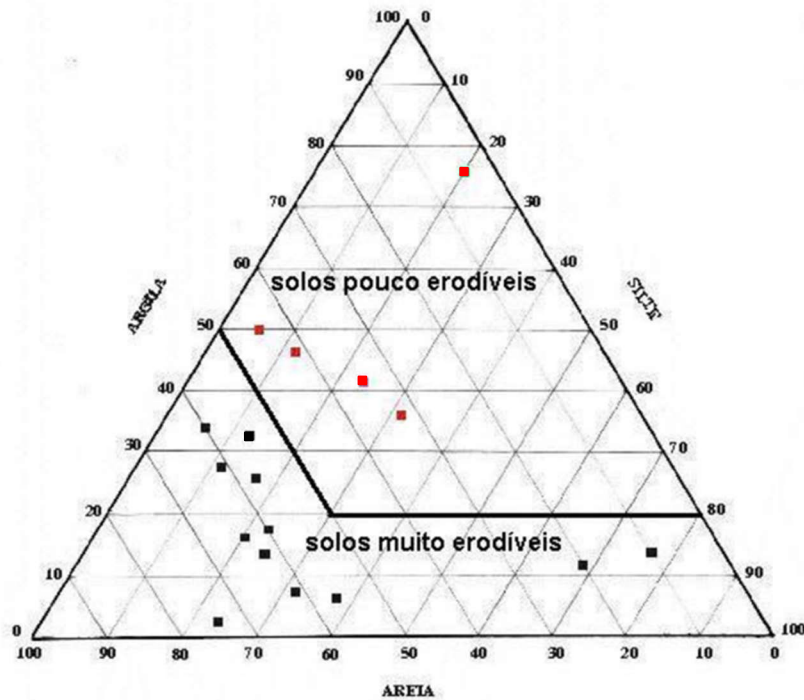
**Figura 1.** Triângulo textural proposto por Lemos e Santos (1996).



Fonte: Landau *et al.*, 2020.

Araujo (2000) propôs a separação do triângulo textural em duas zonas (solos pouco erodíveis e solos muito erodíveis), indicando a provável tendência de comportamento dos solos. O autor propôs esta análise (FIGURA 2) a partir da comparação do seu estudo junto com outros solos descritos na literatura (Fonseca e Ferreira, 1981; Fácio, 1991; Santos, 1997; Lima, 1999).

**Figura 2.** Triângulo textural proposto por Araujo (2000).



- Solos muito erodíveis (Fonseca e Ferreira, 1981; Fácio, 1991; Santos, 1997; Lima, 1999; Araujo, 2000).
- Solos pouco erodíveis (Fonseca e Ferreira, 1981; Fácio, 1991; Santos, 1997; Lima, 1999; Araujo, 2000).

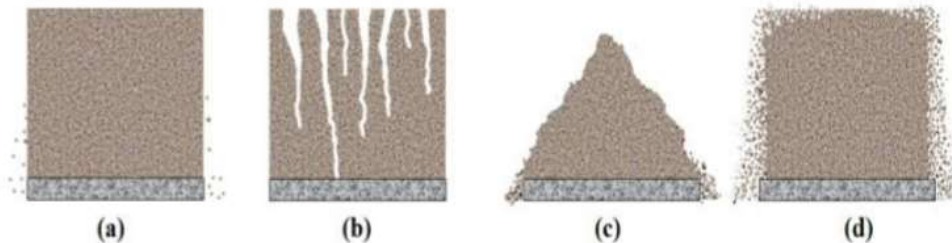
Fonte: Adaptado de Araujo (2000).

Outro ensaio utilizado para estimar qualitativamente o potencial de erodibilidade do solo, trata-se do *Slaking test*. De acordo com Franklale (2008), o *Slaking test* tem o objetivo de verificar o potencial de desagregação das partículas de solo quando uma amostra é submetida à imersão em água destilada. Este ensaio é de caráter qualitativo, uma vez que se obtém resultados a partir da observação e descrição do analista (QUIRINO *et al.*, 2014; MEDEIROS *et al.*, 2020). Ao final do ensaio, é registrado o comportamento das amostras de acordo com a classificação (FIGURA 3) proposta por Holmgren e Flanagan 1997 descrito em Franklale (2008), quanto aos tipos de reação à inundação, que pode ser:

- a) Sem resposta: a amostra mantém-se inalterada;
- b) Fraturamento: a amostra se fragmenta preservando nas faces externas sua forma original;
- c) Abatimento: a amostra sofre desintegração, formando uma pilha de material desestruturado;

- d) Dispersão: as bordas das amostras se difundem formando uma nuvem coloidal que aumenta ao passo que a amostra se dissolve.

**Figura 3.** Comportamento do solo no ensaio de desagregação.



Fonte: Quirino *et al.*, 2014.

Comumente também tem sido utilizado, no estudo da erodibilidade dos solos, o ensaio denominado *Crumb test*, foi criado para verificar o grau de dispersão de solos argilosos para o uso de barragens (FRANKSLALE, 2008). Desenvolvido por cientistas australianos e normatizado no Brasil pela NBR 1361/1996 (Solo – Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio do torrão (*Crumb test*)), resulta num ensaio qualitativo no qual é avaliado o comportamento de um agregado, na umidade natural, submerso à água destilada (BASTOS, 1999) indicando o grau de dispersão, que parte do grau 1 (não-dispersivo) ao grau 4 (fortemente dispersivo) (ABNT, 1996).

O ensaio *Crumb test* resume-se em moldar três torrões, a partir de solo indeformado, de formato esférico e diâmetro de entre 6 mm e 10 mm. Com o auxílio de um béquer, os torrões são submersos a cerca de 150 mL de água destilada e, durante 1 hora em repouso, deve-se observar o comportamento do solo e atribuí-las um grau dispersivo conforme apresentado a seguir (ABNT, 1996):

- Grau 1. Não-dispersivo: forma-se uma pilha achatada no fundo do béquer, mas o líquido não apresenta sinal de turvação causado por coloides em suspensão.
- Grau 2. Levemente dispersivo: indicativo de água turva, próximos à superfície do torrão.
- Grau 3. Moderadamente dispersivo: verifica-se facilmente a formação de finos coloides em suspensão espalhando-se no fundo do béquer.
- Grau 4. Fortemente dispersivo: formação de nuvem coloidal cobrindo quase todo o fundo do béquer e em casos extremos toda a água torna-se turva.

Como a erosão é um processo que envolve, primeiramente, a desagregação das partículas do solo, ou seja, um processo relacionado com a perda da estabilidade dos agregados, também é possível avaliar o potencial de erodibilidade por meio de um ensaio denominado ensaio de estabilidade de agregados do solo. Por meio de amostras indeformadas de solo, este ensaio permite: avaliar a agregação do solo, conhecer as classes de agregados de diferentes tamanhos e definir algumas variáveis que são: Diâmetro Médio Ponderado por Via Seca (DMPs), Diâmetro Médio Ponderado por Via Úmida (DMPu) e o Índice de Estabilidade de Agregados (IEA) (EMBRAPA, 2017).

O DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores; o IEA representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados. Quanto maior a quantidade de agregados < 0,25 mm, menor será o IEA (CASTRO FILHO *et al.*, 1998).

A agregação do solo é analisada pelo método padrão Yoder (1936) e as alterações propostas por Grohmann (1960), que determinam a estabilidade de agregados, a partir de amostras indeformadas de classes de agregados de tamanhos diferentes, por peneiramento via seca e via úmida através da quantificação do solo que ficam retidas em cada peneira por meio da pesagem (EMBRAPA, 2017).

A partir da quantificação do solo de cada peneira, são estimados: o diâmetro médio ponderado por via seca (Equação 2); o diâmetro médio ponderado por via úmida (Equação 3) e o índice de estabilidade de agregados (Equação 4) (EMBRAPA, 2017).

$$\mathbf{DMPs} = \Sigma(\mathbf{X}_{is} \times \mathbf{W}_{is}) \quad (2)$$

$$\mathbf{DMPu} = \Sigma(\mathbf{X}_{iu} \times \mathbf{W}_{iu}) \quad (3)$$

$$\mathbf{IEA} = \frac{\mathbf{DMPu}}{\mathbf{DMPs}} \times \mathbf{100} \quad (4)$$

Em que:

DMPs: diâmetro médio ponderado por via seca, em mm.

DMPu: diâmetro médio ponderado por via úmida, em mm.

Wis: proporção de agregados em cada classe/peneira (i), por via seca, em %.

Xis: diâmetro médio de cada classe, por via seca, em mm.

Wiu: proporção de agregados em cada classe/peneira (i), por via úmida, em %.

Xiu: diâmetro médio de cada classe, por via úmida, em mm.

IEA: índice de estabilidade de agregados, em %.

Soares *et al.* (2018) afirmam que “o DMP é uma estimativa da quantidade relativa de solo, em cada classe de agregados, e é expresso em milímetros. Este índice é diretamente proporcional à porcentagem dos maiores agregados”. Com os resultados do DMP via úmida, é possível obter a classificação da estabilidade de agregados (TABELA 1) desenvolvido por Le Bissonnais (1996).

**Tabela 1.** Classes de estabilidade de agregados do solo de acordo com o DMP.

<b>Classe</b>	<b>DMP (mm)</b>	<b>Estabilidade</b>
<b>1</b>	< 0,4	Muito instável
<b>2</b>	0,4 – 0,8	Instável
<b>3</b>	0,8 – 1,3	Médio
<b>4</b>	1,3 – 2,0	Estável
<b>5</b>	> 2,0	Muito estável

Em relação ao índice de estabilidade de agregados (IEA), Couto (2020) menciona que solos resistentes à erosão apresentam IEA superior a 70%, garantindo que a estrutura permaneça conservada após imersão. Já solos erodíveis apresentam IEA abaixo de 50%, constatando que os agregados se desintegram em contato com a água.

Para Nunes (2018) a estabilidade de agregados é um indicador que auxilia na compreensão da qualidade do solo, tanto física como microbiológica, uma vez que a desestruturação do solo pode ser estimada em função da estabilidade dos agregados. O autor cita ainda que:

No que diz respeito à qualidade microbiológica, um solo rico em microrganismos também tenderá a uma boa estabilidade de agregados, visto que, os microrganismos secretam exsudatos, que contribuem no processo de cimentação das partículas do solo, dando origem assim, a agregados que resistem mais as forças de desagregação, seja essa de origem antrópica, como tratamentos culturais que preconizam o revolvimento do solo, ou de origem natural, como o impacto das gotas de chuva, enxurradas ou mesmo o vento.

### 3.3.3. Métodos de avaliação da qualidade do solo

Avaliar a qualidade do solo pode identificar os impactos causados pelas práticas de manejo (ASKARI; HOLDEN, 2015), podendo ser avaliada tanto para o uso agrícola quanto

para a manutenção da qualidade ambiental e a conservação dos ecossistemas naturais (BUNEMANN *et al.*, 2018). Deste modo, serão descritos alguns parâmetros avaliativos da qualidade do solo que foram utilizados neste estudo.

**Condutividade Elétrica - CE:** Consiste na capacidade do solo em conduzir corrente elétrica e pode ser utilizada para analisar as variações espaço-temporais de uma série de propriedades do solo, como a porosidade, a salinidade, o teor de argila e umidade do solo (FU *et al.*, 2021).

**Carbono Orgânico Total - COT:** De acordo com Jia *et al.* (2017), o carbono orgânico do solo é derivado de resíduos vegetais e animais, que são processados pela microbiota. É considerado um dos parâmetros de análise crítica da fertilidade do solo e do ciclo biogeoquímico, juntamente com o nitrogênio total do solo (BANGROO *et al.*, 2020).

A função do carbono orgânico para o solo “influencia diretamente as características físicas, químicas e biológicas, dentre elas: a densidade, formação e estabilidade de agregados, disponibilidade de nutrientes, capacidade de trocas de cátions, atividade microbiológica e enzimática” (LOURENÇO *et al.*, 2017).

Para Grilli *et al.* (2021) “o carbono orgânico do solo é considerado um indicador chave da qualidade do solo, uma vez que se relaciona com outras funções fundamentais do solo que suportam serviços ecossistêmicos cruciais” como por exemplo a regulação do clima e da água, a ciclagem de nutrientes e a proteção contra erosão (VILLARINO *et al.*, 2019).

**Carbono Lábil - CLábil:** Conforme Rangel *et al.* (2008), carbono lábil são compostos orgânicos que são mineralizados com mais facilidade pelos microrganismos do solo. É um parâmetro importante que indica mudanças da qualidade do solo e no carbono orgânico total do solo, além disso, sofre influências das mudanças nas práticas de manejo e uso do solo (LI *et al.*, 2016). Bongiorno *et al.* (2019) citam que a fração lábil do carbono serve como indicador das funções do solo, especialmente na ciclagem de nutrientes, no sequestro de carbono, formação de agregados do solo e na provisão de habitat para a biodiversidade.

**Carbono Orgânico Solúvel - COS:** É um parâmetro importante para compreender a dinâmica biogeoquímica do carbono, o COS divide-se em dois grupos: o carbono orgânico extraível pelo solo (COE), cuja medição é através da extração de amostras de solo com extratantes como água destilada ou solução salina; e o carbono orgânico dissolvido no solo (COD) na qual é medido por amostras de solo dissolvidas em água usando lisímetros livres de tensão ou amostradores de tensão (LI *et al.*, 2018). Silva *et al.* (2021) afirmam que o COS é essencial para entender o processo de compostagem, o teor do carbono orgânico solúvel em

água é a medida quantitativa da matéria orgânica solúvel em extratos aquosos de solo ou composto.

#### 3.3.4. Métodos de avaliação da qualidade da água

A qualidade da água pode ser definida como um conjunto de variáveis que limitam o seu uso, conforme descrito por Costa (2014). Para Rizk *et al.* (2021), quando as águas superficiais são expostas às atividades humanas, sejam de recreação ou econômica, o grau de contaminação é elevado, comprometendo, assim, a qualidade. Logo, faz-se necessário avaliar e monitorar as alterações da qualidade da água em intervalos específicos e em função do tempo (RIZK *et al.*, 2021). Esta avaliação, porém, vai depender do enquadramento do corpo de água, uma vez que este estabelece a meta de qualidade da água a ser alcançada, ou mantida, em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos pretendidos, segundo a Resolução do CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2005).

Assim, o enquadramento dos corpos de água, segundo seus usos preponderantes, deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade. Nesse contexto, o enquadramento de corpos de água, que é um dos instrumentos previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos, visa assegurar qualidade compatível dos recursos hídricos com os usos mais restritivos a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas (BRASIL, 1997).

A avaliação da qualidade de águas deve ser realizada, portanto, a partir da determinação dos parâmetros de qualidade de água associados aos padrões de qualidade em função de suas classes, estabelecidos pela legislação que trata desta matéria.

É importante destacar que a Resolução nº 357/2005 do CONAMA torna mandatário, em Unidades de Conservação de Proteção Integral, a necessidade de preservação de ambientes aquáticos, devendo estes, portanto, serem inseridos na Classe Especial (BRASIL, 2005). Esta diretriz é corroborada pela Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 91/2008, que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Esta resolução estabelece que, para fins de cobrança, outorga e licenciamento ambiental, deverão ser considerados nos corpos d'água superficiais ainda não enquadrados, os padrões de qualidade da classe correspondente aos usos preponderantes mais restritivos existentes no respectivo corpo de água. Porém, mantém a ressalva estabelecida pela Resolução



nº 357/2005, ao permitir que seja adotado, até que a autoridade outorgante tenha informações sobre os usos mais restritivos do corpo de água, para as águas superficiais, a Classe 2.

No Art. 13 da supracitada resolução consta que em águas de Classe Especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água. Porém, em UC de Proteção Integral localizada em área urbana já consolidada é difícil se conhecer a condição natural dos corpos de água ali existentes, uma vez que o monitoramento da qualidade de suas águas geralmente só passou a ser realizado após vários anos de exposição, destes corpos de água, a pressões antrópicas. Estas pressões estão associadas, principalmente, a substituição da mata ciliar, e consequente impermeabilização do solo, por obras de infraestrutura urbana, e ao aporte de elevadas cargas de poluentes ou contaminantes para o interior dos corpos de água.

Assim, uma alternativa para avaliar a qualidade das águas em UC de Proteção Integral em áreas urbanas já consolidadas é avaliar parâmetros de monitoramento recomendados pela Resolução do CONAMA nº 357/2005 para corpos de água de Classe 1, por esta ser a de uso mais restritivo após o estabelecido para a Classe Especial.

Adiante serão descritos parâmetros de qualidade de água frequentemente utilizados para a caracterização de águas naturais e para a verificação do atendimento as condições e aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental para corpos de água doce de Classe I, II, III e IV, possíveis de serem determinadas na pesquisa objeto desta dissertação.

**Condutividade Elétrica - CE:** Indica a capacidade que a água tem em transmitir corrente elétrica, dependendo da quantidade de sais dissolvidos presente na água, ou seja, quanto maior a concentração iônica da solução, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica (BRASIL, 2014). Uma alta condutividade favorece a formação e precipitação de carbonato de cálcio, ocasionando a incrustação em tubulações da rede de distribuição (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2003). Embora não exista um padrão de condutividade na legislação, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) cita que, em águas naturais, a condutividade elétrica varia em torno de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , em ambientes poluídos por efluentes domésticos ou industriais, esse parâmetro pode chegar a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (BRASIL, 2014). Já em águas superficiais, Sena *et al.* (2015) citam que a CE pode variar de 50 a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Potencial Hidrogeniônico - pH:** Interfere no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos naturais devido aos efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies (SILVA *et al.*, 2008). Para Brasil (2014), as mudanças do pH podem ter origem natural, pela dissolução de rochas ou por meio da fotossíntese, e origem antrópica, através dos despejos de efluentes domésticos e industriais. Esse parâmetro é um importante de ser analisado no controle da qualidade de água,

já que interfere em equilíbrios químicos e operações unitárias, no tratamento das águas (RODRIGUES, 2019). O pH varia numa faixa de 0 a 14, onde os valores menores que 7 indicam o aumento de acidez na água; já os valores entre 7 e 14 indicam aumento da alcalinidade (básico) na água (SENA *et al.*, 2015). Em cursos de águas, como rios, Vieira (2019) cita que valores de pH acima de 10 e abaixo de 4 indicam contaminação por efluentes industriais ou vazamento de produtos químicos. O pH ideal para água doce deve estar entre 6 e 9 (CONAMA, 2005), valores estes considerados compatíveis com a vida aquática, em especial para os peixes (VIEIRA, 2019).

**Oxigênio Dissolvido - OD:** Segundo Von Sperling (2017), o oxigênio dissolvido é imprescindível para a vida de organismos aeróbios aquáticos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias usam o oxigênio para realizar a degradação dos componentes orgânicos. A acentuação desse processo causa escassez de oxigênio no meio aquático tornando o meio anaeróbio, resultando na morte dos seres aeróbios que vivem nesse ambiente, processo conhecido como eutrofização. Vieira (2019) destaca que o OD se origina de duas fontes: a endógena, que se refere ao oxigênio produzidos pelos organismos aquáticos fotossintetizantes; e a exógena, que diz respeito ao oxigênio atmosférico que é transferido para a água por meio da difusão. Os teores mínimos necessários de OD para manutenção da vida aquática encontram-se na faixa de 2 mg/L a 5 mg/L (BRASIL, 2014).

**Matéria Orgânica (DBO e DQO):** A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) representa a quantidade de oxigênio presente na água para oxidar a matéria orgânica através da decomposição microbiana aeróbia (ANA, 2021). A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica, a partir de um agente químico presente na água. O aumento da concentração de DQO em um corpo hídrico é resultado, sobretudo, do lançamento de efluentes industriais (CETESB, 2018). Von Sperling (2017) menciona que esses parâmetros são importantes na caracterização do grau de poluição de um corpo hídrico e representam, de modo indireto, a quantidade de matéria orgânica presente em esgotos ou em ecossistemas aquáticos, logo, são indicadores da quantidade de oxigênio dissolvido que é consumido. Em ambientes aquáticos, livre de contaminação por efluentes, a concentração de DBO é baixa, estando na faixa de 1 a 10 mg/L (FUNASA, 2014).

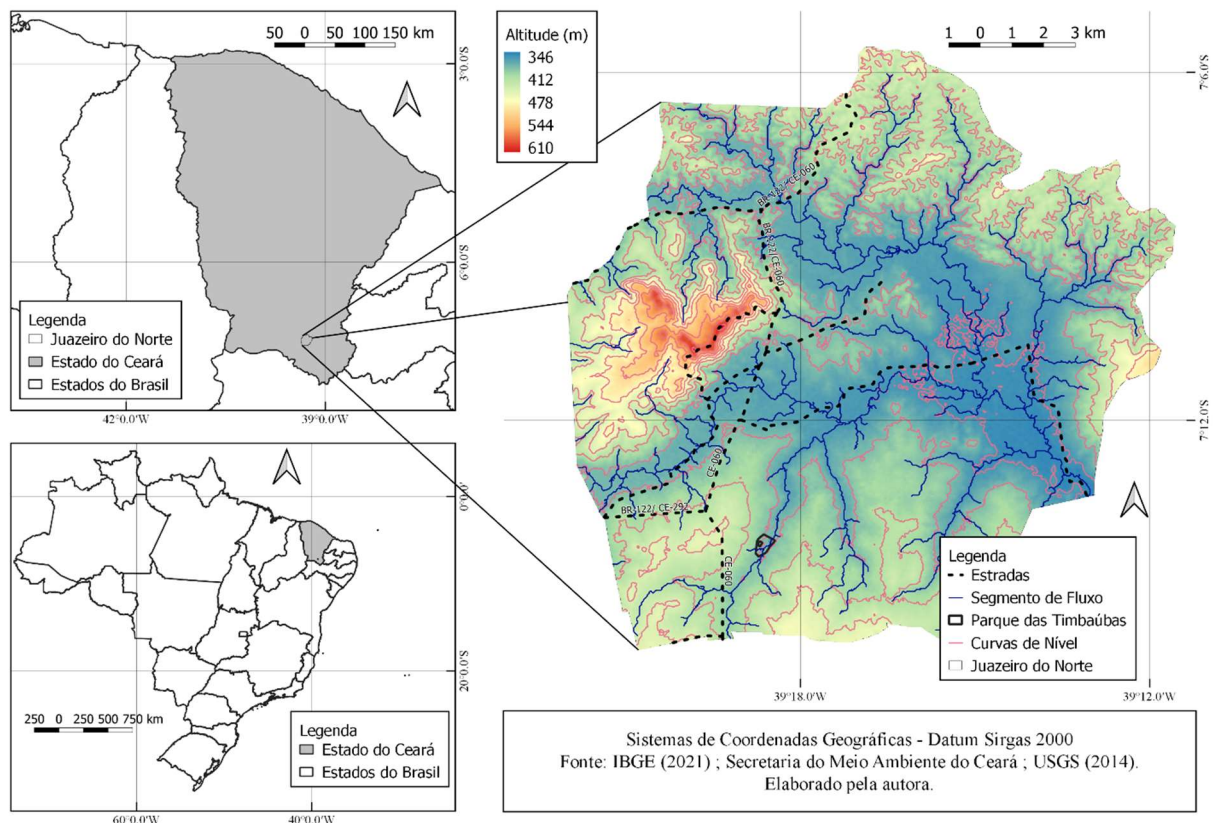
**Sólidos:** Conforme a CETESB (2018), os sólidos presentes nas águas representam toda a matéria que fica como resíduo, mesmo após a amostra constituída por água e sólidos, ser submetida a evaporação, secagem ou calcinação durante um tempo e temperatura definidos. A presença de sólidos em corpos hídricos ocasiona o assoreamento e conseqüentemente traz

problemas às navegações e aumenta os riscos de enchentes. Podem ainda, destruir a vida aquática devido aos sedimentos que são depositados ao fundo e prejudicar os locais de desova dos peixes (ANA, 2021). CETESB (2018) acrescenta que “os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia”. A legislação não estabelece limites para a concentração de sólidos totais, no entanto, cita o valor máximo permitido de sólidos totais dissolvidos em 500 mg/L como padrão organoléptico de potabilidade, conforme a Portaria GMMS Nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021).

### 3.4. Área de estudo: Parque Natural Municipal das Timbaúbas

O Parque Natural Municipal das Timbaúbas, área objeto deste trabalho, fica localizado em Juazeiro do Norte-CE (Figura 4). O município está inserido na região metropolitana do Cariri, Mesorregião Sul do Estado do Ceará, distante 491 km da capital Fortaleza. Possui altitude de 377 m em relação ao nível do mar e uma população estimada em 274.207 habitantes segundo IBGE (2019).

**Figura 4.** Localização do município de Juazeiro do Norte-CE.



Fonte: Autora, 2022.

Conforme COGERH (2010), o município situa-se na sub-bacia hidrográfica do rio Salgado (que compõe a Bacia do rio Jaguaribe), cuja área de drenagem é de 12.865 km<sup>2</sup> e corresponde a 8,25% do território cearense. Essa sub-bacia abrange grande parte da Região Sul do Estado e tem como rio principal, o rio Salgado, com extensão de 308 km.

Segundo o IPECE (2021), Juazeiro do Norte apresenta clima tropical quente semiárido e tropical quente semiárido brando, com pluviosidade média anual de 925,1 mm, e, temperatura média em torno de 24 a 26 °C, atingindo máxima em torno de 35 °C e mínima em torno de 19 °C (INMET, 2022), com período de chuvas concentrado entre os meses de janeiro a maio.

O Parque das Timbaúbas, antes denominado Parque Ecológico das Timbaúbas, foi criado através do Decreto Municipal nº 1.083 de 23 de março de 1995 com objetivo de promover a recuperação da “Várzea da Timbaúba” e proteger seus mananciais, devido ao crescente uso e ocupação desordenada do solo (SEMACE, 2010). Nos anos de 2003 e 2004 passou por obras de requalificação da área, cujo projeto foi executado pela Prefeitura Municipal de Juazeiro do Norte em parceria com a SEMACE.

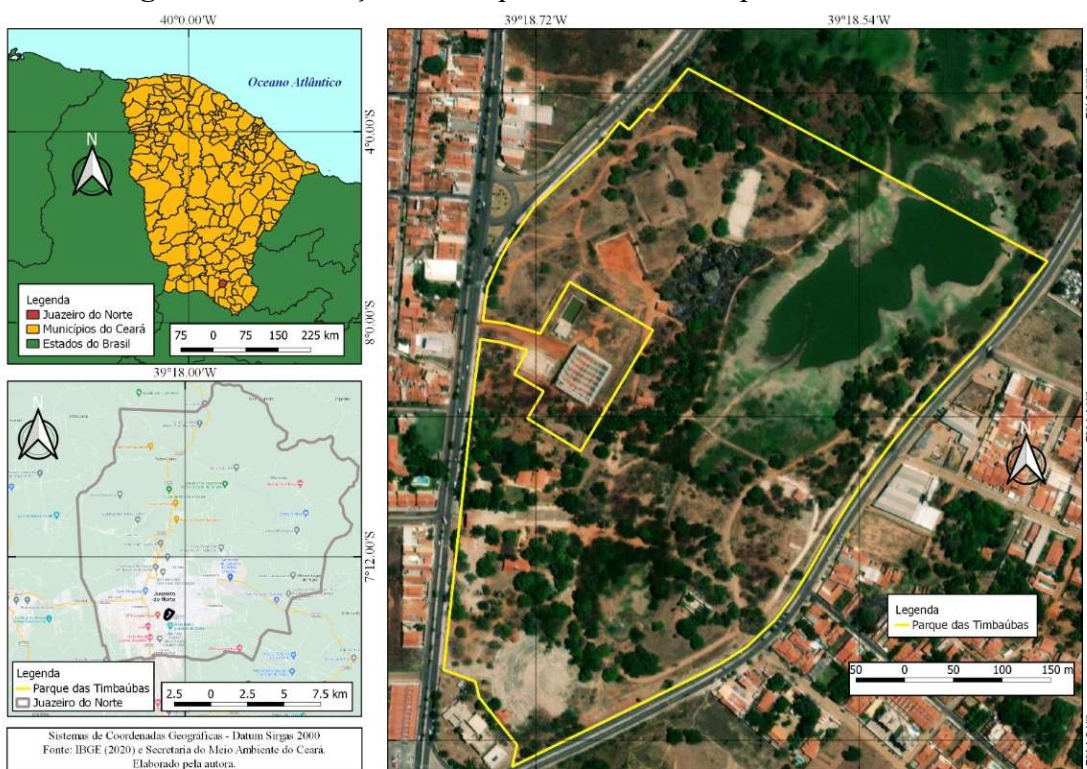
No Decreto de criação, o Parque contemplou uma área de 63,45 ha, sendo banhada pelas calhas do riacho dos Macacos e Timbaúbas, além de outros afluentes de menor porte. O local foi projetado com áreas de lazer para os visitantes (SEMACE, 2010). Conforme dados disponibilizados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, através do Portal Ceará Transparente, no interior do Parque existem, atualmente, duas fontes naturais que são responsáveis por apenas 3,33% do abastecimento do município. Em Juazeiro do Norte há um total de 69 poços, operados pela CAGECE, dos quais nove encontram-se desativados por problemas estruturais, presença de ferro ou pendências com loteamento (CAGECE, 2022).

Por meio do Decreto Municipal nº 352, de 23 de outubro de 2017, foi criada a primeira Unidade de Conservação do Município, onde o Parque ficou enquadrado como Área de Proteção Integral, passando a ser denominado Parque Natural Municipal das Timbaúbas, conforme Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Nesse sentido, o Parque Natural Municipal das Timbaúbas (Figura 5) foi instituído com uma área de 23,40 ha, como Unidade de Conservação que visou “garantir a proteção da fauna, flora, recursos hídricos, solo, paisagens e processos ecológicos pertinentes aos ecossistemas naturais” (JUAZEIRO DO NORTE, 2017).

Quanto ao uso e ocupação do solo, no interior do Parque existem equipamentos de lazer e entretenimento, como campos de futebol, quadras de vôlei de areia, quadra de futsal e quadra de vôlei em cimento, quiosques, anfiteatro, calçadas, academia popular, trilhas, espaços para convivência, banheiros e pista de skate. No entanto, essas áreas de lazer encontram-se em estado

de abandono e má conservação (NASCIMENTO *et al.*, 2015). Conta ainda com a SEMASP (Secretaria de Meio Ambiente e Serviços Públicos), órgão responsável pela administração do Parque, a Polícia Militar Ambiental, o viveiro de mudas, a Escola Ambiental Monsenhor Murilo de Sá Barreto, além de obras inacabadas como, o Centro de reabilitação e oficina ortopédica e a piscina semiolímpica. Essas áreas impermeabilizadas favorecem o volume e a velocidade do escoamento superficial das águas pluviais, e conseqüentemente os processos erosivos na área (MACÊDO, 2019).

**Figura 5.** Localização do Parque Natural Municipal das Timbaúbas.



Fonte: Autora, 2022.

No Parque Natural Municipal das Timbaúbas está situada a Lagoa dos Macacos, a qual será considerada, nesta pesquisa, como de Classe Especial, uma vez que está localizada em uma UC de Proteção Integral e possui, portanto, como um dos usos preponderantes mais restritivo, instituído, inclusive, no contexto do objetivo I do decreto de criação do PNMT (Decreto de Nº 352 de 2017), a necessidade de preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

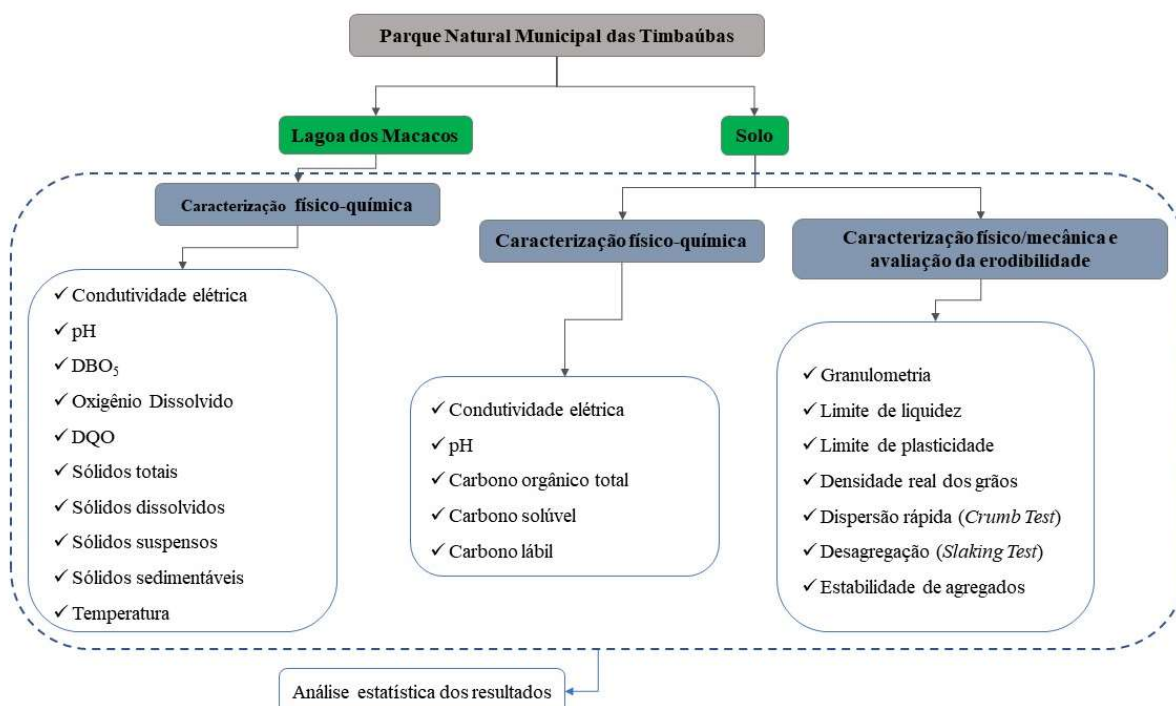
De acordo com o Art. 1 do decreto de criação do PNMT (Decreto de Nº 352 de 2017), os objetivos do Parque, os quais são pautados na lei que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (Lei Federal Nº 9.985/2000), são:

- I - Preservar os ecossistemas naturais e seus elementos físicos e biológicos de relevância ecológica, para a garantia e manutenção dos serviços ecossistêmicos;
- II - Restaurar e recuperar a cobertura vegetal existente com espécies do bioma Caatinga e a devida prevenção, erradicação e controle de espécies exóticas invasoras;
- III - Contribuir para o equilíbrio do regime hídrico e melhoria da qualidade das águas do Município;
- IV - Estimular a pesquisa científica especialmente voltada para o manejo do Parque;
- V - Desenvolver atividades de educação e interpretação ambiental e de recreação, em contato com a natureza;
- VI - Propiciar o turismo ecológico e o lazer de forma compatível com os demais objetivos do Parque;
- VII - Assegurar condições de bem-estar público visando a melhoria da qualidade de vida em Juazeiro no Norte/CE;
- VIII - Dispor de infraestrutura necessária ao cumprimento dos objetivos do Parque;
- IX - Incentivar a implantação de ações que promovam a recuperação das áreas degradadas na área do Parque;
- X - Complementar a representatividade do Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC) incluindo a proteção integral do bioma Caatinga local (JUAZEIRO DO NORTE, 2017, art. 1, p. 1).

## 4. METODOLOGIA

A metodologia realizada neste trabalho encontra-se estruturada conforme apresentado no fluxograma da Figura 6. Diante disso, foram realizadas análises para a caracterização físico-química da água da Lagoa dos Macacos e do solo próximo a lagoa; além da caracterização física/mecânica e avaliação da erodibilidade do solo. Neste tópico são apresentados os procedimentos de amostragem e métodos de análises/ensaios realizados em laboratório.

**Figura 6.** Fluxograma simplificado das etapas metodológicas.



### 4.1. Tipo de Pesquisa

Esta pesquisa apresenta uma abordagem quanti-qualitativa de cunho exploratório descritivo, visto que foram realizadas coletas de amostras de água e solo para caracterização e avaliação da degradação ambiental do solo e da água do Parque Natural Municipal das Timbaúbas.

Proetti (2017) afirma que as pesquisas qualitativas e quantitativas permitem entender, desvendar, qualificar e quantificar de forma verificativa, além de estudar a importância dos fenômenos e fatos para que possam ser mensurados.

Para Rodrigues *et al.* (2021) a pesquisa qualitativa visa analisar, entender, observar e interpretar os fatos com o intuito de compreender seus significados, ou seja, tem como característica a assertividade descritiva. Já a pesquisa quantitativa traz uma abordagem de quantificação, o autor explica que nesse método o pesquisador busca “dimensionar, analisar e avaliar a aplicabilidade de recursos ou técnicas ou até mesmo introduzir uma variável na coleta de dados para um registro quantitativo”, permitindo atingir resultados descritivos a partir de dados obtidos por meio de análises e cálculos.

Entender sobre a utilização dessas pesquisas (qualitativa e quantitativa) permite a escolha das metodologias e ferramentas de coletas e análise de dados e informações de modo correto, produtivo e eficaz, pois o conhecimento se constrói com estudos de forma planejada, pensada de modo racional (PROETTI, 2017).

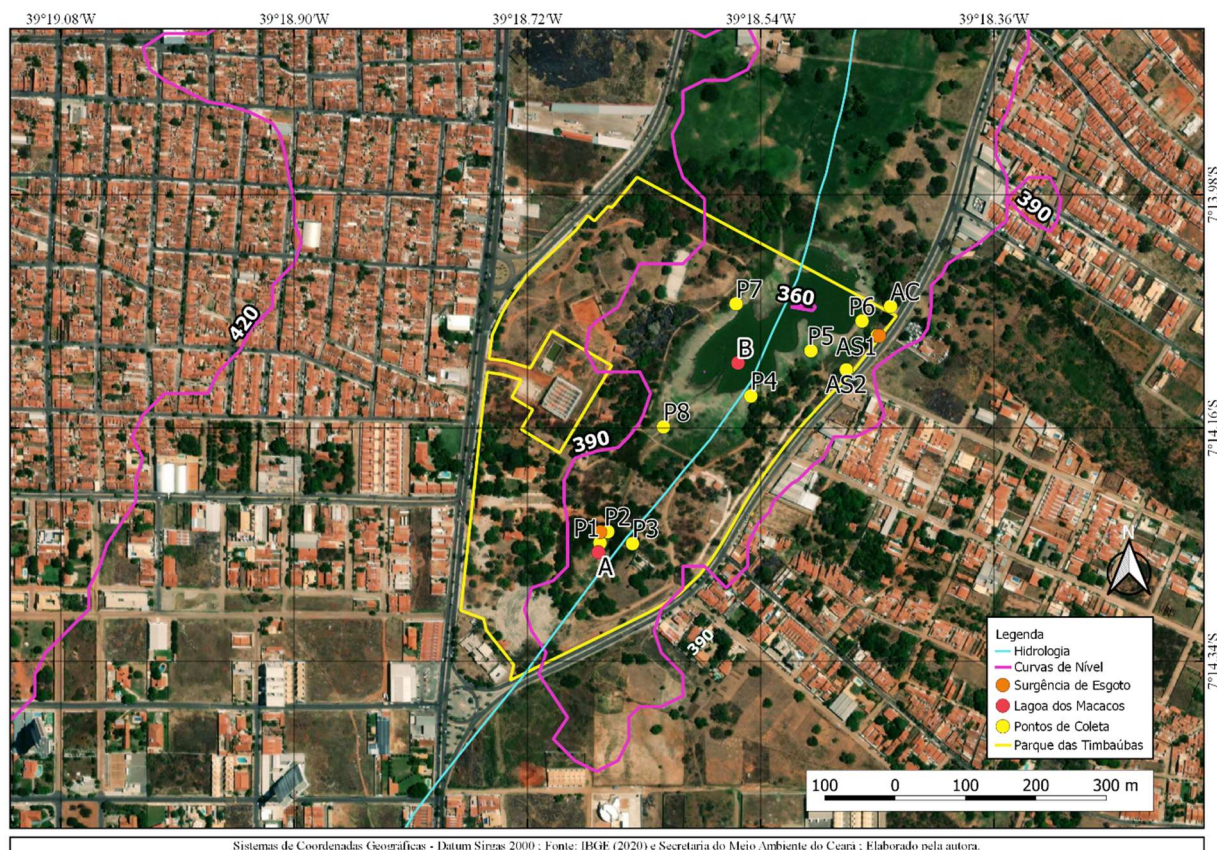
#### **4.2. Amostragem e métodos de análise físico-química da água e do solo**

Os pontos de coletas de água e solo foram selecionados após visita in loco e georreferenciados (por meio de aparelho GPS Garmin eTrex 30x) de modo a se obter uma amostragem significativa.

As amostras para análise de água foram coletadas quinzenalmente, no período de novembro/2021 a março/22, em 8 pontos (FIGURA 7) distribuídos na Lagoa dos Macacos (LAM), no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, perfazendo um total de 6 coletas em cada ponto. A escolha da localização dos pontos de coleta se baseou na necessidade de se entender a dinâmica do corpo hídrico diante do uso e ocupação do solo no seu entorno. Para isto, foram demarcados 3 pontos de coleta (P1, P2 e P3) na área sul e 5 (P4, P5, P6, P7, P8) na área norte da LAM.



**Figura 7.** Localização dos pontos de amostragem.



Fonte: Autora, 2022. Legenda: P: Pontos de coleta de água; AC: Amostra Controle; AS1: Amostra de Solo 1; AS2: Amostra de Solo 2; A: Lagoa dos Macacos área sul; B: Lagoa dos Macacos área norte.

No Quadro 1 estão listados os parâmetros determinados nas amostras de água da LAM, utilizados para sua caracterização físico-química, com as respectivas metodologias e referências.

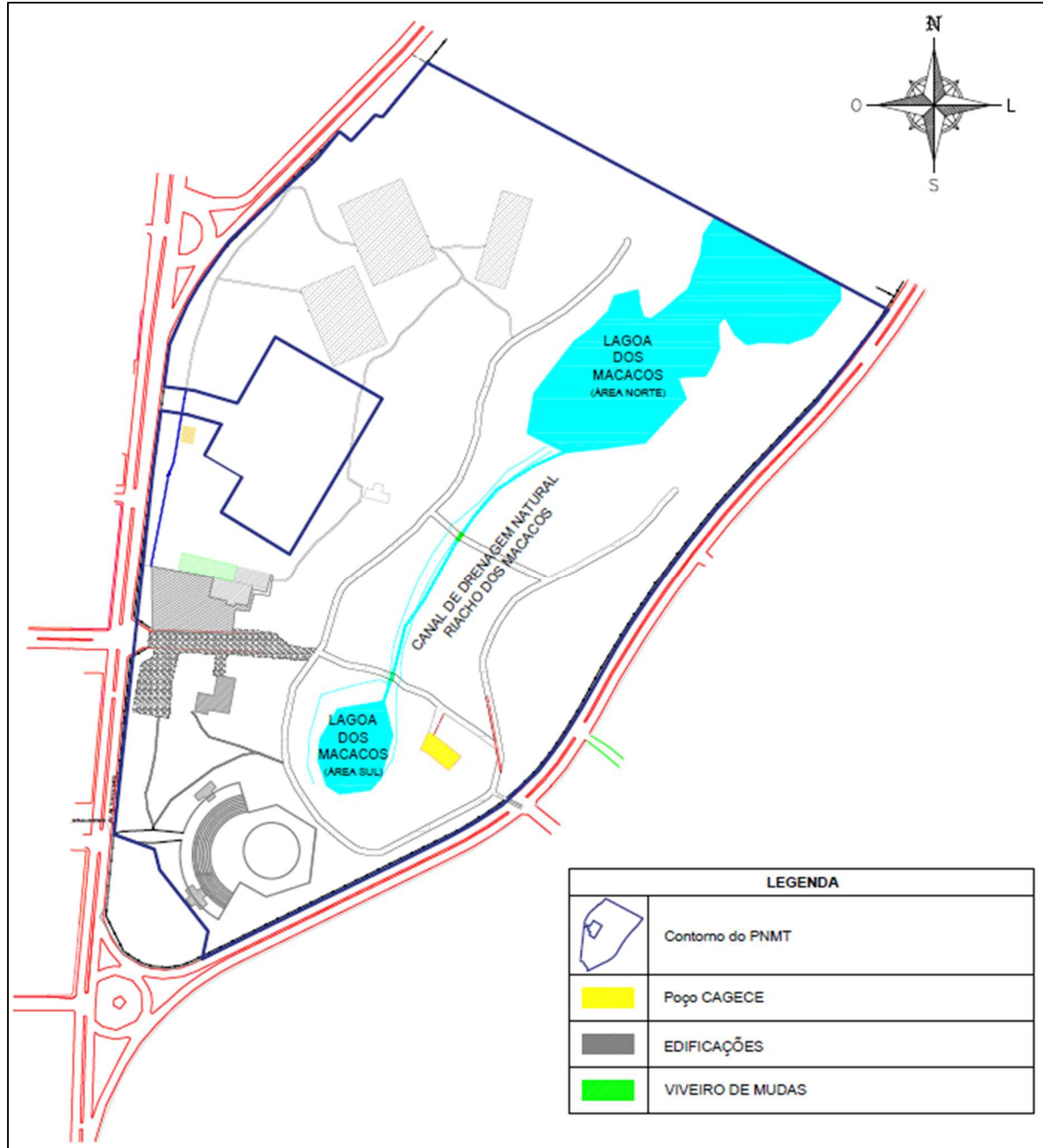
Os dados obtidos da determinação dos parâmetros pH, oxigênio dissolvido, DBO<sub>5</sub> e sólidos dissolvidos também foram utilizados para avaliação da condição da qualidade da água considerando o estabelecido pela Resolução do CONAMA n° 357/2005 para corpos de água de Classe 1, por esta classe ser a de uso mais restritivo após a Classe Especial. Esta consideração se deve ao fato de não existir um banco de dados com informações históricas relacionadas as condições naturais da qualidade da água da LAM que sirvam de referência para comparação temporal dos dados.

**Quadro 1.** Parâmetros físico-químicos, e seus respectivos métodos de análise, determinados em amostras de água coletadas na LAM, localizada no PNMT, em Juazeiro do Norte - CE.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Referência</b>
<b>Condutividade Elétrica - CE</b>	μS/cm	Condutivimétrico	
<b>Potencial Hidrogeniônico - pH</b>	Und pH	Potenciométrico	
<b>Oxigênio Dissolvido - OD</b>	mgO <sub>2</sub> /L	Oxímetro	
<b>Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5</sub></b>	mgO <sub>2</sub> /L	Oxímetro - incubação com diluição	
<b>Demanda Química de Oxigênio - DQO</b>	mg/L	Refluxação Fechada - Titulométrico	APHA (2012)
<b>Sólidos Totais - ST</b>	mg/L	Gravimétrico	
<b>Sólidos Suspensos - SS</b>	mg/L	Filtração e Secagem	
<b>Sólidos Sedimentáveis - SS</b>	mg/L	Sedimentação em Cone Imhoff	
<b>Sólidos Dissolvidos - SD</b>	mg/L	Gravimétrico	

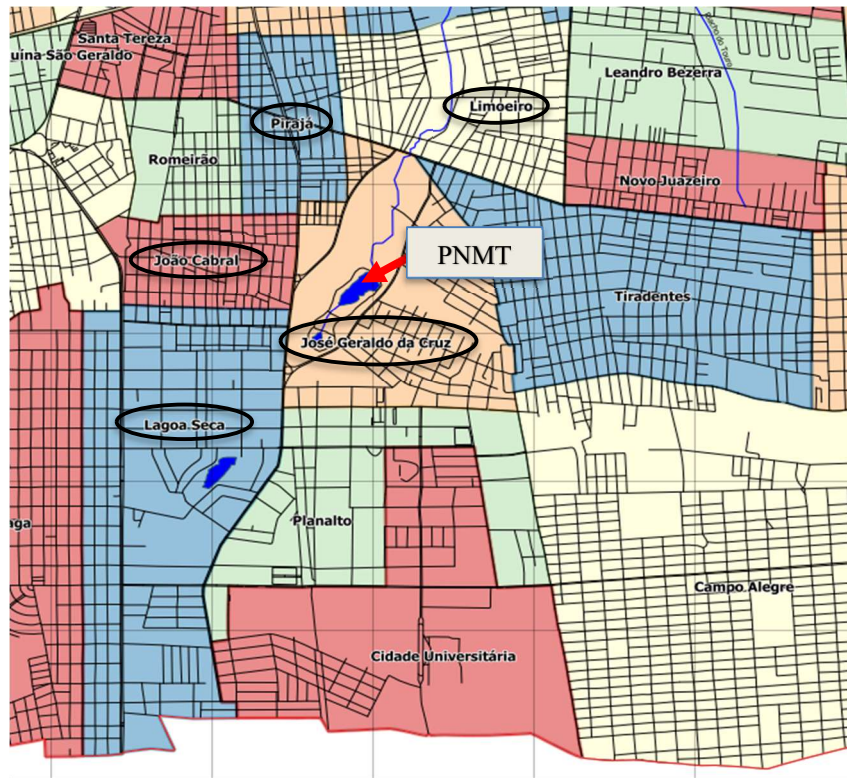
A LAM é dividida em duas zonas (áreas sul e norte) que são interligadas por um canal de drenagem natural (trecho do Riacho dos Macacos) (FIGURA 8). No período de estiagem, o volume da lagoa é reduzido substancialmente, sendo a mesma perenizada pelo aporte de águas cinzas oriundas dos bairros circunvizinhos ao Parque (FIGURA 9). Estes esgotos adentram a LAM por meio das redes de drenagem de águas pluviais, o que indica a existência de ligações clandestinas de esgoto no referido sistema de drenagem. Além disso, o maior fluxo/descarga de esgotos ocorre na área sul da lagoa (FIGURA 10).

**Figura 8.** Desenho esquemático do PMNT, localizado em Juazeiro do Norte – CE, ilustrando a divisão da LAM nas áreas sul e norte e o canal de drenagem natural que interliga as duas áreas da lagoa.



Fonte: Autora, 2022.

**Figura 9.** Bairros do entorno do PNMT em Juazeiro do Norte-CE.



Fonte: Autora, 2022.

**Figura 10.** Lançamento de águas cinzas por meio da galeria pluvial na Lagos dos Macacos.



Fonte: Autora, 2022.

Quanto as amostras de solo, todas foram coletadas na área norte da LAM nos pontos AS1, AS2 e AC (FIGURA 7). Os pontos AS1 (24M 466068 9200299) e AS2 (24M 466448 9200815) estavam localizados na área da borda da lagoa (FIGURA 11A e FIGURA 11B) e o ponto AC (24M 465339 9200148) numa área fora da referida borda (FIGURA 11C).

Entenda-se por borda da lagoa a área que é inundada pela água nos períodos chuvosos. Assim, o ponto AC foi considerado como ponto de referência, uma vez que estava localizado em uma área que não era inundada pela lagoa e nem recebia contribuição de águas cinzas, como ocorria na área do AS1.

**Figura 11.** Locais dos pontos de coleta do solo



Fonte: Autora, 2022. Legenda: (A) Local da Amostra de Solo 1 (AS1); (B) Local da Amostra de Solo 2 (AS2); (C) Local da Amostra Controle (AC).

Ressalta-se que com o início do período chuvoso, a partir de novembro/2021, a cota da lâmina d'água da LAM começou a aumentar, impossibilitando o acesso aos pontos de coleta AS1, AS2 (FIGURA 12), devido a isto, só foi possível coletar as amostras de solo nos meses de novembro e dezembro de 2021. Após cada coleta, as amostras foram acondicionadas e encaminhadas ao laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Cariri (UFCA) para proceder análises físico-químicas, seguindo as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

**Figura 12.** Pontos de amostragem de solo alagados.



Legenda: Seta vermelha: AS1; Seta amarela: AS2.  
Fonte: Autora, 2022.

Os parâmetros avaliados nas análises físico-químicas de água e de solo com suas respectivas metodologias e referências estão listados no Quadro 2.

**Quadro 2.** Parâmetros físico-químicos e métodos de análise.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Referência</b>
<b>Potencial Hidrogeniônico - pH</b>	Und pH	Potenciométrico	EMBRAPA (2017)
<b>Condutividade Elétrica - CE</b>	μS/cm	Condutivimétrico	FAO (2021)
<b>Carbono Lábil - CLábil</b>	g/kg	Oxidação com permanganato de potássio	MENDONÇA
<b>Carbono Orgânico Total - COT</b>	dag/kg	Oxidação com Dicromato de Potássio	E MATOS (2005)
<b>Carbono Solúvel - CS</b>	mg/kg	Oxidação com Dicromato de Potássio	

#### **4.3. Ensaio de caracterização mecânica e avaliação da erodibilidade dos solos**

Para a caracterização física/mecânica do solo e avaliação dos processos erosivos foram coletadas, no dia 24 de novembro de 2021, amostras de solo deformadas e indeformadas. As amostras indeformadas foram moldadas no tamanho 30 cm x 30 cm x 30 cm (FIGURA 13) e acondicionadas em caixas de madeira. Após as coletas, essas foram transportadas ao laboratório de Mecânica dos Solos da UFCA para realização dos ensaios geotécnicos conforme descritos no Quadro 3.

**Figura 13.** Processo de extração do solo indeformado.



Fonte: Autora, 2022. Legenda: a) corte do solo nas dimensões 30 cm x 30 cm x 30 cm; b) envelopamento do solo com tecido de algodão c) utilização de parafina no tecido para conservação da umidade do solo; d) solo indeformado sendo acondicionado na caixa.

**Quadro 3.** Ensaio do Solo.

<b>Ensaio</b>	<b>Uni.</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Referência</b>
<b>Granulometria</b>	mm	Peneiramento e Sedimentação	NBR 7181 (ABNT, 2016b)
<b>Limite de Liquidez</b>	%	Casa Grande	NBR 6459 (ABNT, 2017)
<b>Limite de Plasticidade</b>	%	Rolamento de massa de solo sobre placa de vidro esmerilhada	NBR 7180 (ABNT, 2016c)
<b>Densidade real dos grãos</b>	g/cm <sup>3</sup>	Picnômetro	NBR 6508 (ABNT, 1984)
<b>Dispersão Rápida (Crumb Test)</b>	-	Ensaio do Torrão	NBR 13601 (ABNT, 1996)
<b>Desagregação (Slaking Test)</b>	-	Desagregação de solo por imersão em água	FRANKSLALE (2008)
<b>Estabilidade de Agregados</b>	-	Padrão de Yoder	EMBRAPA (2017)



#### 4.3.1. Caracterização física do solo

Os ensaios de análise granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade e densidade real dos grãos contemplam a caracterização física do solo. Para a realização dos ensaios, as amostras de solo foram preparadas conforme recomendado pela NBR 6457 (ABNT, 2016), Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

A análise granulométrica foi realizada pelo método de peneiramento e sedimentação descritos na NBR 7181 (ABNT, 2016). A sedimentação foi feita em duas situações, a primeira utilizando como defloculante, o hexametáfosfato de sódio ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>; e a segunda sem defloculante, com uso somente de água destilada.

Para a determinação da densidade real dos grãos, o ensaio foi realizado pelo método do picnômetro, seguindo o procedimento descrito na NBR 65508 (ABNT, 1984). A determinação do limite de liquidez foi executada pelo método do aparelho Casa Grande, de acordo com a NBR 6459 (ABNT, 2017) e o limite de plasticidade foi determinado a partir da NBR 7180 (ABNT, 2016). Em posse desses resultados é possível calcular o índice de plasticidade.

#### 4.3.2. Ensaios para avaliação indireta da erodibilidade do solo

##### 4.3.2.1. Ensaio de Dispersão Rápida (*Crumb Test*)

O ensaio de dispersão rápida (*Crumb Test*) foi realizado seguindo a metodologia descrita na NBR 13601 (ABNT, 1996), com o objetivo de avaliar o grau de dispersão e observar o comportamento do solo quando imerso em água. Este ensaio foi executado com a finalidade de identificar o grau de dispersão dos solos estudados, podendo indicar se o solo é suscetível a erosão interna (SOUSA, 2020). As amostras de solo foram depositadas nos béquer com os dedos, de forma que não houvesse perturbação ou queda dos mesmos. O ensaio foi realizado com amostra na umidade natural e seca ao ar, utilizando água destilada e água poluída oriunda da Lagoa dos Macacos.

Nesse sentido, foram moldados 12 torrões, de formato aproximadamente esférico e diâmetro de cerca de 10 mm, a partir do solo indeformado. Em seguida foram utilizados 6 corpos de prova, na umidade natural, onde 3 torrões foram imersos em 150 mL de água destilada e os outros 3 torrões em 150 mL de água poluída. Da mesma forma ocorreu para as amostras seca ao ar. Durante 60 min, procedeu-se a observação do comportamento do solo e ao final do período definiu-se o grau de dispersão, conforme Quadro 4.

**Quadro 4.** Graus de dispersão do solo.

<b>Grau</b>	<b>Característica descritiva</b>
<b>1</b>	<i>Não-dispersivo</i> : o torrão de solo pode absorver água, sofrer esboroamento e esparramar-se no fundo do béquer formando uma pilha achatada, mas o líquido não apresenta sinal de turvação causado por coloides em suspensão.
<b>2</b>	<i>Levemente dispersivo</i> : indicativo de água turva, próximos à superfície do torrão.
<b>3</b>	<i>Moderadamente dispersivo</i> : verifica-se facilmente a formação de finos coloides em suspensão espalhando-se no fundo do béquer.
<b>4</b>	<i>Fortemente dispersivo</i> : formação de nuvem coloidal cobrindo quase todo o fundo do béquer e em casos extremos toda a água torna-se turva.

Fonte: NBR 13601.

#### 4.3.2.2. Ensaio de Desagregação (Slaking Test)

Para o ensaio de desagregação (*Slaking Test*) foi utilizado a metodologia proposta por Santos (1997) e descrita em Franklale (2008) e Medeiros *et al.* (2020), que consiste em dois processos de imersão (total ou parcial), com amostras de solo indeformadas em formato cúbico de aproximadamente 6 cm de aresta. Na imersão total, as amostras são submersas em água destilada por até 24 horas. Já na imersão parcial, o corpo de prova é submetido a imersão por estágios, sendo eles:

1. Água destilada na base por 30 minutos;
2. Água destilada a 1/3 da altura do corpo de prova durante 15 minutos;
3. Água destilada a 2/3 da altura do corpo de prova durante 15 minutos; e,
4. Submersão total da amostra por 24 horas.

Os ensaios de desagregação foram executados por imersão total e parcial, em amostras de solo indeformada nas condições de umidade natural e seca ao ar. Para imersão do solo, foram utilizados água destilada e água poluída proveniente da Lagoa dos Macacos. Este ensaio é de caráter qualitativo da erodibilidade do solo, uma vez que, o comportamento das amostras é avaliado segundo a perspectiva visual do analista, descrevendo os eventos ocorridos frente a ascensão capilar.

Foram moldados no ensaio 12 amostras de cada solo indeformado, sendo 6 utilizadas na umidade natural (3 imersos em água destilada e 3 em água poluída) e outras 6 previamente seca ao ar (3 imersos em água destilada e 3 em água poluída). No ensaio, as amostras foram dispostas sobre papel filtro e superfície porosa dentro de uma bandeja. Também foram utilizados água

destilada e água poluída da Lagoa dos Macacos. Ao final do ensaio foi anotado o comportamento das amostras seguindo a classificação proposta por Holmgren e Flanagan (1997) descrita em Franklale (2008), quanto aos tipos de reação à inundação, conforme a seguir:

**Quadro 5.** Classificação proposta por Holmgren e Flanagan (1997), quanto aos tipos de reação à inundação do solo.

<b>Reação</b>	<b>Comportamento</b>
<b>Sem resposta</b>	a amostra mantém-se inalterada.
<b>Fraturamento</b>	a amostra se fragmenta preservando nas faces externas sua forma original.
<b>Abatimento</b>	a amostra sofre desintegração, formando uma pilha de material desestruturado.
<b>Dispersão</b>	as bordas das amostras se difundem formando uma nuvem coloidal que aumenta ao passo que a amostra se dissolve.

Fonte: FRANKSLALE, 2008.

#### 4.3.2.3. Ensaio da Estabilidade de Agregados

No ensaio da estabilidade de agregados foi utilizada o método padrão Yoder (1936) que consiste em quantificar o volume do solo em classes de tamanhos de agregados a partir do peneiramento por via seca e via úmida, conforme descrito no Manual da EMBRAPA (2017).

As amostras são preparadas para o ensaio a partir do solo indeformado, fragmentando-se, manualmente, os agregados maiores, e peneirada manualmente com peneiras de aberturas de 9,5 mm e 4,76 mm, eliminando-se a fração menor que 4,76 mm, para que se obtenha agregados com diâmetro entre 4,76 mm e 9,5 mm. A determinação dos agregados via seca e úmida seguiram os procedimentos do Manual da EMBRAPA (2017):

##### *Via Seca*

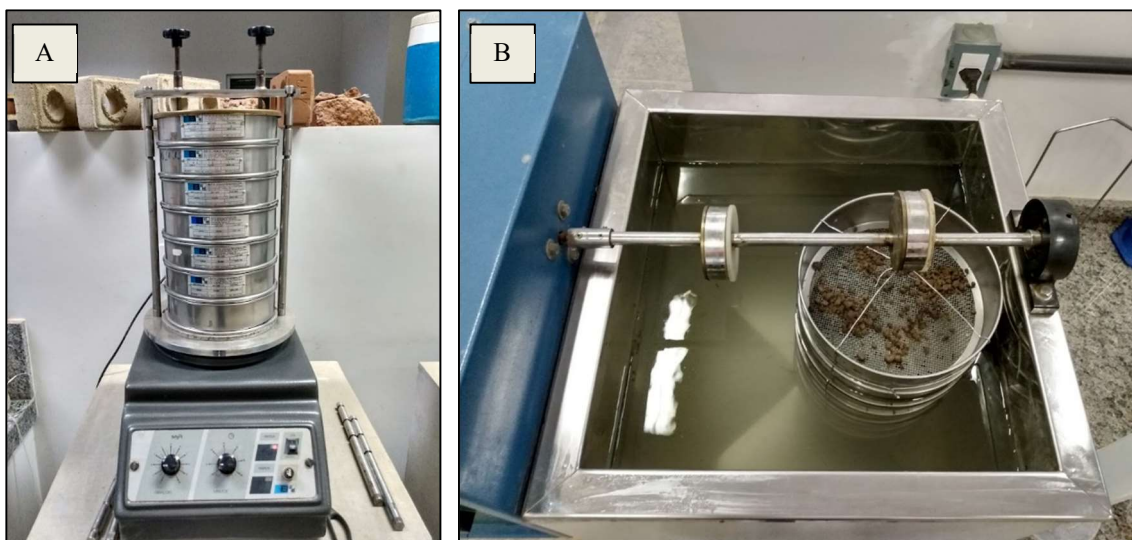
- Foi montado um conjunto de peneiras com aberturas de 4,76 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,25 mm; 0,125 mm e 0,053 mm, mais o fundo da peneira;
- 50 g de solo seco foi distribuída homoganeamente sobre o conjunto de peneiras e submetida a agitação mecânica, com vibração de 30% (FIGURA 14A), durante 1 minuto;

- Após 1 min de agitação mecânica, o solo retido em cada peneira é pesado e determinado a massa bem como o percentual de agregados. Em posse desses resultados é possível calcular o Diâmetro Médio Ponderado via seca (DMPs).

#### *Via Úmida*

- O solo utilizado no peneiramento seco é reconstituído, colocado em um funil de papel filtro, e inserido água o suficiente para o umedecimento por capilaridade;
- Após 16 horas, a amostra umedecida é colocada, cuidadosamente de forma homogênea, na peneira superior do conjunto de peneiras, com aberturas de 4,76 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,25 mm; 0,125 mm e 0,053 mm; fixadas a um agitador de peneiras Yoder, com oscilação vertical (FIGURA 14B), nas quais são inseridas água o suficiente para que alcance, aproximadamente, a metade da altura peneira superior;
- Liga-se o aparelho de oscilação vertical por um período de 15 minutos e uma frequência de 42 oscilações por minuto;
- Em seguida, o material retido em cada peneira é transferido para recipientes de massa conhecida, com o auxílio de jatos de água, e levadas a estufa a 105 °C, para secagem e posterior determinação da massa seca retida em cada peneira;
- Em posse dos resultados da massa seca, é determinado o Diâmetro Médio Ponderado por via úmida (DMPu).

**Figura 14.** Equipamentos utilizados no ensaio de estabilidade de agregados.



Fonte: Autora, 2022. Legenda: A) Aparelho de agitação mecânica; B) Agitador de peneiras Yoder.

Devido ter pouco material indeformado, dos solos em estudo, e o equipamento Yoder necessitar de bastante água para a realização do ensaio (cerca de 60 L), não foi possível executar o ensaio utilizando água poluída da lagoa, sendo utilizada apenas água da torneira do laboratório proveniente do poço da UFCA.

A partir da quantificação do solo de cada peneira, é estimado o diâmetro médio ponderado por via seca e úmida, conforme mencionado, e o índice de estabilidade de agregados por meio das Equações 2, 3 e 4 (EMBRAPA, 2017).

#### **4.4. Análise Estatística**

A análise estatística dos resultados físico-químicos da água e do solo foi desenvolvida por meio da estatística descritiva. A estatística descritiva foi aplicada para se obter os valores de médias, mínimos, máximos, medianas, desvio padrão e coeficientes de variação.

Para verificar se existia diferenças significativas dos valores de um determinado parâmetro pesquisado obtidos entre os diferentes pontos de coleta, foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis, com nível de significância  $p\text{-valor} < 0,05$ .

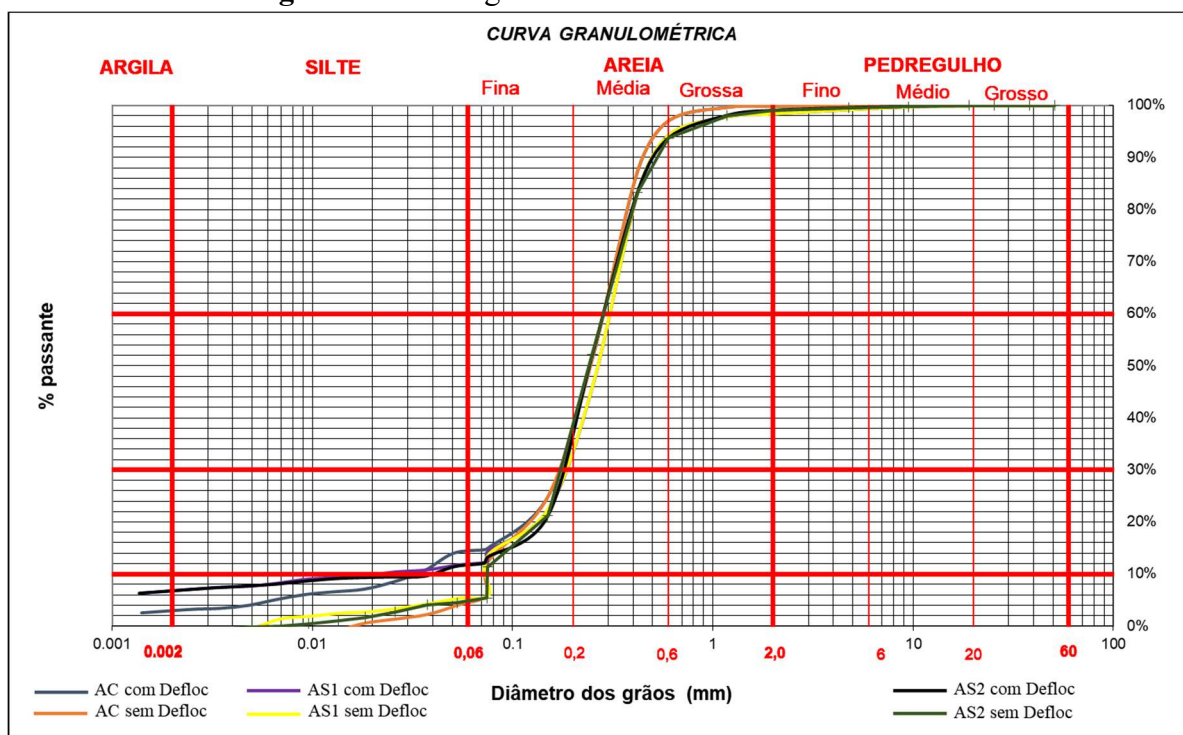
As análises estatísticas foram determinadas com o auxílio do programa *BioEstat 5.3*, para análise de variância. O *R Studio* e *Excel 2019* foram utilizados para o tratamento dos dados da estatística descritiva e elaboração de gráficos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Avaliação indireta da erodibilidade a partir da caracterização física do solo

Para a caracterização física do solo, foram realizados os ensaios de granulometria (peneiramento e sedimentação) apresentados na curva granulométrica da Figura 15, limite de liquidez, limite de plasticidade e massa específica real dos grãos. As amostras de solo apresentam predominância de grãos de tamanho areia, superior a 83%. Os limites de consistência apresentaram-se como não líquido (NL) e não plástico (NP). Em posse desses resultados, foi possível classificar as amostras de solo como areias siltosas (SM). A Tabela 2 descreve o resumo dos resultados obtidos na caracterização física para os solos estudados. É possível observar que as amostras de solos possuem predominância de areia média, com uma pequena fração de argila e silte.

Figura 15. Curva granulométrica das amostra de solo.



**Tabela 2.** Resumo da caracterização física dos solos.

Análise	Amostra						
	AC		AS1		AS2		
	C/D	S/D	C/D	S/D	C/D	S/D	
Granulometria	% Pedregulho	0	0	1	2	1	1
	% Areia Grossa	3	3	4	4	3	5
	% Areia Média	57	58	58	58	56	60
	% Areia Fina	26	33	24	31	28	29
	% Silte	11	5	5	5	5	5
	% Argila	3	0	7	0	7	0
	% passante #200	15	12	13	13	13	11
	C <sub>u</sub>	9,94		13,60		6,85	
	C <sub>c</sub>	3,58		4,90		2,47	
Limites de Atterberg	LL	NL		NL		NL	
	LP	NP		NP		NP	
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,644		2,618		2,690		
Classificação Granulométrica	Areia Siltosa		Areia Siltosa		Areia Siltosa		
Classificação SUCS	SM		SM		SM		

Legenda: C/D – Com defloculante; S/D – Sem defloculante; C<sub>u</sub> – Coeficiente de uniformidade; C<sub>c</sub> – Coeficiente de curvatura; LL – Limite de Liquidez; LP – Limite de Plasticidade; SUCS – Sistema unificado de classificação de solos; SM – Areia siltosa.

Para a determinação do fator de erodibilidade (K), Oliveira e Araujo (2018) utilizaram a classificação granulométrica da ASTM, que consideram as frações de areia entre 4,75 e 0,075 mm, silte entre 0,075 e 0,005 mm e argila entre 0,005 e 0,001 mm. Dessa forma, para a determinação do fator K, conforme apresentado na Equação 1, foram utilizadas a classificação ASTM, obtendo as frações apresentadas na Tabela 3 e os fatores de erodibilidade para as três amostras. Observa-se na Tabela 3 que os valores de K foram superiores a 0,06, indicando a alta erodibilidade dos solos estudados.

**Tabela 3.** Fator de erodibilidade (K) para os solos, conforme Oliveira e Araujo (2018).

AMOSTRA	% AREIA	% SILTE	% ARGILA	K
AC	84	13	3	0,32
AS1	85	12	2	0,49
AS2	86	12	2	0,49

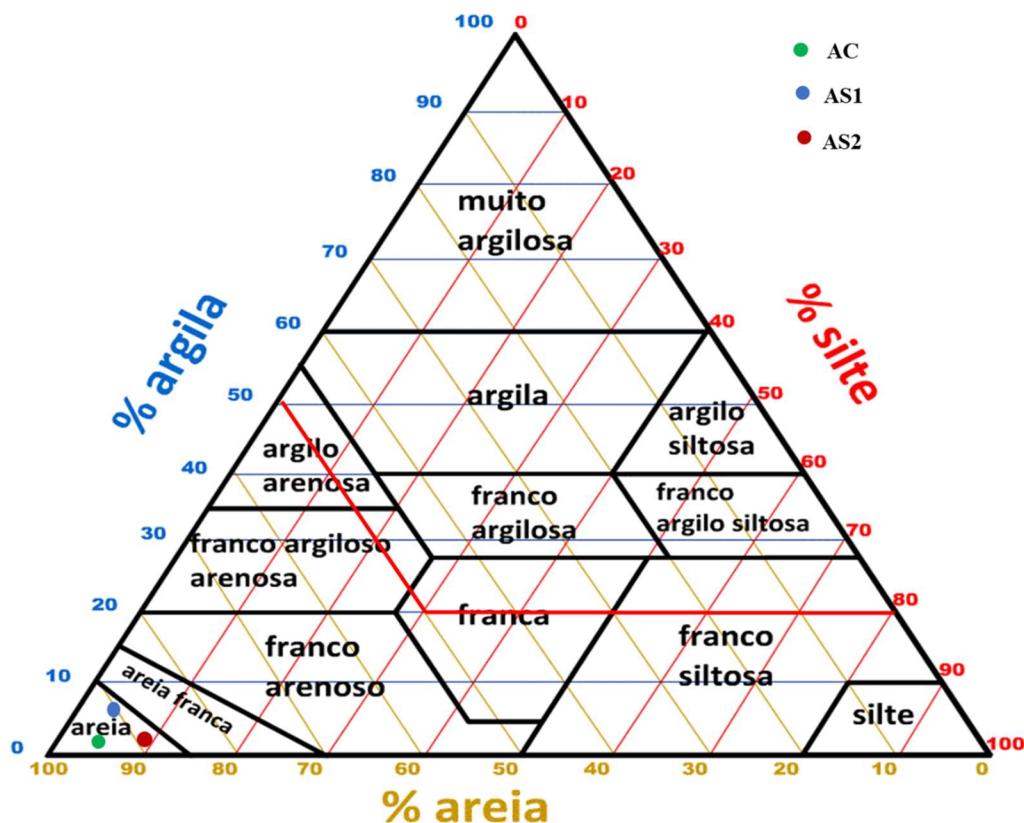
Com relação a porcentagem passante na peneira # 200, foram encontrados os valores de 15% na amostra AC, 13% na amostra AS1 e 13% na amostra AS2. Considerando o critério

de erodibilidade, descrito por Meireles (1967), em relação a porcentagem de solo que passa na peneira # 200, exposto em Bastos (1999), Santos e Araujo (2018) e Oliveira e Araujo (2018), os três solos estudados apresentaram % passante # 200  $\leq$  20%, sendo considerados solos com forte potencial de erosão.

Já na proposta de Santos (2001), descrito em Santos e Araujo (2018) e Oliveira e Araujo (2018), que leva em consideração o coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ), as amostras de solos foram classificadas como de média erodibilidade, com  $5 < C_u < 15$ .

A partir do diagrama do triângulo textural do solo, todos os solos estudados compreendem a classe textural arenosa (FIGURA 16), apresentando alto potencial de erodibilidade, conforme proposta definida por Araujo (2000).

**Figura 16.** Classificação dos solos pelo Triângulo Textural do solo.



## 5.2. Ensaios para avaliação indireta da erodibilidade do solo

### 5.2.1. Ensaio de Dispersão Rápida (*Crumb Test*)

No ensaio de dispersão rápida foi observado que à medida que as amostras de solo entravam em contato com a água, as laterais se desfaziam de forma rápida. Apesar do

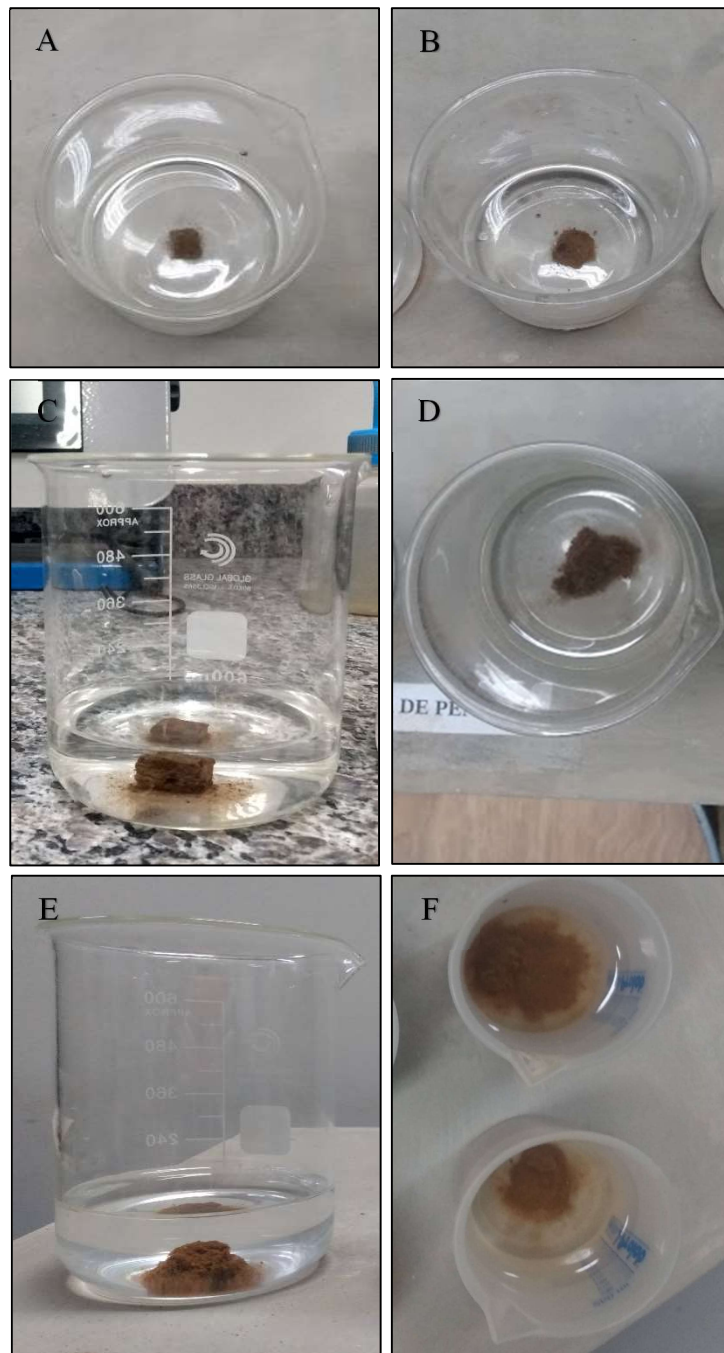


desprendimento de agregados e formação de pilha do material no fundo do béquer (FIGURA 17), não foi observado nenhum sinal de turvação no líquido. Este comportamento foi observado nas duas situações, com solo na umidade natural e seca ao ar, tanto para a água destilada quanto para a água poluída. Nesse sentido, as amostras foram classificadas como de Grau 1 e Comportamento de solos Não-dispersivos, conforme análise de classificação descrita na NBR 13601 (ABNT, 1996).

Dias (2014) observou comportamento semelhante nos tropicais do município de Aparecida de Goiânia-GO, no entanto, a NBR 13601 afirma que a presença de sódio torna o solo mais suscetível a erosão interna por dispersão. A presença de sódio, no solo, aumenta a espessura da camada dupla de água difusa, que contorna as partículas individuais de argila, sucedendo uma perda nas forças de atração entre as partículas e possibilitando o destacamento das massas de argila com facilidade, ocorrendo a dispersão. Com isso, para Dias (2014) como em solos tropicais não há presença de sódio, o ensaio de dispersão não é um indicativo para erodibilidade.

Maia (2018), estudando a estabilidade da encosta Ladeira do Pilar – Comércio, no município de Salvador-BA, obteve no ensaio de dispersão rápida, solos classificados com grau de dispersão 1 e comportamento não dispersivo, não apresentando nenhum sinal de turvação do líquido mesmo com a presença de coloides em suspensão no fundo do béquer.

**Figura 17.** Resultado do ensaio *Crumb Test*.



Fonte: Autora, 2022. Legenda: A: AC na umidade natural; B: AC seca ao ar; C: AS1 na umidade natural; D: AS1 seca ao ar; E: AS2 na umidade natural; F: AS2 seca ao ar.

### 5.2.2. Ensaio de Desagregação (Slaking Test)

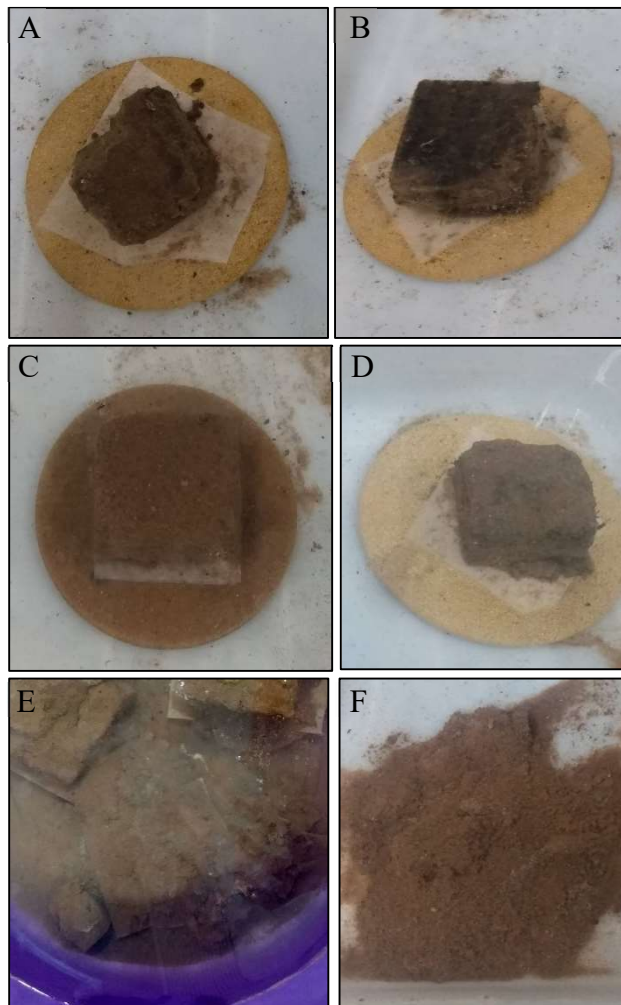
O Quadro 6 descreve o comportamento das amostras, durante o ensaio, nas condições de umidade natural e seca ao ar, em contato com água destilada e água poluída. Apresenta também o comportamento final de cada amostra estudada.

**Quadro 6.** Descrição do comportamento dos solos no ensaio de desagregação.

<b>Desagregação (<i>Slaking Test</i>)</b>					
<b>Solo</b>	<b>Condição inicial</b>	<b>Tipo de água</b>	<b>Comportamento da amostra durante o ensaio</b>	<b>Comportament o Final</b>	
<b>AC</b>	<b>Umidade Natural</b>	Destilada	Rápida ascensão capilar (< 15 min), com pequenas rupturas laterais e sem nenhum fraturamento ou abatimento.	Não desagregou Sem resposta	
		Poluída	Rápida ascensão capilar sem nenhuma desagregação permanecendo sua forma inalterada.	Não desagregou Sem resposta	
	<b>Seca ao ar</b>	Destilada	Rápida ascensão capilar, sem desagregação superficial, fissuras ou rupturas.	Não desagregou Sem resposta	
		Poluída	Rápida ascensão capilar e nenhuma desagregação.	Não desagregou Sem resposta	
	<b>AS1</b>	<b>Umidade Natural</b>	Destilada	Rápida ascensão capilar (15 min) e nenhuma desagregação, mantendo a amostra inalterada.	Não desagregou Sem resposta
			Poluída	Rápida ascensão capilar > 15 min, nenhum inchamento ou abatimento permanecendo sua forma original.	Não desagregou Sem resposta
<b>Seca ao ar</b>		Destilada	Rápida ascensão capilar (15 min) sem nenhuma desagregação.	Não desagregou Sem resposta	
		Poluída	Rápida ascensão capilar, não apresentando fissuras, abatimento ou desagregação.	Não desagregou Sem resposta	
<b>AS2</b>	<b>Umidade Natural</b>	Destilada	Rápida ascensão capilar com inchamento na base, ruptura nas laterais e fissuras no topo. A amostra sofreu desintegração formando uma pilha de material desestruturado.	Total desagregação Abatimento	
		Poluída	Rápida ascensão capilar, fissuração no topo, rupturas laterais e abatimento.	Total desagregação Abatimento	
	<b>Seca ao ar</b>	Destilada	Rápida ascensão capilar (15 min), fraturamento com desprendimento de grumos, fissuração no topo. Amostra sofreu desagregação.	Total desagregação Abatimento	
		Poluída	Rápida ascensão capilar, com rupturas nas bordas e fissuração no topo. Apresentou abatimento, sofrendo total desintegração.	Total desagregação Abatimento	

No ensaio por imersão total (FIGURA 18), apenas a amostra AS2 resultou em total desagregação por abatimento, formando uma pilha do material desintegrado. As amostras de solo AC e AS1 não sofreram desagregação, tanto para umidade natural quanto para seco ao ar, em água destilada e poluída, mantendo a amostra quase que inalterada até o final do ensaio. Isso pode ter ocorrido devido a presença de raízes no solo o que garantiu uma resistência maior na desagregação das partículas. Para Bastos (1999), solos que desagregam em água são considerados potencialmente erodíveis. No entanto, Fernandes (2015) afirma que não há uma relação direta entre o potencial de desagregação e os níveis médios e baixos de erodibilidade, e que a desagregação do solo em água está relacionada a fenômenos de dispersão e de desaeração de solos não saturados.

**Figura 18.** Comportamento final das amostras quando submetidas a imersão total.



Fonte: Autora, 2022. Legenda: A: AC na umidade natural; B: AC seca ao ar; C: AS1 na umidade natural; D: AS1 seca ao ar; E: AS2 na umidade natural; F: AS2 seca ao ar.

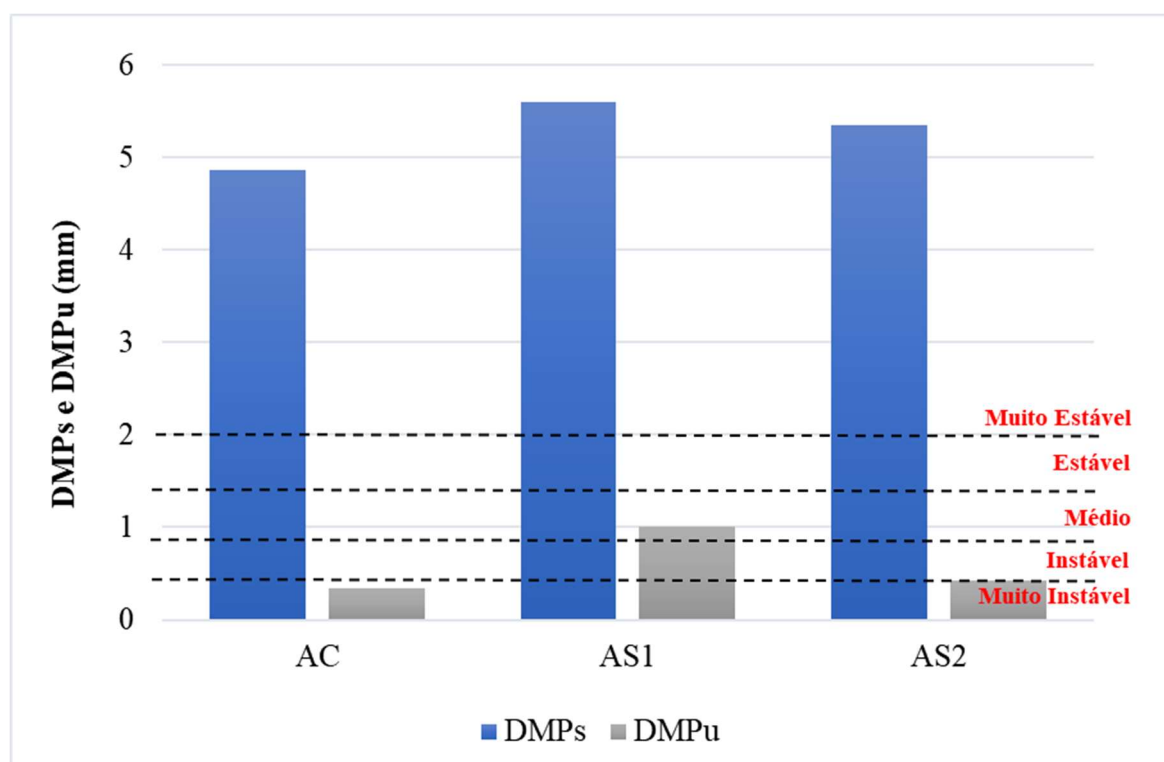
### 5.2.3. Ensaio da Estabilidade de Agregados

A estabilidade de agregados dos solos estudados foi avaliada pelo método padrão Yoder conforme apresentado no capítulo 4 (item 4.3.2). O método avalia a relação de classes de tamanhos de agregados por peneiramento via seca e úmida (EMBRAPA, 2017). A Tabela 4 e a Figura 19 apresentam os valores dos diâmetros médios ponderados via seca (DMPs) e via úmida (DMPu) e os índices de estabilidade de agregados para os solos estudados.

**Tabela 4.** Valores de diâmetros médios ponderados (DMPs e DMPu) e índice de estabilidade de agregados (IEA) para os solos estudados.

Amostra	DMPs (mm)	DMPu (mm)	IEA (%)
AC	4,86	0,34	7,02
AS1	5,60	1,01	18,06
AS2	5,35	0,43	8,03

**Figura 19.** Valores de diâmetros médios ponderados (DMPs e DMPu) para os solos estudados.



Ao utilizar a classificação de Le Bissonais (1996), considerando apenas os valores de DMPu, os solos AC e AS2 são classificados como de classe 1 (estabilidade muito instável) e

classe 2 (estabilidade instável), respectivamente, apresentando uma maior chance de erosão se comparado ao solo AS1 apresentado classe 3 considerado como solo de média estabilidade. Ainda é possível observar uma diminuição nos valores de DMP sob condição de umedecimento. Comportamento semelhante observado por Couto (2020) para os horizontes estudados, indicando a instabilidade frente a ação da água pelo processo de umedecimento e agitação lenta.

Ao analisar os índices de estabilidade de agregados (IEA), nenhum dos três solos estudados apresentaram resistência a erosão, com valores de IEA inferiores a 50%. Esses solos, através desse índice, foram considerados como altamente erodíveis, ou seja, ocorre a desintegração dos agregados quando em contato com a água, segundo o critério de erodibilidade apresentado por Couto (2020), onde  $IEA > 70\%$  são solos resistentes à erosão e  $IEA < 50\%$  são solos erodíveis.

Para melhor compreensão e visualização dos resultados obtidos no estudo da erodibilidade, um quadro-resumo é apresentado (QUADRO 7) indicando, para cada critério avaliado, a conclusão acerca da suscetibilidade a erosão dos solos AC, AS1 e AS2 estudados. Vale ressaltar que todos os resultados, descritos no quadro, obtidos em ensaios de laboratório foram idênticos para os ensaios realizados com água destilada e com água poluída, com exceção do ensaio da estabilidade de agregados que só foi possível executar o ensaio apenas com água da torneira do laboratório.

**Quadro 7.** Resumo dos métodos avaliativos da erodibilidade do solo.

<b>Método</b>	<b>AC</b>	<b>AS1</b>	<b>AS2</b>
Fator K	Alta erodibilidade	Alta erodibilidade	Alta erodibilidade
% passante # 200	Forte potencial a erosão	Forte potencial a erosão	Forte potencial a erosão
$5 < Cu < 15$	Média erodibilidade	Média erodibilidade	Média erodibilidade
Triângulo textural	Erodibilidade alta	Erodibilidade alta	Erodibilidade alta
Dispersão rápida	Não dispersivo	Não dispersivo	Não dispersivo
Desagregação	Não desagregou	Não desagregou	Total desagregação
Estabilidade de agregados	Altamente erodível	Altamente erodível	Altamente erodível

### 5.3. Estatística descritiva dos dados

#### 5.3.1. Caracterização físico-químicos da água da Lagoa dos Macacos.

Na Tabela 5 constam os resultados da análise da estatística descritiva dos dados dos parâmetros determinados em amostras de água coletados na Lagoa dos Macacos.

O coeficiente de variação foi classificado segundo Gomes (1990), no qual é considerado como baixo, quando inferior a 10%; médio, quando de 10 a 20%; alto quando de 20 a 30%; e, muito alto quando superior a 30%. Portanto, pode-se observar na Tabela 5 que os parâmetros pH e temperatura apresentaram os menores coeficientes de variação (abaixo de 10%): 3,18% e 5,49% respectivamente, indicando uma maior homogeneidade dos resultados. As demais variáveis (DBO<sub>5</sub>, DQO, OD, ST, SD, SS, SS<sub>ed</sub> e CE) apresentaram CV muito alto (acima de 30%), indicando uma maior variabilidade dos dados, “uma característica intrínseca desse tipo de dado, devido às influências naturais e antrópicas a que os cursos de água estão sujeitos” (PINTO, 2021).

A variabilidade observada na maioria dos dados dos parâmetros analisados está associada a dinâmica de dispersão de poluentes em ambientes aquáticos lênticos (MACÊDO, 2019) uma vez que essa dispersão depende de diversos fatores externos como vento, precipitação, uso do solo, material particulado em suspensão, entre outros e, fatores internos como morfologia, profundidade, estratificação, viscosidade da água, sedimento e vazão (VILLA; SAMPAIO, 2016; MACÊDO, 2019).

**Tabela 5.** Estatística descritiva das análises físico-químicas da água da Lagoa dos Macacos, localizado no Parque Natural Municipal das Timbaúbas, em Juazeiro do Norte - CE.

		<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>
<b>DBO<sub>5</sub></b> <b>(mgO<sub>2</sub>/L)</b>	Min - Máx	22,6 – 240,5	7,8 – 101,9	25,3 – 89,6	14,9 – 57,1	13,7 – 44,9	18,2 – 44,7	10,6 – 82,1	22,4 – 110,5
	Média	141,1	49,2	49,2	32,8	27,4	28,9	33,7	47,7
	DP – CV (%)	91,6 – 64,9	41,1 – 83,5	28,7 – 58,3	17,2 – 52,5	12,0 – 44,0	11,2 – 38,6	30,6 – 90,6	32,6 – 68,3
<b>DQO</b> <b>(mgO<sub>2</sub>/L)</b>	Min - Máx	81,5 – 352,9	22,2 – 191,2	39,1 – 205,9	21,9 – 102,9	22,2 – 95,6	22,6 – 102,9	14,8 – 101,6	44,4 – 125
	Média	208,4	104,9	108,8	54,9	43,6	51,1	57,6	78,9
	DP – CV (%)	115,74 – 55,54	74,81 – 71,33	60,28 – 55,40	30,73 – 55,96	27,88 – 63,96	29,35 – 57,49	42,06 – 72,99	36,26 – 45,97
<b>OD</b> <b>(mgO<sub>2</sub>/L)</b>	Min - Máx	0,4 – 4,7	0,2 – 2,9	0,4 – 3,7	2,4 – 4,9	2,5 – 4,5	2,6 – 5,0	2,0 – 5,9	1,0 – 4,1
	Média	1,6	1,2	1,6	3,6	3,3	3,9	3,9	2,6
	DP – CV (%)	1,8 – 107,3	1,0 – 82,6	1,3 – 83,3	1,1 – 29,5	0,8 – 24	0,9 – 22,5	1,4 – 35,5	1,2 – 46,5
<b>ST</b> <b>(mg/L)</b>	Min - Máx	220 – 929	113 – 509	127 – 513	107 – 252	69 – 689	83 – 257	169 – 219	263 – 367
	Média	605	357	367	183	463	155	193	320
	DP – CV (%)	233,1 – 38,5	146,9 – 41,1	148,1 – 40,3	58,5 – 32,0	249,9 – 54,0	57,1 – 36,9	21,0 – 10,9	36,1 – 11,3
<b>SD</b> <b>(mg/L)</b>	Min - Máx	120 – 733	175 – 574	168 – 592	66 – 203	93 – 187	57 – 301	80 – 660	113 – 179
	Média	383	348	383	135	135	190	230	152
	DP – CV (%)	229,8 – 60,0	167,9 – 48,1	169,8 – 44,3	56,0 – 41,6	35,9 – 26,7	83,5 – 43,7	216,9 – 94,1	23,5 – 15,4
<b>SS</b> <b>(mg/L)</b>	Min - Máx	33 – 116	6 – 61	27 – 60	4 – 41	4 – 33	7 – 48	7 – 51	5 – 42
	Média	64	40	43	16	12	18	17	19
	DP – CV (%)	31,2 – 48,8	18,3 – 46,1	10,5 – 24,4	13,0 – 81,5	10,9 – 88,6	15,3 – 87,1	16,9 – 96,7	14,3 – 75,9
<b>SSed</b> <b>(mg/L)</b>	Min - Máx	0 – 4,5	0 – 0,4	0 – 0,3	0,0	0 – 0,1	0 – 0,1	0 – 0,1	0 – 0,4
	Média	1,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	DP – CV (%)	1,8 – 187,0	0,1 – 81,7	0,1 – 100,2	0,0	0,1 – 154,9	0,1 – 154,9	0,0 – 244,9	0,2 – 137,3
<b>CE</b> <b>(µS/cm)</b>	Min - Máx	170 – 800	190 – 630	220 – 620	160 – 350	150 – 320	160 – 330	150 – 340	170 – 330
	Média	513,3	401,7	410	208,3	200	211,7	203,3	221,7
	DP – CV (%)	286,7 – 55,8	159,7 – 39,8	146,2 – 35,6	75,7 – 36,4	65,4 – 32,7	66,5 – 31,4	74,5 – 36,6	64,6 – 29,2
<b>pH</b>	Min - Máx	6,93 – 7,26	6,75 – 7,20	6,76 – 7,23	6,55 – 6,93	6,53 – 6,93	6,56 – 7,07	6,52 – 7,10	6,38 – 6,96
	Média	7,07	7,04	7,04	6,80	6,76	6,82	6,86	6,66
	DP – CV (%)	0,13 – 1,78	0,18 – 2,56	0,17 – 2,40	0,14 – 2,01	0,18 – 2,63	0,17 – 2,43	0,23 – 3,29	0,23 – 3,42
<b>°C</b>	Min - Máx	26,1 – 29,3	25,4 – 29,9	25,3 – 29,6	25,4 – 30,5	25,4 – 30,4	25,60 – 30,90	25,70 – 30,10	25,70 – 28,90
	Média	27,2	26,9	26,8	27,2	27,2	27,3	27,2	26,9
	DP – CV (%)	1,2 – 4,3	1,6 – 5,9	1,5 – 5,6	1,9 – 6,9	1,8 – 6,6	1,9 – 7,0	1,6 – 5,7	1,2 – 4,3



Segundo Bussap e Morettin (2017), a medida de dispersão (desvio padrão) indica, em média, qual será o “erro” (desvio) cometido ao tentar substituir cada observação pela medida resumo do conjunto de dados (no caso, a média). Assim, analisando-se separadamente os resultados por ponto de coleta (TABELA 5), verifica-se que os maiores desvios em relação a média, para todos os parâmetros avaliados, foram obtidos nas amostras coletadas no P1 (TABELA 6), indicando elevada heterogeneidade entre os dados. Este resultado pode estar associado ao fato do P1 ser o ponto de coleta que recebia, diariamente, as maiores contribuições de esgotos provenientes da rede de drenagem de águas pluviais (FIGURA 10).

**Tabela 6.** Pontos de coleta onde foram obtidos os maiores desvios padrões dos dados dos parâmetros analisados.

<b>Parâmetros</b>	<b>Amostras</b>
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	P1
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	P1
OD (mgO <sub>2</sub> /L)	P1
ST (mg/L)	P5
SD (mg/L)	P1
SS (mg/L)	P1
SSed (mg/L)	P1
CE (µS/cm)	P1
pH	P7 E P8
°C	P6

As concentrações de DBO<sub>5</sub> variaram entre 7,8 mgO<sub>2</sub>/L (P2) e 240,5 mgO<sub>2</sub>/L (P1) com média de 51,3 mgO<sub>2</sub>/L.

Ao se aplicar o teste de Kruskal-Wallis aos dados de DBO<sub>5</sub> foram identificadas diferenças significativas, para  $p$ -valor  $< 0,05$ , entre as concentrações dos pontos P1/P4 ( $p$ -valor = 0,0163); P1/P5 ( $p$ -valor = 0,025); P1/P6 ( $p$ -valor = 0,025) e P1/P7 ( $p$ -valor = 0,025). Estes resultados estão associados ao fato de P1 ser o único ponto que recebia um aporte direto, e diário, de águas cinzas da galeria de drenagem pluvial.

Oliveira (2014) e Macêdo (2019), ao estudarem a qualidade da água da LAM, obtiveram concentrações de DBO<sub>5</sub> na faixa das concentrações obtidas nesta pesquisa. Esta constatação atesta que a LAM, tem ao longo dos anos, recebido poluentes provenientes do lançamento de águas cinzas.

A presença de matéria orgânica, inorgânica e nutrientes excedentes no meio aquático é indicativo de alteração da qualidade da água (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Quando os níveis de

matéria orgânica são de origem natural associa-se ao processo de eutrofização e, quando não natural, está comumente vinculado ao lançamento de esgoto residencial na lagoa (SILVA *et al.*, 2017b).

A DQO apresentou valor mínimo de 14,8 mgO<sub>2</sub>/L e máximo de 352,9 mgO<sub>2</sub>/L, nos pontos P7 e P1, respectivamente, com média de 88,2 mgO<sub>2</sub>/L.

Os maiores valores de DQO encontrados no ponto P1 estão associados ao fato deste ponto distar poucos metros a jusante do ponto de lançamento de águas cinzas provenientes de uma galeria de águas pluviais localizada na área sul da Lagoa dos Macacos (FIGURA 10).

Oliveira (2014) obteve, também na LAM, valores médios de DQO que variaram de 656,8 a 558,5 mgO<sub>2</sub>/L, no período de outubro/2013 a Janeiro/2014, os quais são expressivamente maiores do que o valor médio obtido nesta pesquisa. Esta redução nos valores das concentrações de DQO, ocorrida entre os anos 2014 e 2022, pode estar associada ao aumento da concentração de poluentes no corpo aquático pesquisado, em decorrência do período de seca prolongada que ocorreu no período de 2012 a 2016 (FUNCEME, 2016). Também pode ser atribuída a possibilidade de diminuição do número de ligações de esgotos residenciais à rede de drenagem pluvial ocorrida a partir do ano 2019, período no qual ocorreu uma ação de fiscalização pelo órgão gestor competente para coibir tal prática.

Ressalta-se que a DQO é um importante parâmetro para estudos da qualidade da água, uma vez que é um indicador de matéria orgânica baseado na concentração de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica, biodegradável ou não, em meio ácido e condições energéticas por ação de um agente químico oxidante forte (THEBALDI *et al.*, 2011). Nesse contexto, quanto mais o valor da DBO<sub>5</sub> se aproxima da DQO, mais biodegradável será a matéria orgânica presente (METCALF; EDDY, 1991).

Nesta pesquisa, de maneira geral, os percentuais de DBO<sub>5</sub> em relação a DQO [(DBO<sub>5</sub>/DQO)\*100] (TABELA 7), indicaram a predominância de matéria orgânica biodegradável nas amostras de água analisadas, uma vez que 67% das concentrações de DBO<sub>5</sub> corresponderam a mais de 50% dos valores de DQO. Os 33% restantes correspondem, portanto, a matéria orgânica não biodegradável (substâncias húmicas -SH).

As SH correspondem ao somatório das frações fúlvica (AF), húmica (AH) e humina (HU), sendo representadas, de forma simplificada pela seguinte expressão: SH = AF + AH + HU. Elas são formadas pela transformação de biomoléculas, durante o processo de decomposição de resíduos vegetais e animais presentes no ambiente (SARGENTINI JUNIOR *et al.*, 2001).

**Tabela 7.** Relação DBO/DQO obtidas nos pontos de amostragem

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>
<b>DBO/DQO</b> <b>(%)</b>	69,09*	53,68*	68,49*	81,14*	71,83*	71,53*	80,84*	88,37*
	25,28	28,41	38,23	67,65*	78,91*	51,33*	68,45*	48,42
	82,33*	35,27	54,23*	73,60*	90,10*	61,89*	78,33*	50,35*
	78,45*	55,84*	19,25	79,69*	69,63*	68,90*	36,17	62,98*
	66,67*	48,53	43,53	38,80	47,01	39,10	25,68	32,77
	63,41*	44,65	76,01*	39,56	52,16*	80,71*	81,96*	77,71*

\*Relações em que os valores de DBO<sub>5</sub> corresponderam a mais de 50% dos valores de DQO.

De acordo com o modelo cinético da perda de massa das SH em ambientes aquáticos, considera-se que sejam possíveis as transformações de AF em AH e vice-versa. Em comum, inicialmente, o composto húmico (AF ou AH) possui duas frações: uma fração reativa (SHr) que pode ser mineralizada nos dias iniciais da incubação ou pode ser transformada em seu produto (SHp: AF → AH ou AH → AF) e a fração recalcitrante, (SHR) que é resistente à transformação e apresenta mineralização lenta (ASSUNÇÃO, 2015).

Oteng-Peprah *et al.* (2018) menciona que águas cinzas podem conter altas concentrações de matéria orgânica que são facilmente biodegradáveis, mas também produtos farmacêuticos, aerossóis, pigmentos e metais pesados em concentrações significativas. Para estes autores, a presença desses contaminantes nas águas cinzas é um indicativo do aumento gradual do nível de complexidade na composição das águas cinzas.

Ressalta-se que a biodegradabilidade da água cinza depende principalmente do tipo de tensoativo sintético usado em detergentes e da quantidade de óleo e graxas presentes (MOREL; DIENER, 2006). Apesar dos países do ocidente terem substituído, a partir do ano 1965, os surfactantes não biodegradáveis (ABS – Alquil-Benzeno-Sulfonato) por detergentes biodegradáveis (LAS – Linear-Alquil-Sulfonato) (METCALF; EDDY, 1991), esses produtos, resistentes a biodegradabilidade, ainda podem ser usados em países de média e baixa renda (MOREL; DIENER, 2006). No Brasil, devido à determinação legislativa (LEI N° 7.365, DE 13 DE SETEMBRO DE 1985. Art.1º), a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) passou a exigir que todos os detergentes comercializados no país contenham tensoativo biodegradável (UNIVASF, 2019). Porém, ainda de acordo com Morel e Diener (2006), além de surfactantes, os detergentes contêm construtores, alvejantes, enzimas, conservantes, solventes, cargas, dentre outros.

Ao se aplicar o teste de Kruskal-Wallis aos dados de DQO, foram identificadas diferenças significativas, para  $p$ -valor  $< 0,05$ , entre as concentrações dos pontos P1/P4 ( $p$ -valor

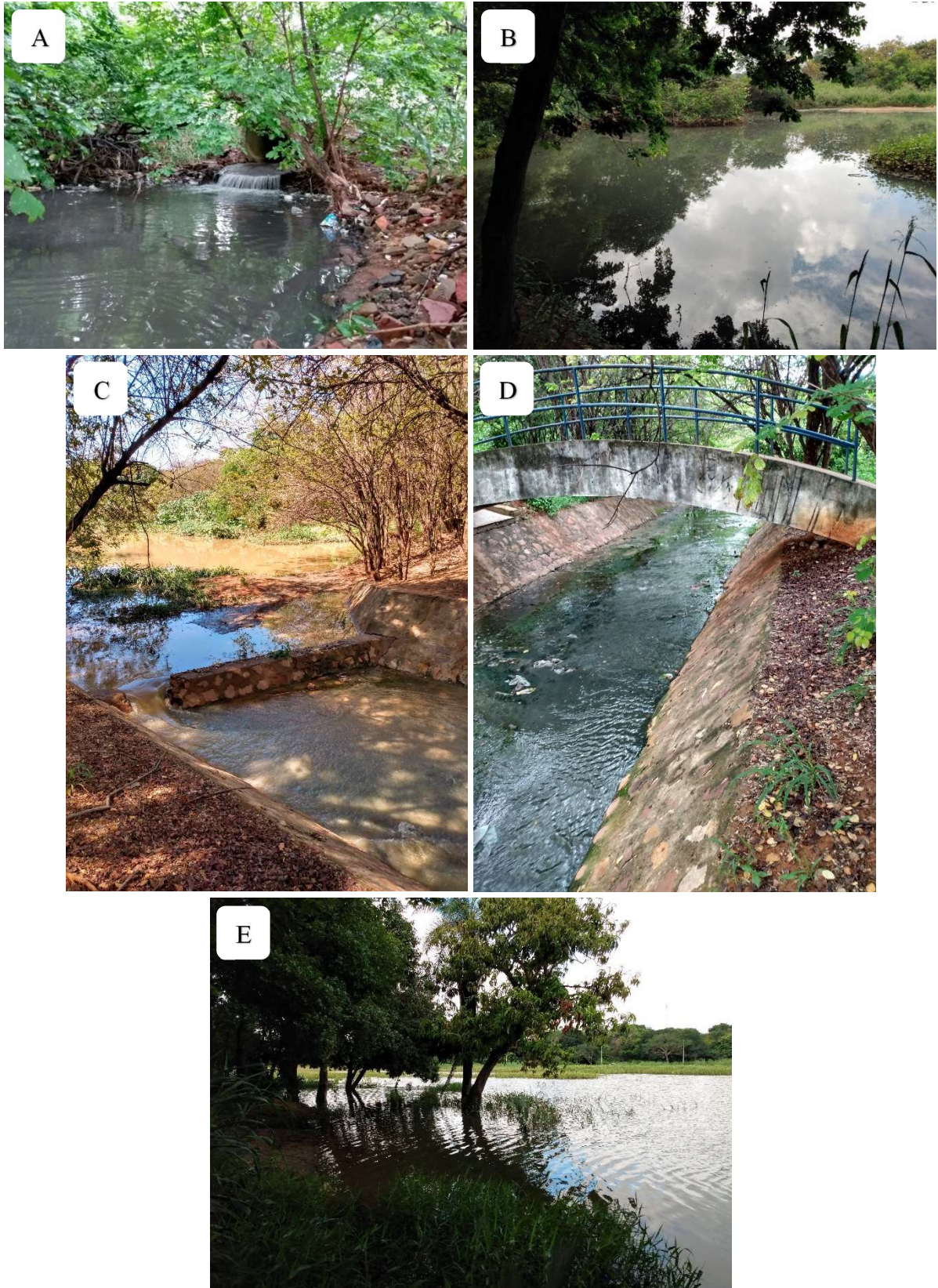
= 0,0097); P1/P5 ( $p$ -valor = 0,0024); P1/P6 ( $p$ -valor = 0,0081); P1/P7 ( $p$ -valor = 0,0061) e P3/P5 ( $p$ -valor = 0,0296). Estes resultados decorrem do ponto P1 receber, diariamente, vazões expressivas de águas cinzas (FIGURA 20A), conforme comentado na discussão sobre a DBO<sub>5</sub>. E apesar deste ponto de coleta estar conectado com os demais, por meio de um canal (trecho do Riacho dos Macacos, (FIGURA 20C e D), a matéria orgânica afluyente pode estar sendo mineralizada e/ou retida no sedimento de leito de fundo da área sul da LAM (FIGURA 20B).

Em relação ao parâmetro OD, foi constatado que a maior concentração foi obtida no ponto P7 (5,9 mgO<sub>2</sub>/L) e a menor no ponto P2 (0,2 mgO<sub>2</sub>/L), com média de 2,7 mgO<sub>2</sub>/L.

Aplicando o teste de Kruskal-Wallis aos dados das concentrações de OD, foram identificadas diferenças significativas entre os pontos P1/P4 ( $p$ -valor = 0,0288); P1/P6 ( $p$ -valor = 0,0141); P1/P7 ( $p$ -valor = 0,0198); P2/P4 ( $p$ -valor = 0,0055); P2/P5 ( $p$ -valor = 0,0312); P2/P6 ( $p$ -valor = 0,0024); P2/P7 ( $p$ -valor = 0,0035); P3/P4 ( $p$ -valor = 0,0168); P3/P6 ( $p$ -valor = 0,0078); P3/P7 ( $p$ -valor = 0,0112).

Essas diferenças são resultantes do aporte diário de águas cinzas lançadas na área sul da lagoa, local dos pontos de coleta P1, P2 e P3, indicando o elevado consumo de OD pelos organismos decompositores da MO presente no meio. A jusante destes pontos, a água escoava por trechos que favorecem a reaeração atmosférica (FIGURA 20 C e D), o que justifica o aumento das concentrações de OD nos pontos P4, P5, P6, P7 e P8, já que estes não estavam recebendo contribuição direta de esgotos.

**Figura 20.** Sentido de fluxo da Lagoa dos Macacos.



Fonte: Autora, 2022. Legenda: A: Ponto de lançamento de águas cinzas; B: Lagoa dos Macacos área sul; C e D: trecho do Riacho dos Macacos; E: Lagoa dos Macacos área norte.

Em todos os pontos investigados foi observado um pequeno aumento na concentração de OD, ao longo das coletas, devido a chegada do período chuvoso e uma redução na concentração de sólidos suspensos na água. O mesmo foi observado por Pereira-Silva *et al.* (2011) em uma Microbacia Hidrográfica, localizada em Luiz Antônio-SP. Os autores constataram que durante o período de estiagem a concentração de OD diminuiu enquanto a de sólidos suspensos aumentou; do contrário, no período chuvoso, o OD aumentou e os sólidos suspensos diminuíram. Os autores explicam que a presença de sólidos em suspensão na água reduz a penetração de luz, resultando na diminuição de organismos produtores e consequentemente reduzindo a concentração de oxigênio na água.

Okumura *et al.* (2020) encontraram baixas concentrações de OD na Bacia do Rio dos Frades-BA, em razão do uso e ocupação do solo sem o devido acompanhamento da infraestrutura básica.

É importante destacar que a redução nos níveis de OD resulta na mortandade de diversos organismos aquáticos aeróbicos, inclusive peixes, na solubilização de compostos químicos indesejáveis, no aumento na toxicidade de vários elementos e no desenvolvimento de maus odores (BRASIL, 2006).

No que se refere aos sólidos totais (ST), suas concentrações variaram de 69 mg/L (P5) a 929 mg/L (P1), com mediana de 330 mg/L. As maiores concentrações estão associadas ao aporte destes sólidos por meio do lançamento das águas cinzas em P1, bem como ao transporte de sólidos pelo escoamento superficial, principalmente de áreas com solo exposto e/ou em processo de erosão (P1, P2, P3, P5 e P8), para o interior do corpo d'água investigado, no período chuvoso. Nas áreas do entorno dos pontos P4, P6 e P7 havia mais cobertura de vegetação rasteira, fato este que pode contribuir para a proteção do solo contra a erosão hídrica e consequente redução do transporte de sedimentos.

Silva *et al.* (2019b) também identificaram que o aumento das concentrações de sólidos totais, na Sub-bacia Hidrográfica Cabosol, Guarulhos – SP, ocorreram no período chuvoso devido ao aumento do escoamento superficial provocado pelas chuvas.

De acordo com a literatura especializada (MORGAN, 2007; De BAETS *et al.*, 2008), a cobertura vegetal atenua a erosão do solo, principalmente através da redução das forças de impacto da gota no solo diminuindo a velocidade do escoamento superficial, aumentando a rugosidade hidráulica e as taxas de infiltração de água no solo, aumentando assim sua resistência à erosão (MARTINS, 2016).

A partir do teste de Kruskal-Wallis foi possível observar diferenças significativas nas concentrações de ST entre os pontos P1/P4 ( $p$ -valor = 0,0009); P1/P6 ( $p$ -valor = 0,0001); P1/P7

( $p$ -valor = 0,0018); P2/P6 ( $p$ -valor = 0,0221); P3/P6 ( $p$ -valor = 0,0215); P4/P5 ( $p$ -valor = 0,0193); P5/P6 ( $p$ -valor = 0,0050); P5/P7 ( $p$ -valor = 0,0337) e P6/P8 ( $p$ -valor = 0,0187).

Macêdo (2019) obteve concentração média de ST igual a 140 mg/L e valores mínimo e máximo de 83 mg/L e 290 mg/L, respectivamente, também na LAM.

Segundo Bovolato (2010) o esgoto sanitário é composto de 99,9% de água e 0,1% de sólidos, dos quais 75% desses sólidos são constituídos de MO em estado de decomposição. Esses sólidos podem reter organismos patogênicos e poluentes tóxicos (que ficam aderidos na superfície dos sólidos suspensos) (BRASIL, 2006) trazendo sérios riscos à vida aquática como a extinção de organismos fornecedores de alimentos e danificando os leitos de desova de peixes (SILVEIRA *et al.*, 2021).

Ao se determinar as concentrações das frações dos sólidos, constatou-se que os Sólidos Dissolvidos (SD) variaram de 57 mg/L (P6) a 733 mg/L (P1), com média de 245 mg/L. De maneira geral, as maiores concentrações de SD foram obtidas nos pontos localizados em áreas mais próximas ao ponto de desague das águas cinzas pela galeria de água pluvial, na área sul da LAM (P1, P2 e P3).

Do teste de Kruskal-Wallis foi verificado que ocorreram diferenças significativas entre as medianas dos pontos P1/P4 ( $p$ -valor = 0,0122); P1/P5 ( $p$ -valor = 0,0081); P1/P8 ( $p$ -valor = 0,0209); P2/P4 ( $p$ -valor = 0,0081); P2/P5 ( $p$ -valor = 0,0052); P2/P8 ( $p$ -valor = 0,0141); P3/P4 ( $p$ -valor = 0,0063); P3/P5 ( $p$ -valor = 0,0040) e P3/P8 ( $p$ -valor = 0,0112).

No monitoramento da qualidade da água das Lagoas Grande e Salgada, no Município de Feira de Santana-BA, Riley *et al.* (2022) obtiveram altas concentrações de SD em um ponto de amostragem localizado próximo as ocupações irregulares instaladas no seu entorno e a escavações para extração de argila e acúmulo de resíduos e entulhos.

Outra importante fração de sólidos no contexto da avaliação da qualidade de águas são os sólidos suspensos, uma vez que em concentrações elevadas aumentam a turbidez, prejudicando a atividade fotossintética e a biodiversidade aquática (NASCIMENTO *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2019). Além disso, por possuírem elevadas superfícies de contato, possuem elevada capacidade de adsorver elementos traços, isto é, substâncias poluentes podem agregar-se facilmente a esta fração de sólidos (BASSO *et al.*, 2011).

Nesta pesquisa, as concentrações de sólidos suspensos (SS) variaram de 4 mg/L (P4) a 116 mg/L (P1), com média de 29 mg/L.

Ressalta-se que as maiores concentrações foram observadas nas amostras coletadas nos dias seguintes aos dias de chuvas intensas no Município. Sendo verificadas diferenças significativas, pelo teste de Kruskal-Wallis, entre os pontos P1/P4 ( $p$ -valor = 0,0049); P1/P5

( $p$ -valor = 0,0007); P1/P6 ( $p$ -valor = 0,0109); P1/P7 ( $p$ -valor = 0,0081); P1/P8 ( $p$ -valor = 0,0083); P2/P5 ( $p$ -valor = 0,0177); P3/P4 ( $p$ -valor = 0,0209); P3/P5 ( $p$ -valor = 0,0038) e P3/P6 ( $p$ -valor = 0,0412); P3/P7 ( $p$ -valor = 0,0320) e P3/P8 ( $p$ -valor = 0,0328).

Nascimento *et al.* (2016) encontraram concentrações de sólidos suspensos abaixo de 100 mg/L no manancial Mãe Izabel, no Município de São Luís-MA. Arroio Junior (2013) identificou que as concentrações de SS, encontradas nos afluentes do Reservatório do Lobo, foram maiores no período chuvoso se comparadas ao período seco. O autor afirma que na estação chuvosa há um maior carreamento de material alóctone para a bacia. Contudo, na estação seca, o nível de água é diminuído, tornando a água mais limpa por receber pouco material alóctone vindo da bacia de drenagem.

Em relação aos Sólidos Sedimentáveis (SSed), os valores mínimo e máximo foram 0 mg/L e 4,5 mg/L, com média de 0,2 mg/L. Em se tratando da análise de variância, não foram detectadas diferenças significativas entre os pontos de coleta, pelo teste de Kruskal-Wallis, para as concentrações de SSed ( $p$ -valor = 0,1936).

Bispo (2015) menciona que os resíduos que sedimentam em leitos de fundo, em geral, são argilas, terra e lodo. Assim, o maior valor foi obtido no ponto P1, na coleta do dia 26/01/2022, identificada como sendo lodo de esgoto, proveniente do esgoto (águas cinzas) lançado na lagoa. Nos demais pontos coletados foram encontrados baixos níveis de sólidos sedimentáveis, corroborando com o encontrado por Macêdo (2019) na mesma lagoa em estudo.

Em relação a Condutividade Elétrica (CE), foi obtido o valor mínimo de 150  $\mu$ S/cm (P5 e P7) e o máximo de 800  $\mu$ S/cm (P1), com média de 296,3  $\mu$ S/cm.

Também foram obtidas diferenças significativas entre as medianas dos valores de CE, por meio do teste de Kruskal-Wallis, com  $p$ -valor < 0,05, entre os pontos P1/P4 ( $p$ -valor = 0,0177); P1/P5 ( $p$ -valor = 0,0074); P1/P6 ( $p$ -valor = 0,0337); P1/P7 ( $p$ -valor = 0,0081); P2/P4 ( $p$ -valor = 0,0260); P2/P5 ( $p$ -valor = 0,0112); P2/P6 ( $p$ -valor = 0,0478); P2/P7 ( $p$ -valor = 0,0122); P3/P4 ( $p$ -valor = 0,0168); P3/P5 ( $p$ -valor = 0,0069); P3/P6 ( $p$ -valor = 0,0320) e P3/P7 ( $p$ -valor = 0,0076).

As diferenças significativas entre os dados de CE ao longo dos pontos de coleta são decorrentes do lançamento de esgotos na área sul da lagoa, uma vez que a presença de esgotos aumenta as concentrações de CE da água.

A CE pode variar de 10 a 100  $\mu$ S/cm em águas naturais e níveis superiores e 100  $\mu$ S/cm é indicativo de que o ecossistema aquático foi poluído por efluentes domésticos ou industriais (Brasil, 2014)). Nesse sentido, em todos os pontos analisados foi observado resultados



superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando que no corpo hídrico há lançamento de efluentes de origem doméstica e/ou industriais.

Arroio Junior (2013) verificou maiores valores de CE nas nascentes dos Rios Itaqueri e Lobo, sendo de 87  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente. O autor afirma que apesar desses resultados não ultrapassarem 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , estima-se que os maiores valores podem estar relacionados às atividades pecuárias desenvolvidas na parte alta da bacia. Já os resultados encontrados no Córrego Água Branca podem sofrer influência da ETE de Itirapina.

Alves *et al.* (2019) verificaram oscilações de 24,13 a 25,61  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na CE do Lago Bonsucesso, em Jataí-GO. Os autores afirmam que a presença da vegetação pode influenciar na CE, no qual unidades hidrográficas com alta exploração de solo possuem altas temperaturas e maiores valores de CE, sendo o aumento deste parâmetro resultante do escoamento superficial. Piratoba *et al.* (2017) identificaram variações nos teores de CE de 45,08 a 68,08  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período seco para 35,77 a 43,22  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período chuvoso. Os autores constataram que a sazonalidade e a localização dos pontos podem afetar nos teores da condutividade elétrica.

Além disso, conforme apresentado por Arroio Junior (2013), a CE será menor no período chuvoso devido a diminuição dos sais dissolvidos nas águas ocasionado pelo aumento do volume do corpo hídrico. Durante o período seco com os níveis de água diminuído, a concentrações de sais dissolvidos será mais elevada. No entanto, independente da sazonalidade, o lançamento de efluentes industriais podem elevar as concentrações dos sais dissolvidos aumentando assim os valores da CE (ESTEVES, 2011).

Diante disso, os maiores valores da CE nos pontos analisados foram registrados na primeira coleta, com destaque ao ponto P1 que apresentou maior CE (800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). À medida que aconteciam as coletas, devido ao aumento das chuvas, os níveis de CE diminuía porém ainda com valores superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Com relação ao pH, as amostras variaram entre 6,38 (P8) e 7,26 (P1), com média de 6,88%. Tais resultados estão de acordo com os encontrados por Macêdo (2019) e Bispo (2015), na Lagoa dos Macacos.

O teste de Kruskal-Wallis indicaram diferenças significativas entre as medianas do pH, entre os pontos P1/P4 ( $p$ -valor = 0,0158); P1/P5 ( $p$ -valor = 0,0088); P1/P6 ( $p$ -valor = 0,0204); P1/P8 ( $p$ -valor = 0,0019); P2/P4 ( $p$ -valor = 0,0373); P2/P5 ( $p$ -valor = 0,0221); P2/P6 ( $p$ -valor = 0,0466); P2/P8 ( $p$ -valor = 0,0055); P3/P4 ( $p$ -valor = 0,0489); P3/P5 ( $p$ -valor = 0,0296) e P3/P8 ( $p$ -valor = 0,0078).

As diferenças significativas obtidas entre as medianas dos valores de pH da área sul da lagoa em relação aos valores obtidos na área norte podem ser explicadas pelo fato de águas cinzas tenderem a possuir pH alcalinos devido aos sabões utilizados pela população, os quais possuem pH básico.

Eriksson *et al.* (2002), em trabalhos com caracterização de águas de máquina de lavar e tanques de lavagem de roupas, encontrou pH alcalino nas amostras depois da lavagem, os mesmos afirmam que o pH na água cinza depende do pH da água de abastecimento. De acordo com Ferreira (2013), ao final do experimento também realizada em lavanderia, verificou que o pH das águas cinzas variou de 7,05 a 7,36.

Vanzela *et al.* (2010) verificaram uma redução nos valores de pH de águas naturais, provocadas pelas áreas agricultadas e por matas degradadas em função do maior escoamento superficial e o do maior arraste de partículas de sólidos, onde a matéria orgânica promove o aumento da concentração no leito do manancial; logo, “com a oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos aeróbicos e liberação de gás carbônico em água, ocorre aumento na concentração de ácido carbônico, resultando em redução nos valores de pH da água”.

A Temperatura das amostras variou entre 25,3 °C (P2) e 30,9 °C (P6), com média de 27,1 °C.

As temperaturas mais elevadas ocorreram na primeira coleta, nos pontos da área norte da lagoa, e são atribuídas a maior temperatura local (início do período chuvoso) e ausência de vegetação de médio e grande porte às margens da lagoa. Com o decorrer das coletas, ocorreu uma pequena diminuição da temperatura da água devido a diminuição da temperatura do ar.

Contudo, não foram observadas diferenças significativas ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) entre os pontos estudados ( $p$ -valor = 0,9893).

Conforme Piratoba *et al.* (2017), fatores como a localização e a sazonalidade podem influenciar significativamente nos valores da temperatura. Os autores observaram variações de 1 °C entre os períodos de coleta, sendo maior no período menos chuvoso.

Menezes *et al.* (2016) identificaram uma forte influência da temperatura ambiente na temperatura da água durante o verão, no entanto, no inverno os afluentes do Ribeirão Vermelho interferiram mais na temperatura da água do que a do ambiente. Os autores constataram ainda que os locais que recebem despejos orgânicos, resultante de efluentes domésticos e/ou industriais, apresentaram tendência à elevação da temperatura.

### 5.3.2. Atendimento às condições de qualidade e aos padrões estabelecidos na Resolução nº 357/05 do CONAMA

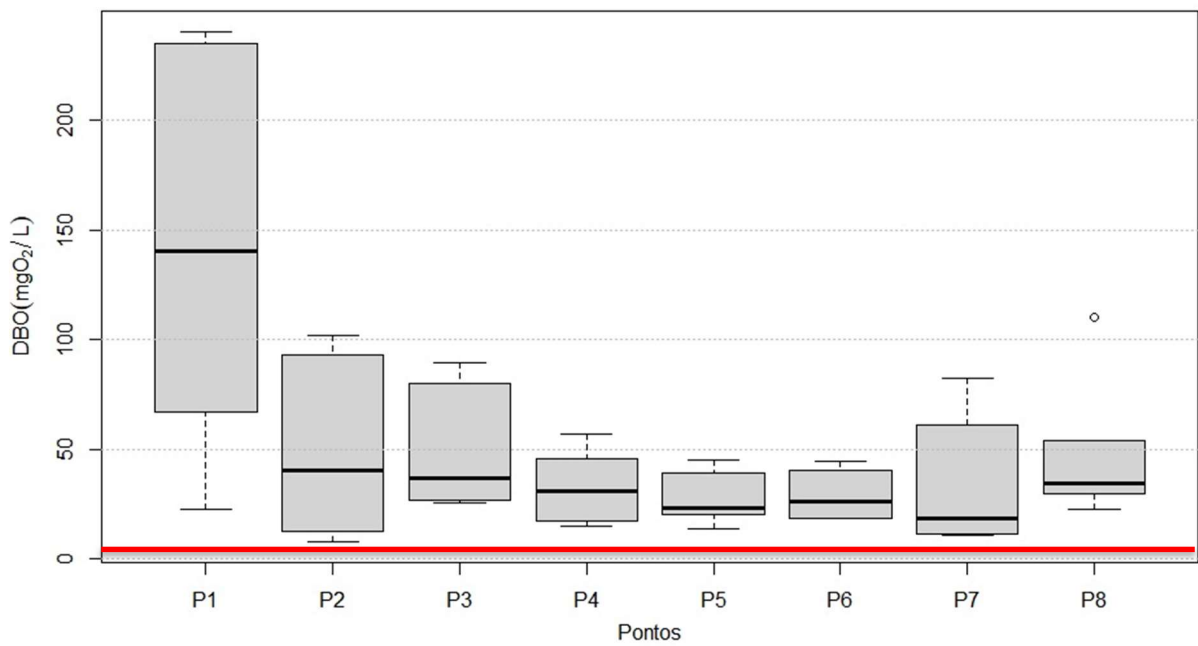
Para avaliar o atendimento dos parâmetros DBO<sub>5</sub>, OD, pH e SD ao estabelecido na Resolução nº 357/05 do CONAMA, para corpos de água de Classe 1, bem como para melhor visualização do comportamento dos dados dos referidos parâmetros ao longo dos pontos de coleta, foram elaborados os *boxplot* das figuras 21 a 24. O comportamento dos dados dos demais parâmetros avaliados nesta pesquisa estão ilustrados nos *boxplot* do Apêndice A.

Da análise das figuras 21 a 24 verifica-se que apenas os valores de pH, de todos os pontos de amostragem, estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução nº 357/05 do CONAMA. Em relação aos SD, o atendimento a referida resolução ocorreu em relação aos dados dos pontos P4, P5, P6 e P8. Já os valores de DBO<sub>5</sub> e de OD, obtidos em todos os pontos de coleta, estão em desacordo com o estabelecido na supra resolução.

Este resultado ressalta a necessidade de implantação de medidas eficazes de controle da poluição da Lagoa dos Macacos, por meio da aplicação de políticas de uso e ocupação do solo e de saneamento.

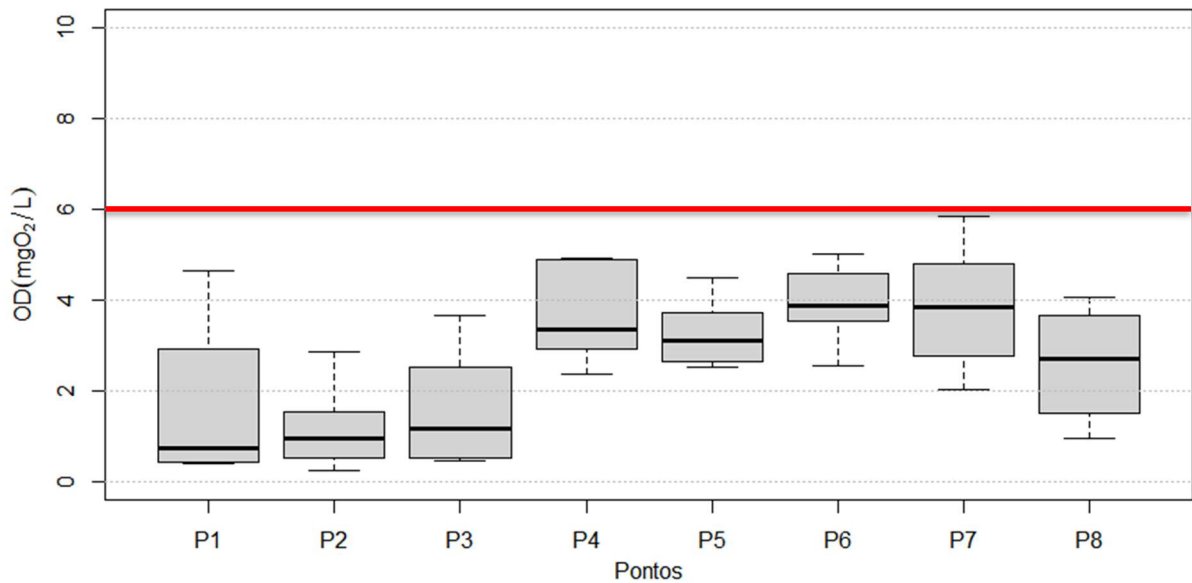
Assim, diante do exposto, infere-se que o objetivo I do Decreto de Nº 352 de 2017 está alinhado ao estabelecido na Resolução CONAMA que trata do enquadramento de corpos d'água superficiais. Esta resolução estabelece que a preservação do equilíbrio aquático das comunidades aquáticas deve ser mandatória em UC de Proteção Integral. E que, em corpos d'água de Classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água não sendo admitido o lançamento de efluentes, ainda que tratados.

**Figura 21.** *Boxplot* dos dados referentes a variável DBO<sub>5</sub>.



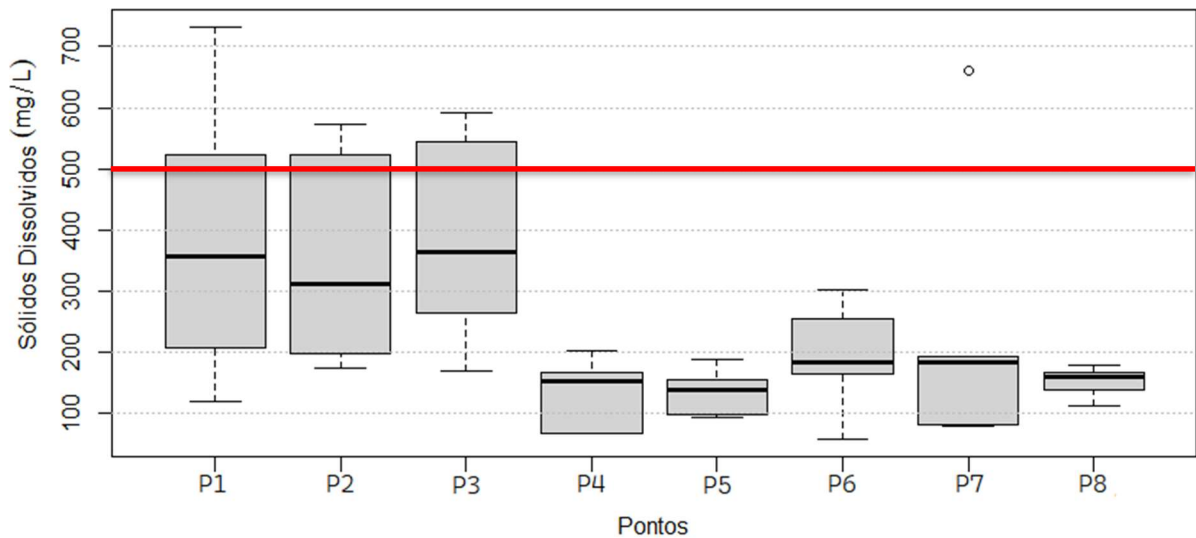
Legenda: Linha em vermelho indica o limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA, para corpos de água de classe 1, DBO<sub>5</sub> até 3 mgO<sub>2</sub>/L .

**Figura 22.** *Boxplot* dos dados referentes a variável OD.



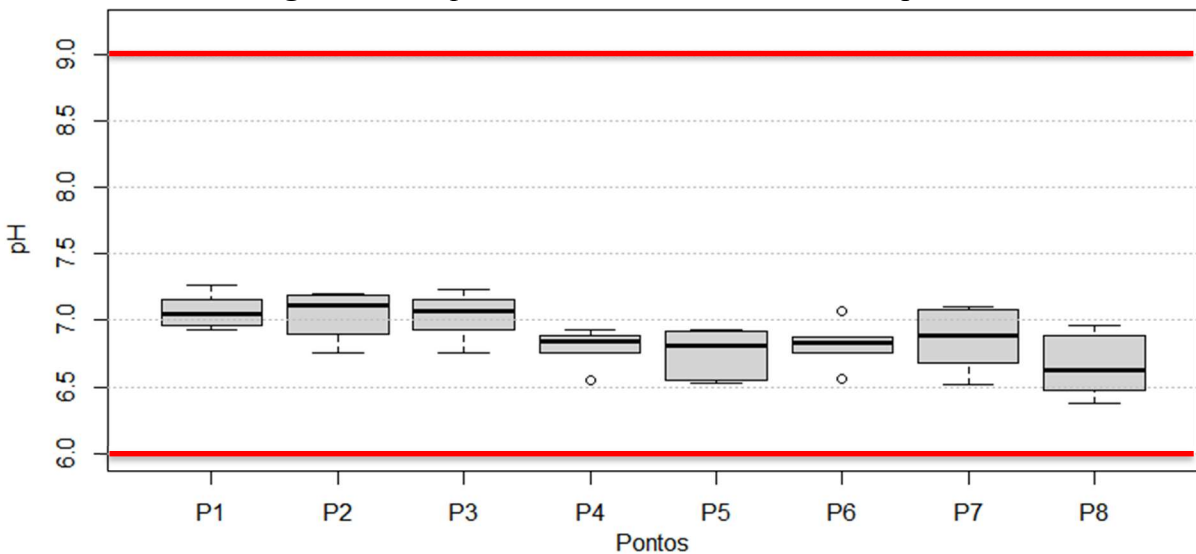
Legenda: Linha em vermelho indica o limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA, para corpos de água de classe 1, OD não inferior a 6 mgO<sub>2</sub>/L.

**Figura 23.** *Boxplot* dos dados para a variável Sólidos Dissolvidos.



Legenda: Linha em vermelho indica o limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para corpos de água de classe 1, SD até 500 mg/L.

**Figura 24.** *Boxplot* dos dados referente a variável pH.

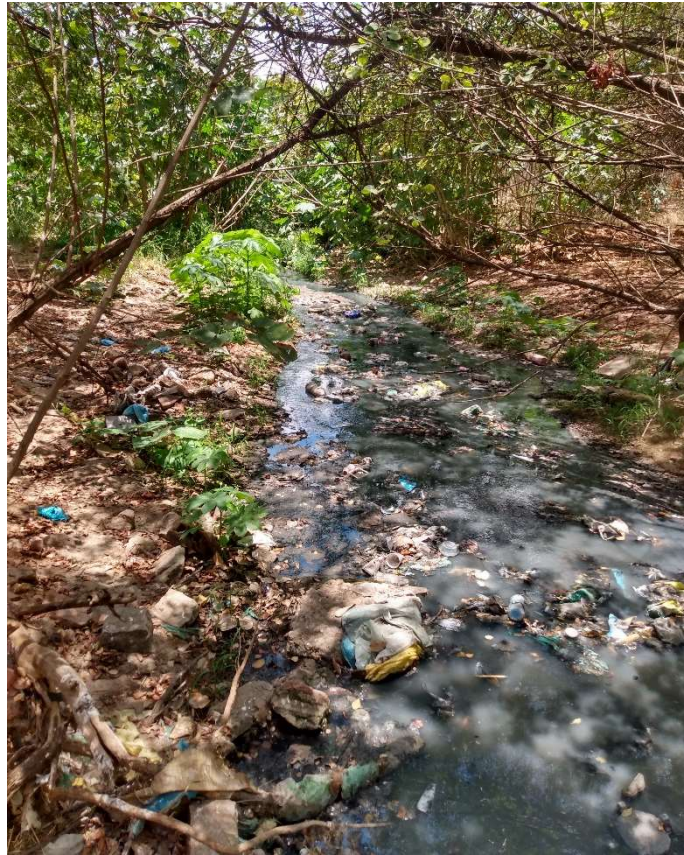


Legenda: Linha em vermelho indica o limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para corpos de água de classe 1, pH de 6 a 9.

Ressalta-se que no entorno do Parque Natural Municipal das Timbaúbas existe uma importante bateria de poços de abastecimento público da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

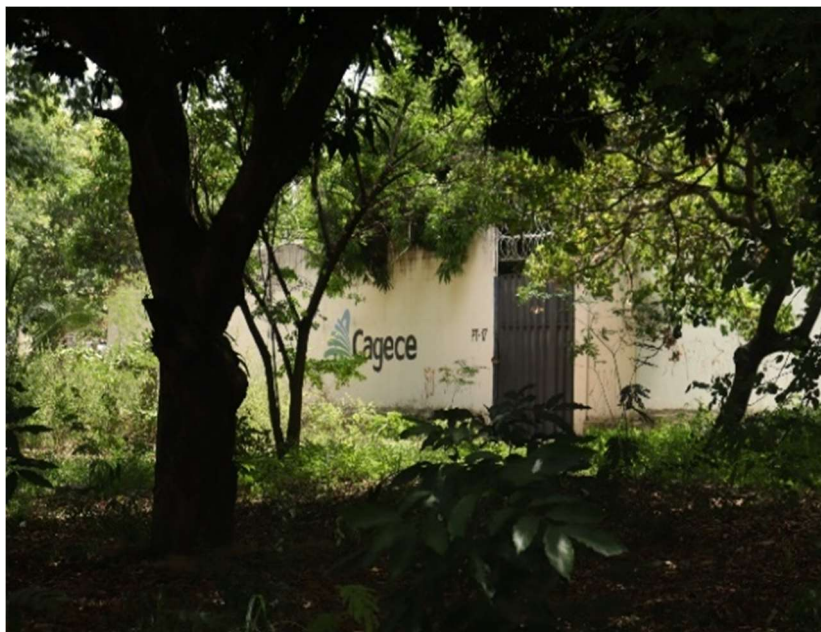
Santos (2022), ao realizar um diagnóstico da área do entorno do PNMT, para fins de demarcação da sua Zona de amortecimento, identificou que existe um poço de abastecimento público da CAGECE muito próximo a LAM (distância estimada em menos de 10m) (Figuras 25 e 26).

**Figura 25.** Córrego poluído no interior do PNMT.



Fonte: Autora, 2022.

**Figura 26.** Posto de abastecimento de água da CAGECE, próximo a lagoa poluída no interior do PNMT.



Fonte: Santos, 2022.

O riacho e a lagoa dos Macacos constituem os elos principais na conexão entre a água superficial e a água subterrânea e necessitam de elevada atenção e proteção. Na atualidade, eles são as principais entradas de contaminação química e bacteriológica das águas subterrâneas, funcionando como fontes persistentes e contínuas de poluição das águas exploradas para consumo humano. Portanto, devem ser tomadas precauções para evitar o despejo de esgoto e lixo na área. O perigo que a bateria de poços e o aquífero do rio da Batateira correm no caso de contaminação do riacho dos Macacos por matéria tóxica persistente, é elevado (FRANCA, *et al.*, 2006).

### 5.3.3. Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos determinados em amostras de solo

Os parâmetros físico-químicos do solo estão apresentados na Tabela 9. O carbono orgânico total (COT) variou entre 0,35 dag/kg (AC) e 0,96 dag/kg (AS1). Os pontos AS1 e AS2 apresentaram os maiores teores de COT com máximas de 0,96 dag/kg (AS1) e 0,79 dag/kg (AS2) na primeira coleta e mínimas de 0,66 dag/kg (AS1) e 0,75 dag/kg (AS2) na segunda coleta. O fato das maiores concentrações de COT terem sido obtidas no AS1 pode ser atribuído ao fato deste ponto de coleta receber contribuição de esgoto de galerias de águas pluviais, o qual acrescenta matéria orgânica ao meio.

Ressalta-se que no período chuvoso, o nível superficial da água da lagoa submerge as áreas onde foram coletadas as amostras AS1 e AS2. No período de estiagem, quando há uma redução do nível da água, os pontos reaparecem com uma maior concentração de matéria orgânica na superfície do solo. Além disso, a presença de vegetação auxilia nos níveis de carbono através da decomposição da matéria orgânica durante a fotossíntese.

Ao se converter os valores das concentrações de COT em matéria orgânica (fator de conversão = 1,724<sup>1</sup>), foram obtidos percentuais de 0,6% de matéria orgânica em AC, 1,4% em AS1 e 1,3% em AS2. Ao se comparar estes percentuais com os valores reportados na literatura, que relacionam os teores de matéria orgânica no solo com a estabilidade dos agregados, verifica-se que os percentuais de matéria orgânica nas amostras investigadas nesta pesquisa estão abaixo de 3,5%, considerado por Greenland *et al.* (1975) como valor limite para solos com agregados instáveis, e de 2% para solos com baixa estabilidade de agregados, conforme

---

<sup>1</sup> O carbono orgânico é comumente utilizado para estimar o teor de matéria orgânica do solo por meio de sua multiplicação por um fator. Baseando-se na premissa que a matéria orgânica possui 58% de carbono orgânico, o fator 1,724 vem sendo utilizado para esta conversão (MACHADO *et al.*, 2003).

classificação De Ploey e Poesen (1985). De fato, ao se avaliar os dados da Tabela 8, verifica-se que existe uma tendência de aumento do IEA com o teor de MO.

**Tabela 8.** Percentual de matéria orgânica (MO) e índice de estabilidade de agregados (IEA) para os solos estudados.

<b>Amostra</b>	<b>MO (%)</b>	<b>IEA (%)</b>
<b>AC</b>	0,6	7,02
<b>AS1</b>	1,4	18,06
<b>AS2</b>	1,3	8,03

Os teores de COT obtidos em AS1 são inferiores aos obtidos por Oliveira (2014), em amostras de solo coletadas nas proximidades do ponto AS1, que foi de 1,5 a 2,0 dag/kg. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que em 2014 não existiam ações de fiscalização para impedir o aporte de esgotos para o interior do parque e, portanto, para a LAM. Atualmente, apesar das ações de fiscalização ainda serem incipientes, e, portanto, ainda existirem pontos de lançamento de esgotos para a lagoa, estes são mais escassos. Um dos motivos para a redução do número de lançamentos de esgotos no PNMT pode ser a obrigatoriedade da construção de tanques sépticos seguidos de sumidouros, em residências localizadas em ruas desprovidas de redes coletoras de esgotos, financiadas pela Caixa Econômica Federal. Esta obrigatoriedade, exigida no território juazeirense a partir do ano 2016, consta no Caderno de Orientações Técnicas para Análise de Projeto e Acompanhamento de Obras da Caixa Econômica Federal.

**Tabela 9.** Estatística descritiva das análises físico-químicas do solo.

<b>Amostra</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Min - Máx</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>	<b>CV (%)</b>
<b>AC</b>	COT (dag/kg)	0,35 – 0,38	0,36	0,02	6,56
	CL (g/kg)	0,111	0,111	0	0
	CS(mg/kg)	36,97 – 41,94	39,45	3,52	0,09
	CE (µS/cm)	20 – 30	25	7,07	28,28
	pH	6,05 – 6,18	6,12	0,09	1,50
<b>AS1</b>	COT (dag/kg)	0,65 – 0,96	0,81	0,21	26,49
	CL (g/kg)	0,092 – 0,107	0,100	0,011	10,76
	CS(mg/kg)	6,70 – 59,55	33,12	37,37	1,13
	CE (µS/cm)	70 – 80	75	7,07	9,43
	pH	6,38 – 7,32	6,85	0,66	9,70
<b>AS2</b>	COT (dag/kg)	0,74 – 0,79	0,77	0,04	4,59
	CL (g/kg)	0,100 – 0,106	0,103	0,004	4,08
	CS(mg/kg)	3,97 – 34,23	19,10	21,40	1,12
	CE (µS/cm)	40 – 110	75	49,50	66
	pH	6,56 – 7,45	7,01	0,63	8,98



Silva (2013), ao avaliar a composição dos sedimentos da rede de drenagem natural do município de Juazeiro do Norte – CE, obteve valores de COT entre 0,206 e 0,839 dag/kg e amostras de solo coletadas na borda do Lagoa dos Macacos, localizada no PNMT, em Juazeiro do Norte- CE. Bispo (2015), ao avaliar a qualidade de água e de sedimento do riacho dos Macacos, no município de Juazeiro do Norte – CE, observou uma heterogeneidade nas concentrações de COT, inclusive no ponto de coleta correspondente ao avaliado nesta dissertação.

É importante destacar que o esgoto doméstico possui baixas concentrações de matéria orgânica, no entanto, aplicações frequentes associadas às altas taxas, podem absorver quantidades apreciáveis de MO ao solo, exercendo influências nas características físicas, como: a massa específica, a estrutura e estabilidade dos agregados, a aeração, a drenagem e a retenção de água, conforme relatado por Souza *et al.* (2010).

Feigin *et al.* (1991) afirmaram que o excesso de matéria orgânica e inorgânica nos esgotos domésticos podem obstruir os poros do solo, da camada superficial, reduzindo as taxas de infiltração e a condutividade hidráulica. Os autores afirmam ainda que solos arenosos são mais suscetíveis a esse entupimento do que solos argilosos, como é o caso dos solos estudados nesta pesquisa.

As concentrações de carbono lábil (CL) variaram entre 0,092 g/kg (AS1) e 0,111 g/kg (AC). As baixas concentrações de carbono lábil (CL) encontradas, se comparadas com a literatura, são decorrentes da presença de exploração antrópica, animais, acúmulo de resíduos sólidos (BISPO, 2015) e pouco material vegetal que auxilia na manutenção do CL do solo (OLIVEIRA *et al.* 2018b).

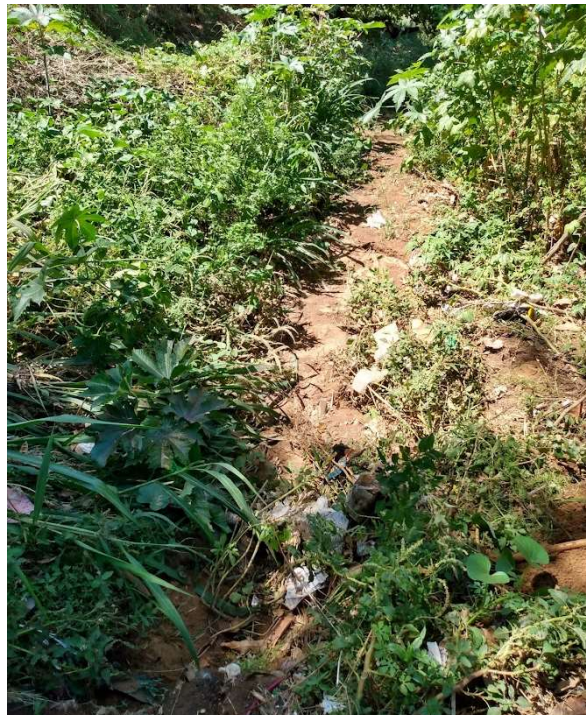
Silva (2013), ao avaliar a composição dos sedimentos da rede de drenagem natural do município de Juazeiro do Norte – CE, encontrou, em amostras coletadas, também na borda da LAM, concentrações de CL variando entre 0,14 e 2,30 g/kg.

Oliveira *et al.* (2018b), avaliando o carbono lábil e as frações oxidáveis de carbono em solo sob diferentes formas de uso, verificou maior teor e estoque de CL na área de mata nativa (4,04 g/kg), seringueira consorciada com abacaxi (4,41 g/kg) e pastagem com trinta anos (4,31 g/kg) devido a maior deposição de resíduos vegetais na superfície desses solos. Lima *et al.* (2015) identificou que a remoção de vegetação nativa por áreas de cultivo promoveu uma redução de mais de 50% nas concentrações de CL sendo que, as maiores concentrações de CL encontradas na vegetação nativa (3,14 g/kg) são resultado da maior presença de serrapilheira e ausência de interferência antrópica, proporcionando a decomposição lenta do resíduo vegetal depositado sobre o solo.

Em relação ao carbono solúvel (CS), Fonseca *et al.* (2017), afirma que a presença de carbono solúvel em camadas superficiais do solo é favorecida pela presença de raízes e biomassa microbiana, conforme aumenta a profundidade do solo as partículas de CS são reduzidas. Além disso, a intensificação da radiação solar resulta no aumento da temperatura e causa a mineralização da matéria orgânica do solo e conseqüentemente reduz os estoques de carbono solúvel (FONSECA *et al.*, 2017).

Na pesquisa ora em apreço, as maiores concentrações de carbono solúvel foram obtidas na primeira coleta do ponto AS1 (59,55 mg/kg), devido a presença de vegetação e resíduos sólidos (FIGURA 27) e pelo recebimento de carga orgânica oriunda de efluentes lançados na rede de drenagem pluvial, e na segunda coleta do ponto AC (41,94 mg/kg), devido a presença de raízes na superfície do solo e ausência de radiação solar. Na segunda coleta foi observado uma redução de 88,8 e 88,4%, nos solos AS1 e AS2, nessa ordem, por causa da retirada da vegetação, com conseqüente aumento da temperatura e redução dos níveis de CS. Já no solo AC houve um incremento 13,5% no teor de CS devido a maior presença de raízes e resíduos vegetais, além da ausência de radiação solar.

**Figura 27.** Ponto de amostragem do solo 1.



Fonte: Autora, 2022.

Fonseca *et al.* (2017) observou uma maior concentração de CS na camada superficial do solo, da sub-bacia hidrográfica do Rio Alegre município de Alegre-ES, em função do maior

aporte de serrapilheira e a predominância de raízes. E nas áreas de pastagens de maior exposição ao sol apresentaram os menores teores de CS. Estudos realizados por Ferrão (2021) indicaram uma redução de 44% de CS em área de cultivo de cana-de-açúcar (CA) em relação a área de vegetação nativa (VN). Estes resultados refletem na variação do aporte de material orgânico sob os usos da terra (VN e CA), na qual, nas áreas de cultivo da cana-de-açúcar, o fornecimento de material orgânico solúvel é limitado pela disponibilidade de substratos disponíveis no ambiente.

Com relação ao pH, foram obtidos valores médios de 6,12 em AC (com mínimo e máximo de 6,05 e 6,18), 6,85 em AS1 (com mínimo e máximo de 6,38 e 7,32) e de 7,01 em AS2 (com mínimo e máximo de 6,56 e 7,45), indicando uma tendência de solos levemente ácidos principalmente no ponto AC. Já a condutividade elétrica (CE) variou entre 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (AC) e 110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (AS2). Corroborando com isso, Oliveira *et al.* (2002), estudando aplicações de lodo de esgoto em um latossolo cultivado com cana-de-açúcar, verificaram que as doses crescentes de lodo de esgoto promoveram o aumento da CE e pH.

Conforme apresentado em Oliveira (2014) solos ácidos impedem a absorção dos nutrientes do solo, no entanto com o aumento do pH, ocorre a otimização da absorção de nutrientes devido a atração dos íons  $\text{OH}^-$ . Nesse contexto, Oliveira (2014) observou solos com pH levemente ácidos a neutros (na faixa de 6 a 7), coletados na zona de aluvião do Riacho dos Macacos, permitindo o desenvolvimento da microbiota, já no solo coletado no fundo da Lagoa dos Macacos foi caracterizado como pH ácido, impossibilitando a absorção de nutrientes e o desenvolvimento dos microrganismos.

De acordo com Terassi *et al.* (2014) a relação entre a predominância da fração de areia, baixas concentrações de matéria orgânica e ausência de cobertura vegetal são fatores que justificam a desestabilização da estrutura dos solos e a suscetibilidade a erosão. Fato este que pode ser observado nos resultados deste estudo, cujos solos apresentaram maiores frações de areia, as áreas dos solos AS1 e AS2, na segunda coleta, estavam expostas a radiação solar devido à ausência de cobertura vegetal ocasionando a redução da matéria orgânica presente. E, com a ausência de mata ciliar no entorno da lagoa e a suscetibilidade do solo a erosão, favorece o escoamento superficial do solo no período chuvoso e, o transporte das partículas de solo associadas as altas concentrações de efluentes domésticos e/ou industriais lançados para o interior da lagoa podem alterar a sua qualidade.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que:

- Os solos estudados foram classificados como areias siltosas (SM), com predominância de areia, indicando em sua caracterização física, um alto potencial de erodibilidade.
- No ensaio de dispersão rápida, tanto para a umidade natural quanto para a seca ao ar, em água destilada e poluída, houve o desprendimento de agregados, porém sem indício de turvação no líquido sendo os solos classificados, portanto, segundo a NBR 13601/1996, como de Grau 1 apresentando comportamento Não-dispersivo.
- Do ensaio de desagregação, apenas o solo AS2 apresentou comportamento de abatimento formando uma pilha de material desestruturado, na condição de umidade natural e seca ao ar utilizando água destilada e água poluída.
- Os comportamentos das amostras de solo nos ensaios de erodibilidade, em contato com água destilada ou água poluída, foram semelhantes. Isto revela a importância em adotar medidas de controle da erosão na área de estudo, por meio de equipamentos de drenagem adequados, tanto para as águas pluviais, que ocorrem em poucos meses, quanto para as águas servidas, que foram identificadas na área e que são presentes na área durante todo o ano.
- Em relação a estabilidade de agregados, os solos apresentaram índices de estabilidade inferiores a 50%; indicando que são altamente erodíveis, sofrendo, portanto, desagregação das partículas quando em contato com água.
- A matéria orgânica do solo era constituída por material predominantemente recalcitrante, com baixos percentuais da forma mais lábil de carbono (CS).
- As maiores concentrações de COT foram obtidas no AS1, sendo este fato atribuído ao aporte de matéria orgânica por meio do lançamento de águas cinzas, neste ponto, provenientes de uma galeria de águas pluviais. Já as maiores médias das concentrações de CL e de CS foram obtidas no AC (ponto de referência), devido a maior deposição de folhas das árvores, associada ao sombreamento da área, resultando na diminuição da temperatura e no aumento da atividade da microbiota do solo. Nos pontos AS1 e AS2, além do solo estar diretamente exposto a radiação solar e, portanto, a temperaturas mais elevadas, possuíam menor cobertura vegetal.
- Em relação a caracterização físico-química da água da lagoa, foi verificado semelhança com águas naturais poluídas por esgotos sanitários.

- As condições de qualidade das águas da lagoa pesquisada, notadamente em relação aos parâmetros DBO<sub>5</sub>, OD, SD e pH, não atendem ao estabelecido pela Resolução n° 357 do CONAMA, para seu uso mais restritivo que é o de preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
- E, a partir dos resultados obtidos, é possível concluir que as águas cinzas estavam alterando as características do solo da borda da lagoa, com possibilidade de comprometimento da qualidade das águas desta lagoa por meio do transporte de sedimentos durante o escoamento superficial. Ressalta-se que a ausência de mata ciliar, associada a textura arenosa dos solos estudados, torna os solos mais suscetíveis a processos erosivos e, em consequência, a degradação da qualidade da água da lagoa.
- Além disso, as elevadas concentrações de matéria orgânica e partículas sólidas revelam que a Lagoa dos Macacos tem atuado como corpo receptor de efluentes domésticos e/ou industriais indicando a presença de ligações clandestinas de esgotos nas redes de drenagem pluviais, alterando a sua qualidade e trazendo risco de contaminação ao aquífero local através da infiltração.
- Desta forma, apesar da relevância socioambiental que o PNMT tem para o município de Juazeiro do Norte, e tendo em vista que o mesmo abriga uma das principais áreas de recargas de águas subterrânea, a Lagoa dos Macacos, é notório que a área não recebe a devida atenção e cuidado por parte dos órgãos responsáveis, já que a problemática do lançamento de efluentes e resíduos é uma prática que já acontece há anos, como mostra outros estudos, e que vem comprometendo a qualidade do solo e da água da lagoa, e desvalorizando uma das poucas áreas de lazer que a população dispõe.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo – Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio do torrão (*Crumb Test*). *NBR 13601*. Rio de Janeiro, RJ, 1996.

\_\_\_\_\_. Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica. *NBR 6508*. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

\_\_\_\_\_. Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. *NBR 6457*. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

\_\_\_\_\_. Solo – Análise Granulométrica. *NBR 7181*. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

\_\_\_\_\_. Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. *NBR 7180*. Rio de Janeiro, RJ, 2ª ed., 2016.

\_\_\_\_\_. Solo – Determinação do Limite de Liquidez. *NBR 6459*. Rio de Janeiro, RJ, 2017.

ADMAS, B.F.; GASHAW, T.; ADEM, A. A.; WORQLUL, A. W.; DILE, Y. T.; MOLLA, E. Identification of soil erosion hot-spot areas for prioritization of Conservation measures using the SWAT model in Ribb watershed, Ethiopia. *Resources, Environment and Sustainability*, v. 8, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100059>

AHMED, S. M.; AGAIBY, S. S. Strength and stiffness characterization of clays using Atterberg limits. *Transportation Geotechnics*, v. 25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100420>

ALVES, W. S.; MORAIS, W. A.; OLIVEIRA, L. D.; PEREIRA, M. A. B.; MARTINS, A. P.; VASCONCELOS, S. M. A.; RAMALHO, F. L. Análise das relações entre uso do solo e qualidade da água do Lago Bonsucesso, em Jataí, Estado de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n. 1, p. 326-342, 2019. DOI: 10.26848/rbgf.v12.1.p326-342

AMORIM, H. P. C. *Avaliação da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água utilizando bioindicadores*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba - MG, 2018.

ANA. Agência Nacional das Águas. Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA). *Portal da Qualidade das Águas*, Agência Nacional das Águas, Brasília - DF, 2021. Disponível em: [http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#\\_ftn4](http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn4) Acesso em: 16 ago. 2021.

APHA. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 22nd Ed.: *American Public Health Association*, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC. 2012.

ARAUJO, R. C. *Estudo da erodibilidade de solos da formação Barreiras – RJ*. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2000. DOI: 10.17771/PUCRio.acad.1962

ARROIO JUNIOR, P. P. *Avaliação da produção e transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Itaqueri, Município de Itirapina e Brotas-SP*. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2013.

ARTHUR, E.; REHMAN, H. U.; TULLER, M.; POULADI, N.; NORGAARD, T.; MOLDRUP, P.; JONGE, L. W. Estimating Atterberg limits of soils from hygroscopic water content. *Geoderma*, v. 381, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114698>

ASKARI, M. S.; HOLDEN, N. M. Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. *Soil and Tillage Research*, v. 150, p. 57-67, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.01.010>

ASSUNÇÃO, A. W. A. *Cinética e variação molecular de substâncias húmicas formadas da lixiviação de macrófitas aquáticas*. Tese. (Doutorado em Ciências). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – PE, 2015.

BANDEIRA, A. P. N. *Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE*. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, 2003.

BANDEIRA, A. P. N. *Parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de riscos de escorregamentos de encostas na região metropolitana do Recife*. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, 2010.

BANGROO, S. A.; NAJARA, G. R.; ACHIN, E.; TRUONG, P. N. Application of predictor variables in spatial quantification of soil organic carbon and total nitrogen using regression kriging in the North Kashmir Forest Himalayas. *Catena*, v. 193, 2020. DOI: [10.1016/j.catena.2020.104632](https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104632)

BASSO, L. A.; MOREIRA, L. G. R.; PIZZATO, F. A influência da concentração na concentração e carga de sólidos em cursos d'água urbanos: o caso do arroio Dilúvio, Porto Alegre-RS. *Revista GEOSUL*, v. 26, n. 52, 2011. DOI: [10.5007/2177-5230.2011v26n52p145](https://doi.org/10.5007/2177-5230.2011v26n52p145)

BASTOS, C. A. B. *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Tese. (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 1999.

BELOTE, R. T.; WILSON, M. B. Delineating greater ecosystems around protected areas to guide conservation. *Conservation Science and Practice*, v. 2, n. 6, p. 1-10, 2020. DOI: [10.1111/csp2.196](https://doi.org/10.1111/csp2.196)

BISPO, T. B. *Análise de qualidade de água no município de Juazeiro do Norte-CE*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável). Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, CE, 2015.

BONGIORNO, G.; BUNEMANN, E. K.; OGUEJIOFOR, C. U.; MEIER, J.; GORT, G.; COMANS, R.; MADER, P.; BRUSSAARD, L.; GOEDE, R. de. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators*, v. 99, p. 38-50, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008>

BORGES, A. da S.; PINTO, W. E. A. *Análise e proposta de recuperação de uma erosão do córrego góis - setor bom clima*. TCC (Curso de Engenharia Civil). Unievangélica, Anápolis, GO, 57 p. 2018. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/117> Acesso em: 09 jul. 2021.

BORRELLI, P.; OOST, K. V.; MEUSBURGER, K.; ALEWELLB, C.; LUGATO, E.; PANAGOS, P. A step towards a holistic assessment of soil degradation in Europe: Coupling on-site erosion with sediment transfer and carbon fluxes. *Environmental Research*, v. 161, p. 291-298, 2018. DOI: [doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.009](https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.009)

BOVOLATO, L. E. Saneamento básico e saúde. *Escritas: Revista do Curso de História de Araguaína*, v. 2, 2010.

BRASIL. *Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000*. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. Brasília, DF, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. *Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS*. FUNASA, Brasília, DF, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS Nº 888, de 44 de maio de 2021*. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, 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. Brasília, DF, 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Lei Nº 7.365 de 13 de setembro de 1985*. Dispõe sobre a fabricação de detergentes não biodegradáveis. Brasília, DF, 1985.

BUNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MADER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, W. V.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 120, p. 105-125, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. *Estatística Básica*, ed. 9, São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

CAGECE. Companhia de Água e Esgoto do Ceará. *Ceará Transparente*. Controladoria e Ouvidoria Geral do Estado. Governo do Estado do Ceará. 2022. Disponível em: <https://cearatransparente.ce.gov.br/?locale=pt-BR> Acesso em: 13 jun. 2022.

CAIXA. *COT - Caderno de orientações técnicas. Análise de projeto e acompanhamento de obra. Crédito imobiliário Pessoa física*. Caixa Econômica Federal, v. 18, p. 1-34, 2019

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas



de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000300019>

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade*. São Paulo-SP, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade.pdf> Acesso em: 16 ago. 2021.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Mortandade de peixes*. São Paulo-SP, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigeniodissolvido/> Acesso em: 17 set. 2022.

CHAPPEL, A.; WEBB, N. P.; LEYS, J. F.; WATERS, C. M.; ORGILL, S.; EYRES, M. J. Minimising soil organic carbon erosion by wind is critical for land degradation neutrality. *Environmental Science and Policy*, v. 93, p. 43-52, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.020>

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. *Resolução N° 91, de 5 de novembro de 2008*. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2008.

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. *Cartilha Informativa Hidroambiental: Vamos Conhecer o Salgado*. 2010. Elaborado por: Claire Anne Viana de Souza, Liana Souto de Araújo, Maria das Dores Gonçalo da Costa. Governo do Estado do Ceará, Fortaleza, 2° ed. nov. 2010.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2005.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA N° 274, de 29 de novembro de 2000*. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2000.

CORNELLI, R.; SCHNEIDER, V. E.; BORTOLIN, T. A.; CEMIN, G.; SANTOS, G. M. dos. Análise da Influência do Uso e Ocupação do Solo na Qualidade da Água de Duas Sub-Bacias Hidrográficas do Município de Caxias do Sul. *Scientia Cum Industria*, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 1-14, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v4iss1p1>

COSTA, M. F. *Proposta de metodologia para avaliação da qualidade das águas na área de influência de minas a céu aberto: caso da mina N5SUL em Carajás-PA*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2014.

COUTO, B. O. C. *Estudo da erodibilidade em horizontes de taludes de corte rodoviário por meio de procedimentos de laboratório e de campo*. Tese (Doutorado em Geotecnia). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - MG, 2020.

COUTO, B. O. C.; GOMES, R. C.; FERREIRA, L. D. Avaliação da erodibilidade de diferentes horizontes em latossolos por meio da resistência não drenada em campo: estudo de caso na Região do Quadrilátero Ferrífero - MG. *Revista Geociências*, v. 40, n. 1, p. 169-180, 2021.

DE BAETS, S.; POESEN, J.; REUBENS, B.; WEMANS, K.; DE BAERDEMAEKER, J.; MUYS, B. Tensile strength and root distribution of typical mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. *Plant Soil*, v. 305, p. 207-226, 2008.

DE PLOEY, J.; POESEN, J. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. *Geomorphology and Soils*, ed. 1, 22 p. 1985.

DIÁRIO DO NORDESTE. *Obra de revitalização do Parque Municipal das Timbaúbas, em Juazeiro do Norte, se arrasta há 2 anos*. 2020. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/obra-de-revitalizacao-do-parque-municipal-das-timbaubas-em-juazeiro-do-norte-se-arrasta-ha-2-anos-1.2990062> Acesso em: 29 set. 2022.

DIAS, M. C. C. *Viabilidade do uso de solo tropical e resíduo de construção civil em sistemas de cobertura de aterro sanitário*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO, 2014.

DIAS, J. M.; PEREIRA, N. M. Considerações sobre a evolução do Sistema Nacional de Unidades de Conservação e o ordenamento territorial da Amazônia: interações entre o Estado e a Ciência. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Editora UFPR, n. 21, p. 69-88, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v21i0.15933>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Paulo César Teixeira, Guilherme Kangussu Donagemma, Ademir Fontana, Wenceslau Geraldes Teixeira, editors técnicos. 3ª edição revista e ampliada. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF: Embrapa, 2017.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)

ESTEVEZ, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 3ª ed, 826p. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FAIROUZ, M.; YAKOUT, Z. *Effet de la salinité sur les propriétés mécaniques du sol (Limite d' Atterberg) « Sebkheth Melloul »*. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Universidade Mohamed El Bachir El Ibrahimy Bordji Bou Arréridj, Argélia, 2019.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Standard operating procedure for soil electrical conductivity*. *Soil/water, 1:5*. Roma, Itália, 2021.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Sources, Treatment Processes and Uses of Sewage Effluent. In: *Irrigation with Treated Sewage Effluent. Advanced Series in Agricultural Sciences*, v. 17, p. 3-33, 1991. DOI:10.1007/978-3-642-74480-8\_2

FENG, Y. X.; YU, X. Z.; ZHANG, H. A modelling study of a buffer zone in abating heavy metal contamination from a gold mine of Hainan Province in nearby agricultural area. *Journal of Environmental Management*, v. 287, 2021. DOI: [doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112299](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112299)

FERNANDES, L. P. *Avaliação da erodibilidade de um perfil de solo típico da área do campo de instrução de Santa Maria - RS*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2015.

FERRÃO, N. G. M. *Avaliação das mudanças na qualidade e quantidade do carbono em diferentes frações da matéria orgânica do solo em áreas de mata atlântica e cana-de-açúcar*. Tese (Doutorado em Energias Energéticas e Nucleares). Universidade Federal do Pernambuco, Recife-PE, 2021.

FERREIRA, A. C. Unidade de produção agrícola irrigada com águas cinzas de lavanderia pública no semiárido Paraibano. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2013.

FERRIRA, C. S. S.; SEIFOLLAHI-AGHMIUNI, S.; DESTOUNI, G.; GHAJARNIA, N.; KALANTARI, Z. Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment*, v. 805, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>

FONSECA, A. A.; SANTOS, D. A.; MOURA JUNIOR, C.; VALENTIM, S. B.; PASSOS, R. R. Carbono orgânico solúvel em latossolos sob pastagens degradadas em diferentes ambientes e faces de exposição. In: *XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência* – Universidade do Vale do Paraíba. 2017.

FRANCA, R. M.; FRISCHKORN, H.; SANTOS, M. R. P.; MENDONÇA, L. A. R.; BESERRA, M. C. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte-CE. *Engenharia sanitária e ambiental*, v. 11, n. 1, p. 92-102, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000100012>

FRANKSLALE, F. D. A. M. *Quental Coutinho, Roberto. Estudo do processo erosivo em encostas ocupadas*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, 2008.

FU, Y.; HORTON, R.; REN, T.; HEITMAN, J. L. A general form of Archie's model for estimating bulk soil electrical conductivity. *Journal of Hydrology*, v. 597, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126160>

FUNCEME. *Ceará passa pela pior seca prolonga desde 1910*. Secretaria dos Recursos Hídricos, Governo do Estado do Ceará, Fortaleza - CE, 2016. Disponível em: <http://www.funceme.br/?p=1403> Acesso em: 29 set. 2022.

GOMES, F. P. *Curso de Estatística Experimental*. Piracicaba - SP, editora Nobel, ed. 13, 1990.  
GREENLAND, D. L.; RIMMER, D.; PAYNE, D. Determination of the structural stability class of English and Welsh Soils using a water coherence test. *Journal of Soil Science*, v. 26, n. 3, p. 294-303, 1975.

GRILLI, E.; CARVALHO, S. C. P.; CHITI, T.; COPPOLA, E.; D'ASCOLI, R.; LA MANTIA, T.; MARZIOLI, R.; MASTROCICCO, M.; PULIDO, F.; RUTIGLIANO, F. A.; QUATRINI, P.; CASTALDI, S. Critical range of soil organic carbon in southern Europe lands under desertification risk. *Journal of Environmental Management*, v. 287, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112285>

GUIMARÃES, R. C.; SILVA, H. H. A. B.; OLIVEIRA, R. B.; GONZÁLES, Y. V.; FARIAS, W. M.; CARVALHO, J. C. A micromorfologia no contexto das erosões de borda de reservatórios. In: SALES, M. M.; CARVALHO, J. C. de; MASCARENHA, M. M. A.; DA LUZ, M. P.; DE SOUZA, N. M.; ANGELIM, R. R. (Org.). *Erosão em Borda de Reservatório*. 1 ed. Goiânia: GECON - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Gráfica UFG, v. 3, p. 1-32, 2017.

HUSSON, O.; HUSSON, B.; BRUNET, A.; BABRE, D.; ALARY, K.; SARTHOU, J.-P.; CHARPENTIER, H.; DURAND, M.; BENADA, J.; HENRY, M. Practical improvements in soil redox potential (Eh) measurement for characterisation of soil properties. Application for comparison of conventional and conservation agriculture cropping systems. *Analytica Chimica Acta*, v. 906, p. 98-109, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2015.11.052>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Projeção da População Brasileira para 2019*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/> Acesso em 05 março. 2021.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais Climatológicas do Brasil. Período: 1991-2020*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília-DF, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais> Acesso em: 23 ago. 2022.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. *IPECEDATA Sistema de Informações Geossocioeconômicas do Ceará*. Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml> Acesso em: 13 mar. 2021.

IFSC. *Triângulo Textural*. (S/D) Disponível em: [http://docente.ifsc.edu.br/joao.quoos/textura\\_solo/textura.html](http://docente.ifsc.edu.br/joao.quoos/textura_solo/textura.html) Acesso em: 24 mai. 2022.

IZYDORCZYK, K.; FRATCZAK, W.; DROBNIĘWSKA, A.; CICHOWICZ, E.; MICHALSKA-HEJDUK, D.; GROSS, R.; ZALEWSKI, M. A biogeochemical barrier to enhance a buffer zone for reducing diffuse phosphorus pollution - preliminary results. *Ecohydrology & Hydrobiology*, v. 13, n. 2, p. 104-112, 2013. DOI: [doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.06.003](https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.06.003)

JIA, Z.; KUZYAKOV, Y.; MYROLD, D.; TIEDJE, J. Soil Organic Carbon in a Changing World. *Pedosphere*, v. 27, n. 5, p. 789-791, 2017. DOI: [10.1016/S1002-0160\(17\)60489-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60489-2)

JUAZEIRO DO NORTE. *Decreto Municipal nº 352 de outubro de 2017*. Dispõe sobre a criação do Parque Natural Municipal das Timbaúbas como Unidade de Conservação de Proteção Integral. 2017 Disponível em: <https://juazeironorte.ce.gov.br/site/midia/9156/4616-07112017.pdf> Acesso em: 11 mar. 2021.

JUAZEIRO DO NORTE. *Proposta de criação do Parque Natural Municipal das Timbaúbas apresentada em audiência pública*. 2017. Disponível em: <https://www.juazeirodonorte.ce.gov.br/noticia/3683-proposta-de-criacao-do-parque-natural-municipal-das-tim/> Acesso em: 11 mar. 2021.

JUSYS, T. Quantifying avoided deforestation in Pará: protected areas, buffer zones and edge effects. *Journal For Nature Conservation*, v. 33, p. 10-17, set. 2016. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2016.05.001>

LANDAU, E. C.; SILVA, G. A.; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. *Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: cenário histórico, divisão política, características demográficas, socioeconômicas e ambientais*. Ed. Embrapa, Brasília, DF, v. 1, 2020.

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal Of Soil Science*, v. 47, n. 4, p. 425-437, 1996. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01843.x>

LE MOS, R. C.; SANTOS, R. D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 3ª ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

LEPSCH, I. F. *Formação e Conservação dos Solos*. Oficina de Textos, São Paulo, 2º ed., 2016.

LESSA, R. E. *Análise antropogeomorfológica da Bacia Hidrográfica do Mauzinho (Manaus-Am)*. Dissertação. (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM, 2019.

LI, S.; ZHANG, S.; PUA, Y.; LIA, T.; XUA, X.; JIA, Y.; DENG, O.; GONG, G. Dynamics of soil labile organic carbon fractions and C-cycle enzyme activities under straw mulch in Chengdu Plain. *Soil & Tillage Research*, v. 155, p. 289-297, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.019>

LI, S.; ZHENG, X.; LIU, C.; YAO, Z.; ZHANG, W.; HAN, S. Influences of observation method, season, soil depth, land use and management practice on soil dissolvable organic carbon concentrations: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, v. 631-632, p. 105-114, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.238

LIMA, M. C. *Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas*. Tese. (Doutorado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2003.

LIMA, F. G. F.; SILVA, E. F.; MARTINS, C. M.; DUARTE, C. F.; MAIA, A. S.; SANTOS, E. P. S. Carbono Lável e Índice de Manejo de Carbono em Latossolo Vermelho Amarelo, textura arenosa, sob rotação de culturas. In: *XXXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-SBCS, Natal-RN, 2015.

LIMA, M. C.; ALMEIDA, J. G. R.; MEDEIROS, G. F.; MORTARI, D.; ROMÃO, P. de A. MASCARENHA, M. M. dos A.; CARVALHO, J. C. de. "Sulcos, Ravinas e Voçorocas". In: SALES, M. M.; CARVALHO, J. C. de; MASCARENHA, M. M. A.; DA LUZ, M. P.; DE SOUZA, N. M.; ANGELIM, R. R. (Org.). *Erosão em Borda de Reservatório*. 1 ed. Goiânia:

GECON - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Gráfica UFG, v. 3, p. 1-32, 2017.

LIMA, W. P.; PESSOA-GUTIERRES, H. E. Impactos ambientais no Parque Nacional Municipal de Cabedelo – Estado do Paraíba (PB), Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, n. 66, p. 165-191, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.66-1.7>

LOPES, F. A.; VON SPERLING, E. MAGALHÃES JR, A. P. Indicadores para balneabilidade em águas doces no Brasil. *Revista Geografias*, v. 11, n. 1, p. 6-22, 2015. DOI: 10.35699/2237-549X.13390.

LOPES, M. S.; VEETIL, B. K.; SALDANHA, D. L. Buffer zone delimitation of conservation units based on map algebra and AHP technique: a study from Atlantic Forest Biome (Brazil). *Biological Conservation*, v. 253, p. 108905, jan. 2021. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108905>

LOPES, A. L. O.; TRENTIN, G.; SIMON, A. L. H. Análise da dinâmica de coberturas e usos da terra como subsídio ao planejamento ambiental de unidades de conservação: aplicações no Parque Estadual do Camaquã (Rs-Brasil). *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, v. 46, n. 2, p. 152-170, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v46i2.61861>

LOURENÇO, V. R.; ALMEIDA, A. M. M.; PEREIRA, F. J. S.; CORREIA, L. F. M.; COSTA C. A. G. “Teor de carbono orgânico total e Matéria orgânica em solo da caatinga sob diferentes condições de uso”. In: MIRANDA, A. M.; BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; SILVA, E. V. (Org.). *Geobiosociodiversidade e Biotecnologias Alternativas*. Coletânea III, Educação Aplicada e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró-RN, EDUERN, p. 66-73, 2017.

MACÊDO, C. C. A. *Diagnóstico da Erodibilidade e da Qualidade Hídrica em uma Unidade de Conservação Municipal*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável). Universidade Federal do Cariri, Crato - CE, 2019.

MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C.; SANTOS, F. S. dos. Métodos de preparo de amostras e de determinação de carbono em solos tropicais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. EMBRAPA Solos, *Circular Técnica*, 9 p. 2003.

MAIA, E. C. B. *Estudo geotécnico e análise da estabilidade da encostas localizada na ladeira do pilar – comércio pertencente ao Município do Salvador-BA*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pernambuco, Recife - PE, 2018.

MANDAL, D.; CHANDRAKALA, M.; ALAM, N. M.; ROY, T.; MANDAL, U. Assessment of soil quality and productivity in different phases of soil erosion with the focus on land degradation neutrality in tropical humid region of India. *Catena*, v. 204, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105440>

MARTINS, C. S. R. *Diferentes formas da cobertura vegetal e a erosão em entressulcos sob chuva simulada*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2016.

MASCARENHA, M. M. A.; MAHLER, C. F.; LAFAYETTE, K. P. V.; NACINOVIC, M. G. G.; BANDEIRA, A. P. N.; ALMEIDA, J. G. R. “Erosão”. In: CARVALHO, J. C.; GITIRANA

JUNIOR, G. F. N.; MACHADO, S. L.; MASCARENHA, M. M. A.; SILVA FILHO, F. C. (Org.). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS). São Paulo, 2015.

MEDEIROS, G. F.; SOUSA, F. A.; VALADARES, L. E. T.; SILVA, S. S. Mapeamento Da Susceptibilidade a Erosão dos Materiais Inconsolidados Agravado pelo Escoamento Superficial na Bacia do Rio Lontra–To. *Facit Business and Technology Journal*, v. 2, n. 16, 2020.

MELO, L. M.; MATTOS, M. R. F.; LEAL, W. F. A.; OLIVEIRA, G. F. S.; PEDROSA, M. F. C. A contribuição da comunidade de entorno do Parque Natural Municipal das Nascentes do Mundaú à elaboração do seu plano de manejo. *Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade*, p. 34-42, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.37885/200801164>

MENDES, P. P. M. PROCESSO EROSIVO EM ÁREA URBANA: Condomínio Privê, cidade satélite Ceilândia-DF. In: *Anais do VII Congresso Brasileiro de Geógrafos*, Vitória - ES, 2014. Disponível em: [http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404586983\\_ARQUIVO\\_Pedro\\_Paulo\\_Mequita\\_Mendes\\_CBG.pdf](http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404586983_ARQUIVO_Pedro_Paulo_Mequita_Mendes_CBG.pdf) Acesso em: 22 jun. 2021.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. *Matéria orgânica do solo: Métodos de análises*. Viçosa - MG. 2005.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e a qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 3, p. 519-534, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016145405

METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBANOGLOUS, G. *Wastewater Engineering: Treatment, disposal, and reuse*. Nova York: McGraw-Hill, 1991.

MOMOLI, R. S.; CARVALHO, J. C.; COOPER, M. “Erosão hídrica em solos cultivados”. In: SALES, M. M.; CARVALHO, J. C. de; MASCARENHA, M. M. A.; DA LUZ, M. P.; DE SOUZA, N. M.; ANGELIM, R. R. (Org.). *Erosão em Borda de Reservatório*. 1 ed. Goiânia: GECON - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Gráfica UFG, v. 3, p. 369-397, 2017.

MORGAN, R. P. C. Vegetative-based technologies for erosion control. In: STOKES, A., SPANOS, I., NORRIS, J.E., CAMMERAAT, E. (eds) *Eco-and Ground Bio-Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability*. *Developments in Plant and Soil Sciences*, v. 103, p. 265-272, 2007. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5593-5\\_26](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5593-5_26)

MOREL, A.; DIENER, S. *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Suíça, 2006.

MOUSAVI, F.; ABDI, E.; GHALANDARZADEH, A.; BAHRAMI, H. A.; MAJNOUNIAN, B.; ZIADI, N. Diffuse reflectance spectroscopy for rapid estimation of soil Atterberg limits. *Geoderma*, v. 361, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114083>

NASCIMENTO, D. C. do; ROCHA, G. A.; NASCIMENTO, V. S. do. Parque Ecológico das Timbaúbas: um paradoxo na relação homem-natureza em Juazeiro do Norte (CE). *Boletim Goiano de Geografia*, v. 35, n. 2, p. 321-337, 2015.

NASCIMENTO, M. S.; SILVA, C. J. A.; REIS, N. S. S.; RABELO, A. C. P.; PEREIRA, D. R. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água para fins de abastecimento em São Luís/MA. In: *10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*, ABES-RS, Porto Alegre-RS, 2016.

NUNES, H. B. *Estabilidade de agregados em solos do cerrado*. (Tese) Doutorado em Agronomia. Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2018.

OKUMURA, A. T. R.; SILVA, A. G.; SILVA, N. R. S.; LOPES, E. R. N.; BIFANO, R. B. A.; QUILENATO, R. V. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 4, p. 1835-1850, 2020.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de Esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 26, p. 505-519, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200025>

OLIVEIRA, F. F.; ARAUJO, R. C. Uso de parâmetros geotécnicos como indicadores da erodibilidade de solos. *Geotecnia*, n. 142, p. 63-75, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.24849/j.geot.2018.142.03>

OLIVEIRA, J. L. *Avaliação de Indicadores de Poluição de Solos e Águas e Suas Implicações no Sistema de Abastecimento Público de Juazeiro do Norte-Ce*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza – CE, 2014.

OLIVEIRA, E. A.; COSTA, A. A.; ALMEIDA, R. R.; SILVA, C. Y. S.; SANTOS, L.; FERREIRA, I. L.; PEREIRA, M. S.; AQUINO, G. T.; SILVA, P. B. A.; LIMA, M. R. P. Índice de Estado Trófico de uma Lagoa Urbana Localizada no Município de Juazeiro do Norte - CE. In: *57º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA*, Gramado/RS, Brasil, de 23 a 27 de outubro de 2017.

OLIVEIRA, F. F.; SANTOS, R. E. S. dos; ARAUJO, R. da C. de. Processos Erosivos: Dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes de processos erosivos: aspectos teóricos. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, v. 5, n.3, p. 60-83, 2018a.

OLIVEIRA, T. P.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; NANZER, M. C.; BARRETA, P. G. V.; SILVA, M. F. G.; QUEIROZ, G. R. S. S.; PRADO, E. A. F. Carbono lábil e frações oxidáveis de carbono em solos cultivados sob diferentes formas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 8, n. 3, p. 49-56, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i4.3068>

ONU. Organização das Nações Unidas. *Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> Acesso em: 17 out. 2022. Nações Unidas Brasil, Casa ONU Brasil, Brasília-DF, 2022.



OTENG-PEPRAH, M.; ACHEAMPONG, M. A.; DEVRIES, N. K. Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water Air Soil Pollut*, v. 229, n. 8, p. 1-16, 2018. DOI: [doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8](https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8)

PASTRANA, C. V.; ÁVILA, D. M.; BARRERA, V. C. S. Mathematical model for the definition and integration of buffer zones for terrestrial tropical protected areas. *Ecological Engineering*, v. 163, 2021. DOI: [doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106193](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106193)

PEREIRA-SILVA, E. F. L.; PIRES, J. S. R.; HARDT, E.; SANTOS, J. E.; FERREIRA, W. A. Avaliação da qualidade da água em microbacias hidrográficas de uma Unidade de Conservação do Nordeste do estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 9, n. 3, p. 371-381, 2011.

PINTO, C. C. *Monitoramento de qualidade de água baseado em análise por componentes principais: uma abordagem local*. (Tese) Doutorado em Engenharia Química. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG 2021.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, v. 12, n. 3, p. 435-456, 2017. DOI:10.4136/1980-993X

PROETTI, S. As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: um estudo comparativo e objetivo. *Revista Lumen*, v. 2, n. 4, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.32459/revistalumen.v2i4.60>

QUEIROZ, E. D. Uso público em unidade de conservação: caminhos apontados no Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu-RJ. *Revista Caminhos de Geografia*, v. 22, n. 82, p. 89-101, 2021. DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG228255771>

QUIRINO, G. H. A.; MORAIS, L. S.; MELO, M. T. S. Erodibilidade de Solos: Comparação entre os Ensaios Inderbitzen Modificado e Slaking Test. In: *XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Goiânia-GO, 2014.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 2, p. 429-437, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000200013>

RIBEIRO, K. D.; SOUZA, L. K. Correlation Between Granulometry And Organic Soil Matters With Limits Of Atterberg. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 12, n. 2, p. 185–196, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p185-196>

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J.M. *Tratamento de Água: Tecnologia atualizada*. 5ª Ed. São Paulo: Edgard Blucher, São Paulo-SP, 2003.

RILEY, M. C.; SOUZA, A. S.; JESUS, T. B.; SANTOS, L. T. S. O. Análise da qualidade da água superficial das lagoas Grande e Salgada em Feira de Santana-BA. *Caderno Prudentino de Geografia*, n. 44, v. 1, p. 162-193, 2022.

RIZK, R.; ALAMERAW, M.; RAWASH, M. A.; JUZSAKOVA, T.; DOMOKOS, E.; HEDFI, A.; ALMALKI, M.; BOUFAHJA, F.; GABRIEL, P.; SHAFIK, H. M.; RÉDEY, A. Does Lake Balaton affected by pollution? Assessment through surface water quality monitoring by using different assessment methods. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.039>

ROCHA, A. S. da.; TIZ, G. J.; CUNHA, J. E. da. Reflexos do uso e ocupação do solo urbano no desenvolvimento de processos erosivos em áreas rurais. *Synergismus Scyentifica UTFPR*, v. 4, n. 1, 2009.

ROCHA, B. R. *Ensaio de Inderbitzen modificado em solos com adição de fibras naturais e lodo de tratamento de esgotos sanitários*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hídrica). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, 2021.

RODRIGUES, T. D. F. F.; OLIVEIRA, G. S.; SANTOS, J. A. As pesquisas qualitativas e quantitativas na educação. *Revista Prisma*, v. 2, n. 1, p. 154-174, 2021.

RODRIGUES, G. M. *Aproveitamento das águas descartadas por aparelhos de ar condicionados para fins de reúso não potável*. TCC (Bacharelado em Química). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2019.

RUBIRA, F. G.; MELO, G. do V. de; OLIVEIRA, F. K. S. de. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. *Revista de Geografia*, Recife, v. 3, n. 1, 2016.

RUPPELT, J. P.; TONDERA, K.; VORENHOUT, M.; WEKEN, L. V. d.; PINNEKAMP, J. Redox potential as a method to evaluate the performance of retention soil filters treating combined sewer overflows. *Science of the Total Environment*, v. 650, p. 1628-1639, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.043>

SÁ, B. T. C. *Proposta de diretrizes urbanísticas e ambientais em zona de proteção ambiental: uma contribuição ao planejamento ambiental urbano em Juazeiro do Norte-CE*. Dissertação. (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) Universidade Federal do Cariri, Crato-CE, 2021.

SANTANA, A. L. da S.; ARAÚJO, G. L. Erosão do solo em uma propriedade rural no município de Abre Campo (MG). In: *III Seminário Científico do UNIFACIG*, n. 3, Manhuaçu-MG, 2017.

SANTOS, R. E. S.; ARAUJO, R. C. Análise da adequabilidade de indicadores de erodibilidade de solos baseados em parâmetros geotécnicos. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 2, p. 115-126, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0011>

SANTOS, D. S. Diagnóstico do entorno de uma unidade de proteção integral em área urbana para fins de demarcação da zona de amortecimento: um estudo de caso em Juazeiro do Norte-Ce. TCC (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte-CE, 2022.

SARGENTINI JUNIOR, E.; ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; ZARA, L. F.; SANTOS, A. Substâncias húmicas aquáticas: fracionamento molecular e caracterização de rearranjos internos após complexação com íons metálicos. *Química Nova*, v. 24, n. 3, p. 339-344, 2001.

SCHOU, J. S.; HANSEN, E. W.; SCHAARUP, P. Buffer Zones. *Encyclopedia of Ecology*, v. 4, n. 2, p. 482-485, 2019. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10927-3

SEMACE. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. *Parque Ecológico das Timbaúbas*. 2010. Disponível em: <<https://www.semace.ce.gov.br/2010/12/09/parque-ecologico-das-timbaubas/>> Acesso em 06 de Março de 2021.

SENA, M. G. T.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, C. M. B.; LIMA, F. J. O. Variabilidade da condutividade elétrica e do pH nas águas superficiais da região semiárida. *In: Anais do III Inovagri International Meeting*, p. 3664-3672, Fortaleza, CE, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.12702/iii.inovagri.2015-a392> .

SIGNORATI, A. *Caracterização e percepção ambiental da comunidade na zona de amortecimento do Parque Estadual Vitório Piassa, Pato Branco- Pr*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco - PR, 2018.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400017>

SILVA, C. J. C. *Influência antrópica na composição dos sedimentos da rede de drenagem natural em Juazeiro do Norte – Ce*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável). Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte - CE, 2013.

SILVA, H. A.; ALVES, L. R.; SIQUEIRA, M. L. P. S.; SANTOS, R. C. A.; MUSSE, N. S. Percepção dos moradores de Barra de Maxaranguape - RN a respeito do uso e ocupação do solo na faixa de praia. *Holos*, v. 8, p. 166-179, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2015.2558>

SILVA, S. A.; GAMA, J. A. S.; CALLADO, N. H.; SOUZA, V. C. B. Saneamento básico e saúde pública na Bacia Hidrográfica do Riacho Reginaldo em Maceió, Alagoas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 4, p. 699-709, 2017a.

SILVA, C. Y. S.; OLIVEIRA, E. A.; FRANÇA, J. C.; FERREIRA, I. L.; COSTA, A. A. P.; PEREIRA, M. S.; AQUINO, G. T.; SILVA, P. B. A.; SANTOS, L.; LIMA, M. R. P. Monitoramento dos Níveis de Nitrito e Nitrato na Lagoa dos Macacos do Parque Ecológico das Timbaúbas no Município de Juazeiro Do Norte – CE. *In: 57º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA*, Gramado/RS, Brasil, de 23 a 27 de outubro de 2017b.

SILVA, H. R. O. da.; SILVA, S. C. P. G.; CALVACANTE, M. M. de A. Unidade de Conservação e Desmatamento na Amazônia: Análise do Parque Estadual de Guajará Mirim em Rondônia/Brasil. *ACTA Geográfica*, Boa Vista, v. 13, n. 32, p. 156-170, mai/ago. de 2019a. DOI: 10.5654/acta.v13i32.5489

SILVA, C. P.; VARGAS, R. R.; ARRUDA, R. O. M.; ROSSINI, E. F. Efeitos do uso e ocupação da terra na qualidade da água da sub-bacia hidrográfica Cabosol, Guarulhos/SP. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 10, n. 6, p. 260-273, 2019b. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0023

SILVA, J. M. da; SANTOS, M. F. S.; SILVA, J. P. C.; OLIVEIRA, J. K. C. R.; GOMES, T. C. A. Carbono solúvel em água na avaliação da aceleração da compostagem da casca de coco verde com dejetos de suínos e hidrólise alcalina. In: *X Seminário de Iniciação Científica e Pós-graduação da Embrapa Tabuleiros Costeiros*, Aracaju - SE, Anais. Brasília, DF: EMBRAPA, 2021.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. *Unidades de Conservação - Tabelas e Gráficos*. 2020. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/dados-complementares/225-sistema-nacional-de-unidades-de-conservacao-tabelas-e-graficos> Acesso em: 19 jul. 2021.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-431

SILVEIRA, A. D. S.; OKUMURA, M. L. H. S.; YAMAGUCHI, N. U. Avaliação preliminar da qualidade das águas do Ribeirão Morangueiro por descarte irregular de lodo de estação de tratamento de água. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 44, 2021. DOI: [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_2021\\_44\\_35145](https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_35145)

SOARES, R.; MADDOCK, J. E. L.; CAMPOS, D. V. B.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTELLI, R. E. Avaliação da estabilidade de agregados em marcadores ambientais terrestres do antropoceno submetidos a diferentes períodos de pousio. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 6, p. 1693-1718, 2018. DOI: 10.21577/1984-6835.20180114

SOUSA, M. N. M. *Caracterização química, mineralógica e geotécnica de solos do município de Areia-PB*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2020.

SOUZA, J. A. A.; BATISTA, R. O.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Alteração nas características físicas do solo decorrentes da aplicação de esgoto doméstico tratado. *Acta Scientiarum*, v. 32, n. 4, p. 361-366, 2010.

SOUZA, N. C. *Geotecnologias na análise de suscetibilidade e riscos de processos erosivos em áreas do entorno de linhas férreas estudo de caso: malha Paulista - SP (Bacia do Tietê)*. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2015.

SONODA, K. da C. L.; VIANA, T. de C.; CARVALHO, J. C. de. “Erosão em borda de reservatório: alguns aspectos psicossociais”. In: SALES, M. M.; CARVALHO, J. C. de; MASCARENHA, M. M. A.; DA LUZ, M. P.; DE SOUZA, N. M.; ANGELIM, R. R. (Org.). *Erosão em Borda de Reservatório*. 1 ed. Goiânia: GECON - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Gráfica UFG, v. 3, p. 53-64, 2017.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H.; BONIFÁCIO, C. M. Variação da estabilidade de agregados e as suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região noroeste do Paraná. *Boletim de Geografia*, v. 32, n. 1, p. 166-176, 2014. DOI: 10.4025/bolgeogr.v32i1.18169

THEBALDI, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; ROCHA, M. S.; NETO, S. A. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 3, p. 302-309, 2011.

UNIVASF. *Como funcionam e quais as alternativas aos detergentes?* 2019. Portal Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina-PE. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/como-funcionam-e-quais-as-alternativas-aos-detergentes> Acesso em: 29 set. 2022.

VANACKER, V.; AMEIJERAS-MARIÑO, Y.; SCHOONEJANS, J.; CORNÉLIS, J. T.; MINELLA, J. PG.; LAMOULINE, F.; VERMEIRE, M. L.; BENJAMIN, C.; ROBINET, J.; BROEK, M. V.; DELMELLE, P.; OPFERGELT, S. Land use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena*, v. 178, p. 256-266, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.024>

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.

VENTURINI, J. A. *Avaliação do efeito da adição de raízes na erodibilidade de um solo arenoso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2019.

VIEIRA, M. R. *Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são: pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido*. Agência Nacional das Águas - ANA-2015, 2019.

VILLA, M. E. C. D.; SAMPAIO, T. V. M. Variabilidade espacial e temporal dos parâmetros físico-químicos em ambiente lênticos. *Boletim de Geografia*, v. 34, n. 2, p. 669-80, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i2.25665>

VILLARINO, S. H.; STUDDERT, G. A.; LATERRA, P. How does soil organic carbon mediate trade-offs between ecosystem services and agricultural production? *Ecological Indicators*, v. 103, p. 280-288, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.027>

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Belo Horizonte: Editora UFMG, v. 1, 4º Ed. 1º reimpressão, 2017.

WAN, M.; HU, W.; QU, M.; LI, W.; ZHANG, C.; KANG, J.; HONG, Y.; CHEN, Y.; HUANG, B. Rapid estimation of soil cation exchange capacity through sensor data fusion of portable XRF spectrometry and Vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, v. 363, 2020. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114163

ZARE, M.; PANAGOPOULOS, T.; LOURES, L. Simulating the impacts of future land use change on soil erosion in the Kasilian watershed, Iran. *Land Use Policy*, v. 67, p. 558-572, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.028>

ZHANG, W.-J.; LIN, M.-F. Influence of redox potential on leaching behavior of a solidified chromium contaminated soil. *Science of the Total Environment*, v. 733, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139410>

## APÊNDICE A

FIGURA 1. *Boxplot* dos dados referente a variável CE.

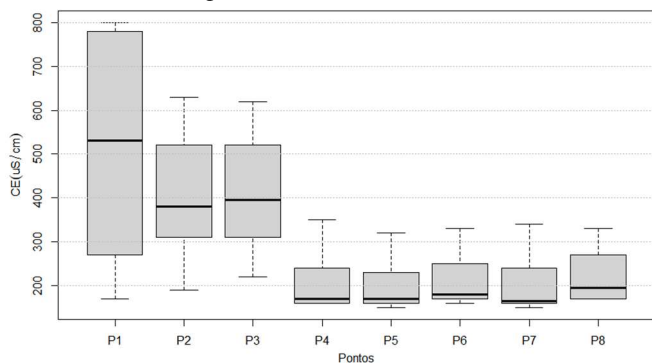


FIGURA 2. *Boxplot* dos dados referente a variável DQO.

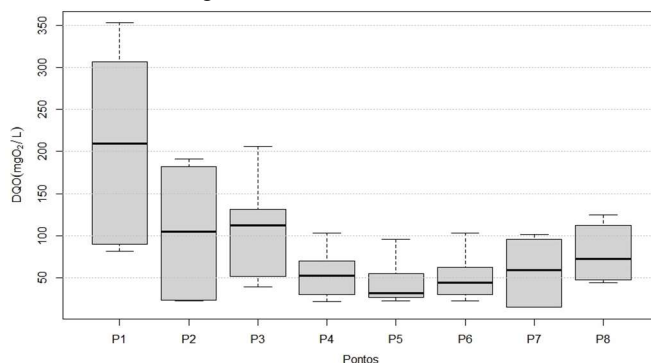


FIGURA 3. *Boxplot* dos dados referente a variável Sólidos Totais.

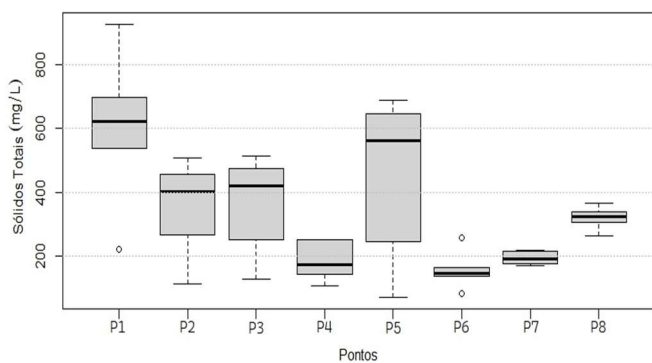


FIGURA 4. *Boxplot* dos dados referente a variável Sólidos Suspensos.

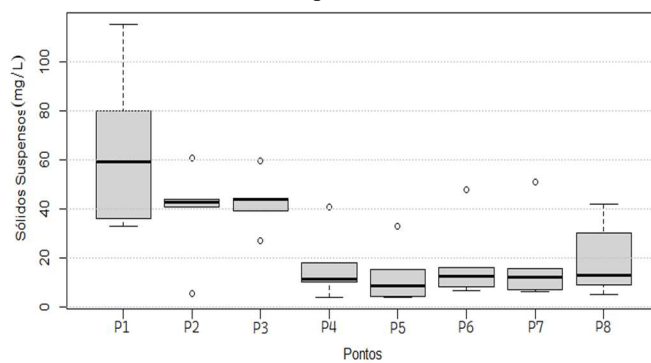


FIGURA 5. *Boxplot* dos dados referente a variável Sólidos Sedimentáveis.

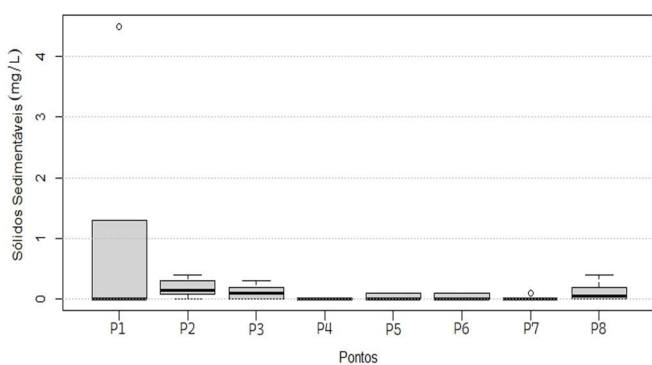


FIGURA 6. *Boxplot* dos dados referente a variável Temperatura.

