



UFMA



UFPI



UFC



UFERSA



UFRN



UFPB



UFPE



UFS



UESC

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE

**RELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA E INTEGRIDADE DA MATA CILIAR  
DE UM TRECHO DE UM RIO DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO.**

LYNDYANNE DIAS MARTINS

RECIFE-PE

2025

LYNDYANNE DIAS MARTINS

**RELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA E INTEGRIDADE DA MATA CILIAR  
DE UM TRECHO DE UM RIO DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO.**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Filosofia e Ciências Humanas, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora:

Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvínio

Coorientadora:

Profa. Dra. Yannice Tatiane da Costa Santos

RECIFE-PE

2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Martins, Lyndyanne Dias.

Relação entre qualidade da água e integridade da mata ciliar de um trecho de um rio da região do semiárido nordestino / Lyndyanne Dias Martins. - Recife, 2025. 143f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2025.

Orientação: Josiclêda Domiciano Galvêncio.

Coorientação: Yannice Tatiane da Costa Santos.

Inclui referências e apêndices.

1. Rios Urbanos; 2. Código Florestal; 3. Poluição Hídrica; 4. Microplásticos. I. Galvêncio, Josiclêda Domiciano. II. Santos, Yannice Tatiane da Costa. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

LYNDYANNE DIAS MARTINS

**RELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA E INTEGRIDADE DA MATA CILIAR  
DE UM TRECHO DE UM RIO DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO.**

Tese apresentado ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), como requisito para obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de Pesquisa: Tecnologias para o desenvolvimento sustentável

Defendida em: 23 / 05 / 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Josicleda Domiciano Galvínio, Profa. Dra. (UFPE)  
Presidente - Orientadora

---

Yannice Tatiane da Costa Santos, Profa. Dra. (IFCE)  
Coorientadora

---

Inajá Francisco de Sousa, Prof. Dr. (UFS)  
Examinador - Representante da Rede PRODEMA

---

Adjuto Rangel Júnior, Prof. Dr. (SEDUC-CE)  
Examinador – Representante de instituição externa a Rede PRODEMA

---

Anderson Targino da Silva Ferreira, Prof. Dr. (IPEN-SP)  
Examinador – Representante de instituição externa a Rede PRODEMA

---

Celme Torres Ferreira da Costa, Profa. Dra. (UFCA)  
Examinadora – Representante de instituição externa a Rede PRODEMA

*À minha querida bisavó Maria Oliveira, pelos ensinamentos de amor e resiliência durante toda a minha vida, os quais me guiaram até este presente momento (In Memoriam).*

*À minha mãe, Alexsandra Dias pelo exemplo de amor maior, força e coragem, e por sempre me apoiar perante as minhas escolhas. Ao meu companheiro de vida Lucas Ribeiro, pelo amor e apoio incansáveis, fundamentais para esta conquista.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e aos espíritos de luz pela proteção e iluminação durante essa fase única e necessária na minha vida.

Agradeço aos meus familiares por todo o apoio e incentivo à conquista deste título, em especial minha mãe Alexandra Dias, minha irmã Leticia Dias e meu noivo Lucas Ribeiro, que estiveram comigo rotineiramente nesse período de desenvolvimento da pesquisa. Sem vocês teria sido tudo mais difícil.

Agradeço à minha amiga, parceira e coorientadora, Profa. Dra. Yannice Tatiane, pela confiança e oportunidade dada a mim desde a graduação, você que me ensinou pacientemente, sempre enalteceu as minhas virtudes e mergulhou comigo nesse desafio. Uma parte dessa vitória é sua e eu sempre serei grata.

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Josiclêda Galvêncio, por toda a disponibilidade sempre, pela oportunidade de ingressar no doutorado e pela confiança plena em minha pessoa para o desenvolvimento desta tese.

Agradeço à Banca examinadora nas pessoas dos Prof. Dr. Inajá Francisco, Prof. Dr. Adjuto Rangel, Dr. Anderson Targino e Profa. Dra. Celme Torres pela atenção, disponibilidade e contribuições significativas para a melhoria dos meu estudo.

Agradeço ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, nas pessoas do Dr. Niklaus Wetter e Dr. Anderson Targino, pela parceria e contribuição no desenvolvimento metodológico e dos resultados desta pesquisa, que é de extrema importância para a região estudada.

Agradeço a todos os meus amigos que encontrei nessa vida e que estiveram comigo durante toda a minha jornada, em especial a Adrielly Pereira e Gabrielly Gregório, parceiras das dores e delícias encontradas durante o processo do doutorado.

Agradeço aos membros do Laboratório LEAS do IFCE Campus Juazeiro do Norte, em especial à técnica Adriana Fernandes por toda a companhia e ajuda nas campanhas realizadas, e aos bolsistas Karine Félix, Iane Moreira, Clara Beatriz, Jadyne Ester, Islânia Nádia, Ana Karoline Pinheiro, Benaffe Santos e Hellen Sousa que não mediram esforços para auxílio na realização das análises ambientais.

Agradeço ainda aos servidores do IFCE Evandro, Marcos, Cícero e Leandro, pela companhia e permissão do deslocamento nos momentos de coletas. Agradeço também aos meus amigos Wedson Faustino e Lucyanno da Costa pela contribuição no desenvolvimento metodológicos. A ajuda e disposição de vocês foi crucial para a conclusão desta tese.

Agradeço a todos os caririenses que enaltecem e se orgulham dessa região tão rica e importante, em especial agradeço a Maria Auxiliadora, agricultora que reside nas proximidades do Rio Salgadinho, pela acolhida em cada campanha realizada e partilha das suas lembranças de infância, em que podia aproveitar o contato direto com o rio e construir inúmeras memórias.

*“Eu que sou de lá,  
Pertença aquele lugar,  
Não que a mim não seja permitido voar  
Conhecer outros lugÁ  
Por onde quer que eu ande  
Por qualquer coisa me encante  
É pra lá que (um dia) vou voltar.*

*Lá que é de mim,  
Aqui dentro pode habitar,  
Não fujo das minhas origens,  
Pra caber em algum lugar  
O que há dentro de mim  
São heranças, divinais,  
São histórias da minha história,  
Que um dia hei de contar.  
O Sertão de mim, o ser tão de mim”.*

**Alana Dias**

## RESUMO GERAL

### RELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA E INTEGRIDADE DA MATA CILIAR DE UM TRECHO DE UM RIO DA REGIÃO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO.

O desmatamento das matas ciliares, a ausência de saneamento básico, o uso e ocupação desordenado do solo nas bacias hidrográficas, além dos impactos naturais da bacia, são algumas das principais razões da deterioração dos corpos hídricos brasileiros. No Semiárido Nordeste Brasileiro, essa problemática é igualmente alarmante, uma vez que os longos períodos de escassez impactam diretamente a disponibilidade e distribuição hídrica. O presente estudo tem como objetivo investigar a relação entre as condições de área de mata ciliar e a qualidade da água ao longo de um trecho de um rio intermitente do interior do Ceará. Para isso, são utilizados dados de análises físico-químicas, microbiológicas e de microplásticos, além de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao mapeamento da cobertura vegetal (NDVI). Os resultados evidenciaram uma correlação positiva moderada ( $r=0,4$ ) entre a cobertura vegetal da mata ciliar e os níveis de oxigênio dissolvido, sugerindo que a vegetação ripária pode funcionar como um indicador da saúde ambiental dos corpos d'água. O trecho correspondente a canalização do Rio Grangeiro e as áreas mais urbanizadas não atendem às exigências legais do Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), comprometendo funções ecológicas essenciais, como a proteção contra assoreamento e a filtragem de poluentes. Os índices ambientais IPI e NDVIrel indicaram que a nascente e o início da cidade de Missão Velha, obtiveram melhores condições de equilíbrio ambiental, por serem áreas menos urbanizada, enquanto os piores indicadores concentraram-se em Crato, onde a mata ciliar é praticamente inexistente. A qualidade da água mostrou-se constante entre os períodos sazonais, o que sugere fontes contínuas de poluição. No tocante à análise de microplásticos e substâncias associadas, no trecho estudado destacaram-se as substâncias orgânicas, muitas delas associadas a atividades industriais e alimentícias, e em seguida os polímeros, sendo o Sulfeto de Polifenileno (PPS) o mais prevalente, contribuindo de forma expressiva para a poluição terrestre e marinha.

Autor: Lyndyanne Dias Martins

Orientadora: Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio

Co-Orientadora: Profa. Dra. Yannice Tatiane da Costa Santos

Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Recife-PE, Maio de 2025.

**Palavras-chave:** Rios Urbanos, Código Florestal, Poluição Hídrica, Microplásticos.

## GENERAL ABSTRACT

### RELATIONSHIP BETWEEN WATER QUALITY AND THE INTEGRITY OF THE RIPARIAN FOREST IN A STRETCH OF RIVER IN THE NORTHEASTERN SEMI-ARID REGION.

The deforestation of riparian forests, the lack of basic sanitation, the disorderly use and occupation of land in river basins, as well as the natural impacts of the basin, are some of the main reasons for the deterioration of Brazilian water bodies. In Brazil's semi-arid northeast, this problem is equally alarming, since long periods of scarcity have a direct impact on water availability and distribution. The aim of this study is to investigate the relationship between riparian forest conditions and water quality along a stretch of an intermittent river in the interior of Ceará. This will be done using data from physical-chemical, microbiological and microplastic analyses, as well as remote sensing techniques applied to mapping vegetation cover (NDVI). The results showed a moderate positive correlation ( $r=0.4$ ) between riparian vegetation cover and dissolved oxygen levels, suggesting that riparian vegetation can function as an indicator of the environmental health of water bodies. The stretch corresponding to the Grangeiro River canalisation and the more urbanised areas do not meet the legal requirements of the Forest Code (Law No. 12,651/2012), compromising essential ecological functions such as protection against silting and filtering of pollutants. The environmental indices (IPI and NDVIrel) indicated that the source and the beginning of the city of Missão Velha had better environmental health conditions, as they are less urbanised areas, while the worst indicators were concentrated in Crato, where riparian forest is practically non-existent. Water quality proved to be constant between seasonal periods, suggesting continuous sources of pollution. When it came to analysing microplastics and associated substances, organic substances stood out in the stretch studied, many of them associated with industrial and food activities, followed by polymers, with Polyphenylene Sulphide (PPS) being the most prevalent, making a significant contribution to land and marine pollution.

Author: Lyndyanne Dias Martins

Advisor: Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio

Co-Advisor: Profa. Dra. Yannice Tatiane da Costa Santos

Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Recife-PE, May de 2025.

**Keywords:** Urban Rivers, Forest Code, Water Pollution, Microplastics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funções dos rios urbanos.-----	26
Figura 2 - Principais normas e regulamentos que interligam as temáticas de recursos hídricos e matas ciliares do Brasil.-----	28
Figura 3 - Principais normas e regulamentos relacionados à proteção de áreas ambientais do Brasil.-----	31
Figura 4 - Delimitação de APP's a ser preservada nas margens dos rios de acordo com o Código Florestal.-----	33
Figura 5 - Mapa de localidade destacando os municípios da microrregião 3 da Sub Bacia do Salgado.-----	43
Figura 6 - Série histórica de distribuição pluviométrica anual dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha nos anos de 1992 a 2022.-----	44
Figura 7 - Evolução populacional do município de Juazeiro do Norte dos anos 1940 a 2022.	48
Figura 8 - Mapa de Uso e ocupação do Solo dos municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha em 2023.-----	51
Figura 9 - Pontos de coleta no trecho estudado.-----	52
Figura 10- Mapa seccionado do trecho estudado para identificação dos valores de NDVIrel.	60
Figura 11 - Fluxograma metodológico para identificação dos microplásticos.-----	62
Figura 12 - Identificação dos meses secos e chuvosos em Juazeiro do Norte através do método de agrupamento sazonais.-----	65
Figura 13 - Presença da cobertura vegetal referente ao mês de fevereiro ao longo do trecho estudado.-----	68
Figura 14 - Presença da cobertura vegetal referente ao mês de setembro ao longo do trecho estudado.-----	69
Figura 15 - Valores de NDVI em cada ponto de coleta, obtidos em período de chuva e estiagem ao longo do trecho estudado.-----	71
Figura 16 - Valores do Índice de Poluição Integrado (IPI) considerando todas as coletas e pontos do trecho estudado em períodos de chuva e estiagem.-----	74
Figura 17 - Índice de Poluição Integrado (IPI) considerando todos os pontos e coleta amostrados.-----	75
Figura 18 - Valores do NDVIrel obtidos através da razão do NDVI e área de cobertura vegetal total de cada ponto do trecho estudado.-----	76

Figura 19 - Análise de Componentes Principais (PCA) em ambos os períodos sazonais, de todos os pontos de coleta.-----	77
Figura 20 - Matriz de Correlação das Variáveis padronizadas. -----	78
Figura 21 -Análise de Cluster não Hierárquico em ambos os períodos sazonais, de todos os pontos de coleta.-----	79
Figura 22 - Classificação das substâncias encontradas nos pontos de coleta. -----	80

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Espécies utilizadas para ações de florestamento e reflorestamento na área da Caatinga. -----	24
Quadro 2 - Distribuição das áreas em hectares do mapeamento do uso e ocupação do solo, em de Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha (2023). -----	50
Quadro 3 - Coordenadas geográficas e referência dos pontos de coleta. -----	53
Quadro 4 - Parâmetros e métodos analíticos. -----	54
Quadro 5 - Valores da mata ciliar a ser preservada conforme a extensão da calha do corpo hídrico, de acordo com o Código Florestal (2012). -----	57
Quadro 6 - Intervalo de datas de cada coleta utilizado para a aquisição das imagens de satélite. -----	58
Quadro 7 - Valores Mínimo e Máximo de Sólidos Suspensos durante as coletas -----	63
Quadro 8 - Área total de cada seção e intervalo da área de cobertura vegetal calculado pelo NDVI para cada ponto de coleta no trecho estudado em km <sup>2</sup> . -----	66
Quadro 9 - Dados mensais de vegetação alta e baixa em km <sup>2</sup> , ao longo do trecho estudado -	71
Quadro 10 - Valores do Índice de Poluição Integrado (IPI) -----	72

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CBH	Comitê de Bacias Hidrográficas
CCMs	Complexos Convectivos de Mesoescalas
CL_a	Clorofila $\alpha$
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTT_LOG	Coliformes Termotolerantes (Escala Logarítmica)
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FLONA	Floresta Nacional
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IET	Índice de Estado Trófico
IQA	Índice de Qualidade de Água
IPI	Índice de Poluição Integrado
LEAS	Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária
MPs	Microplásticos
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NDVIrel	Relação da Área da Cobertura Vegetal por Área Total
NDWI	Índice de Água por Diferença Normalizada
NDWIrel	Relação da Área de Corpos Hídricos por Área Total
OD	Oxigênio Dissolvido
PDI	Processamento Digital de Imagens
PET	Tereftalato de Polietileno
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PT	Fósforo
PVC	Policloreto de Vinila
RMC	Região Metropolitana do Cariri

SEMA	Secretaria de Meio Ambiente do estado do Ceará
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
TURB	Turbidez
UC	Unidade de Conservação
UICN	União Internacional para a Conservação da Natureza
VCA	Vórtices Ciclônicos de Ar
ZCI	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS E HIPÓTESES .....</b>	<b>19</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
2.3 HIPÓTESE .....	19
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
3.1 MATA CILIAR.....	20
3.2 RIOS URBANOS.....	25
3.3 ASPECTOS LEGAIS - RECURSOS HÍDRICOS E MATAS CILIARES.....	27
3.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA .....	34
3.5 SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS REFERENTES ÀS MATAS CILIARES E RECURSOS HÍDRICOS .....	38
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	42
4.2 ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DO TRECHO ESTUDADO .....	51
4.3 INTEGRIDADE DA COBERTURA VEGETAL (MATA CILIAR).....	56
4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICA .....	60
4.5 MICROPLÁSTICO E SUBSTÂNCIAS ASSOCIADAS .....	61
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
5.1 INTEGRIDADE DA COBERTURA VEGETAL (MATA CILIAR).....	65
5.2 ANÁLISES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	72
5.3 MICROPLÁSTICOS E SUBSTÂNCIAS ASSOCIADAS.....	80
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>83</b>
6.1 INTEGRIDADE DA COBERTURA VEGETAL E QUALIDADE DA ÁGUA .....	83
6.2 MICROPLÁSTICOS.....	88
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE I - .....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE II.....</b>	<b>120</b>
<b>APÊNDICE III - .....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE IV.....</b>	<b>135</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação dos corpos hídricos no Brasil está associada, principalmente, ao desmatamento das matas ciliares, à falta de saneamento básico, à ocupação desordenada do solo nas bacias hidrográficas e aos impactos naturais característicos (Tundisi et al. 2015), especialmente dos rios urbanos. Nos rios do Semiárido Nordeste brasileiro, região caracterizada por longos períodos de seca que afetam diretamente a disponibilidade e a distribuição da água, essa problemática também se mostra bastante preocupante.

As matas ciliares desempenham um papel fundamental na manutenção dos biomas, atuando na conservação e proteção dos recursos hídricos (Américo-Pinheiro et al., 2018), além de contribuírem para a prevenção da erosão do solo. Estas funcionam como filtros naturais, capazes de reter partículas poluentes, auxiliando na estabilidade da qualidade da água, importante função para o abastecimento humano, garantindo a proteção natural dos corpos hídricos e do solo (Ribeiro et al. 2018). No entanto, nas últimas décadas, essas áreas têm sido intensamente impactadas negativamente, alterando significativamente o cenário natural (Valera et al. 2019), e sendo áreas ameaçadas de extinção no Brasil. Assim, quando a configuração dessa formação vegetal é alterada, os impactos tornam-se imediatamente evidentes, causando grandes prejuízos, especialmente na redução da biodiversidade (Marmontel et al., 2015).

A proteção legal das Áreas de Preservação Permanente (APP), como as matas ciliares, é assegurada pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), com o objetivo de garantir a preservação de suas funções ecológicas. Segundo Silva (2005), essas áreas são classificadas como frágeis ou sensíveis aos impactos ambientais, devido à sua baixa resiliência, exigindo, portanto, uma atenção e manejo diferenciados. A garantia de ambientes permanentemente protegidos, implica no impedimento de ações degradantes, que alterem as condições naturais daquele ambiente de forma danosa (Martins, 2007).

Relacionado ao ponto de vista legal e institucional, a Constituição Federal de 1988 delega à União responsabilidade pela criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentado pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que considera a água um bem público, que deve ser gerida através de uma política descentralizada contando com a participação do poder público, dos usuários e da sociedade (BRASIL, 1997).

Os rios urbanos são nomenclaturas dadas aos corpos hídricos que têm o centro urbano desenvolvido no seu entorno, responsáveis por inúmeras funções dentro do contexto ambiental,

entre elas a promoção da qualidade de vida dos seres. No Brasil, a degradação dos rios urbanos é amplamente notável, tornando esses ambientes menos atrativos devido à intensa pressão da urbanização, que resulta na redução dos serviços ecossistêmicos por eles prestados.

Nesse contexto regional, destaca-se o Rio Salgado, localizado no Centro-Sul do estado do Ceará, que se configura como o principal curso hídrico da região, atravessando suas principais cidades. Ele se inicia através da junção de dois dos seus afluentes, o Rio Grangeiro e o Rio Batateiras que tem suas nascentes no sopé da Chapada do Araripe em Crato - Ceará. Ao atingir o início da zona rural do município de Juazeiro do Norte, estes se unem, dando origem ao Rio Salgadinho, que segue em direção ao município de Missão Velha, onde, ao encontrar a cachoeira local, um dos principais geossítios do Geopark Araripe, e recebe a contribuição do Rio Salamanca (Sabiá, 2008), sendo por fim, batizado de Rio Salgado (Bacia do Salgado).

A sua relevância é extrema, pois é responsável por conferir inúmeros serviços ambientais aos ecossistemas e a população, sendo o principal afluente do Rio Jaguaribe, onde suas águas são represadas para originar os açudes de Orós e Castanhão, que garantem uma reserva hídrica para todo o estado (Rodrigues, 2020).

Atualmente, os municípios do Crato e Juazeiro do Norte são consideradas as maiores cidades da Região Metropolitana do Cariri Cearense, e com isso, o trecho correspondente ao início do Rio Salgado que tangencia toda a zona urbana dessas cidades, acaba sofrendo com a existência de fontes de poluição difusa, advindas das atividades agrícolas e do centro urbano, onde estão inclusas atividades comerciais, industriais, ocupação por residências e o lançamento do efluente bruto (advindo do município do Crato) e tratado (ETE Malvas localizada em Juazeiro do Norte). Em contrapartida, Missão Velha, embora inserida na mesma bacia hidrográfica, apresenta menor impacto urbano sobre os cursos d'água, devido à sua menor densidade urbana.

Segundo Costa (2006), a urgência por soluções para os problemas relacionados aos rios urbanos, requer interdisciplinaridade, abrangendo as dimensões ambiental, urbana e social. A maioria dos problemas ambientais está intrinsecamente ligado a uma gestão e gerenciamento ineficaz dos recursos existentes, uma vez que não houve uma preocupação com os aspectos ambientais e o uso dos recursos naturais durante a fase de planejamento e ordenamento do território (Souza et al. 2012).

A gestão da água e da vegetação ciliar na Região Metropolitana do Cariri (RMC) é marcada por vulnerabilidades, agravadas pelo crescimento urbano desordenado (Silva, 2019; Palácio, 2020). De acordo com Araújo (2013) Crato e Juazeiro do Norte são cidades onde se

percebe um agravamento da problemática urbana em decorrência do desequilíbrio social. Eles ampliaram rapidamente sua malha urbana e sua concentração comercial, no entanto, nota-se que o sistema de infraestrutura urbana não acompanhou esse ritmo, tornando-os suscetível a cenários de inundação e motivando o surgimento de novos pontos de alagamento nas cidades, e considerando também suas características físicas e a ocorrência de chuvas intensas em áreas impermeabilizadas.

Atualmente, o monitoramento das águas do Rio Salgado é realizado pelo Comitê da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Salgado (CBH Salgado), embora de forma limitada e pouco abrangente. Logo as pesquisas acadêmicas se configuram como uma fortalecedora do conhecimento da avaliação da sua qualidade e veem indicando um processo contínuo de degradação ambiental. Isso confere uma vulnerabilidade ao rio a todos os tipos de poluição, sendo o monitoramento frequente da qualidade da água uma etapa essencial, visto que pode indicar a fragilidade dos ecossistemas frente às intervenções urbanas ou ainda processos específicos de ocorrência semiárida.

Diante disso, considera-se necessária a realização de estudos que investiguem os usos e ocupação do solo e qualidade da água de forma a garantir os usos previstos pela Classe II da Conama 357/2005, do trecho urbano dos Rios Grangeiro e Salgadinho, nos tocantes aos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha. Para tanto, o sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta promissora nas aplicações ambientais e vem sendo empregado em diversas partes do mundo, oferecendo muitas alternativas para o monitoramento contínuo do recurso natural, permitindo, por exemplo, a detecção de mudanças, o mapeamento, e a caracterização dos corpos d'água em larga escala (Barbosa et al. 2019).

Diante do exposto, este estudo visa investigar o grau de relação entre a qualidade da água de um trecho de um rio intermitente que perpassa as cidades de Crato, Juazeiro do Norte e início de Missão Velha, estando todos esses inseridos na Microrregião do Cariri Cearense, através das características físico-químicas e microbiológicas, com as áreas referentes a mata ciliar tendo como justificativa o enforcamento dessas áreas no entorno do corpo hídrico em consequência da crescente expansão urbana dos municípios da região nos últimos anos, ocasionando os constantes cenários de alagamentos da cidade, enfatizando a considerável importância do rio para a região e restante do estado.

Assim, a presente pesquisa tem como objetivo contribuir significativamente para a realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 3 (saúde e bem-estar), ODS 6 (água limpa e saneamento) e ODS 14 (vida na água), promovendo

conhecimento técnico-científico fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos na região do Cariri cearense, uma vez em que os ODS estão diretamente conectados a todos os usos da água previstos na Classe II da Conama 357/200, garantindo assim a possibilidade de todos esses usos.

## **2 OBJETIVOS E HIPÓTESES**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta tese é investigar a relação entre as condições da área de mata ciliar e qualidade da água, a partir das características físico-químicas e microbiológicas, ao longo de um trecho de um rio intermitente que perpassa os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e início de Missão Velha.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Verificar o atendimento da faixa de mata ciliar às diretrizes do Código Florestal (Lei 12.651/2012);
2. Analisar a flutuação da cobertura vegetal da faixa de mata ciliar em período de estiagem e chuvoso;
3. Investigar as características físico-químicas e microbiológicas do trecho correspondente aos Rios Grangeiro e Salgadinho através do Índice de Poluição Integrado nos períodos seco e chuvoso;
4. Verificar a integridade da mata ciliar (cobertura vegetal - NDVI) com as características físico-químicas e microbiológicas do trecho dos Rios Grangeiro e Salgadinho;
5. Identificar poluentes de origem em microplásticos e possíveis substâncias presentes.

### **2.3 HIPÓTESE**

A hipótese a ser testada se norteia na premissa de que, na região da Caatinga, a presença de uma mata ciliar íntegra está correlacionada diretamente com a boa qualidade ambiental das águas dos corpos hídricos representado pelo índice de Poluição Integrado (IPI), de modo a favorecer ao atendimento desses, aos parâmetros de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 referente a Classe II.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Sustentando a importância do estudo para a região, os resultados dos tópicos **3.1- Mata Ciliar, 3.2-Rios urbanos e 3.3-Aspectos Legais - Recursos Hídricos E Matas Ciliares** da revisão de literatura traz um artigo científico intitulado: Integridade da mata ciliar em corpos aquáticos urbanos: conceitos e aspectos legais, que tem como o objetivo de difundir os fundamentos teóricos-conceituais sobre a temática das matas ciliares e rios urbanos, trazendo suas funções dentro do ambiente e aparatos da legislação federal que versam sobre essas áreas em questão. O artigo foi publicado na Revista Contribuciones a Las Ciencias Sociales, que tem conceito A4 pela Capes, com o ISSN: 1988-7833 e DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.7-214>.

#### 3.1 MATA CILIAR.

##### 3.1.1 Conceituação

A maneira documentada de ocupação dos seres humanos aos sistemas naturais se definiu através da proximidade desses em relação aos cursos d'água, a qual as margens eram acompanhadas por matas que também auxiliavam no suprimento de suas demandas, como a necessidade de transporte, abastecimento e deposição dos efluentes. O conceito da vegetação situada próxima aos cursos d'água está fundamentada através de muitos grupos de autores, e recebem diferentes denominações para indicar um tipo de vegetação com características próprias, de acordo com as formas de classificação como relevo, declividade, e altura das árvores, por exemplo.

Inicialmente, Bezerra dos Santos (1975) foi o primeiro a conceituar a área englobando as denominações de mata ciliar, mata de galeria e mata ripária e considerando-as sinônimos. Rodrigues (1989) afirmou que o termo mata ciliar, se refere a uma unidade fisiográfica, e também abrange uma situação física, denominada de Zona Ciliar. Souza (1999) a designou de vegetação ripária, e afirmou ser toda e qualquer vegetação de margem, não só aquelas relacionadas ao corpo da água, podendo este ser natural ou criado pelo homem.

Antagonicamente, para Ab' Saber (2009) o conceito de mata ciliar é referente a expressão florestas ciliares, que abrange todos os tipos de vegetação arbórea que estejam ligadas à beira dos rios, sendo uma denominação que se mistura com o amplo sentido de matas de beiras de rios, porém independente de sua área ou região onde há ocorrência da sua composição florística. O Código Florestal, por disposição da Lei 12.651/12, não define conceitualmente o

termo mata ciliar, mas faz referência a estes ambientes, como sendo Áreas de Proteção Permanentes (APP) – aquela área coberta ou não por vegetação nativa com a função de preservar os recursos hídricos nas suas respectivas bacias (BRASIL, 2012).

Para Lacerda (2016), são consideradas como os cílios das águas por sua função protetora, e se encontram associadas aos ambientes hídricos. As matas ciliares são ainda definidas como formações vegetais (Abílio et al. 2018), de áreas com maior concentração de umidade (Ferreira et al. 2019), extremamente importante para o desenvolvimento dos processos ambientais. Entre todos os conceitos existentes sobre matas ciliares, essas constituem-se um importante suporte para o equilíbrio do ecossistema e todas as suas relações, as quais se associam ao manejo e conservação dos recursos naturais.

Nesse contexto, elas abrangem todos os biomas brasileiros sendo responsáveis por essa proteção da fauna e flora de cada localidade. As matas ciliares do Semiárido Nordeste resultam das adaptações da vegetação ao local, caracterizadas como do tipo hiperxerófila e hipoxerófila, com tamanhos e tipos de árvores diferentes, (Cerqueira; Carvalho, 2007) e com os ciclos reprodutivos curtos, de rápida floração e brotamento (Fernandes; Queiroz, 2018). Apresenta ainda um dossel de baixo porte, folhagem com espinhos ou acúleos e a presença de arbustos, cipós e estrato herbáceo (Nascimento, 2001).

A proteção dos corpos hídricos pelas matas ciliares se dá pela cobertura das terras que os margeiam, evitando o assoreamento, que é o carreamento do solo pela água das chuvas, impedindo também a perda de determinados habitats aquáticos. Além disso, atua na prevenção da contaminação do leito do rio e na regulação das suas vazões, uma vez que as matas ciliares funcionam como filtros retentores de sedimentos e poluentes, contribuindo para o aumento da vazão na estação seca (Ribeiro et al. 2018).

Atribui-se também às matas ciliares, a garantia de recarga dos lençóis freáticos, pois estas retêm as águas das chuvas e as conduzem ao solo numa velocidade mais lenta favorecendo o aumento da percolação, auxiliando na diminuição dos eventos de enchentes e inundações (Correia et al. 2019; Aires et al. 2018). Outra função citável está relacionada à criação dos corredores ecológicos, que favorece o fluxo de animais e vegetais, fornecendo alimento e abrigo para a fauna favorecendo a produção e reprodução das espécies nativas; além de fixar carbono contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa (Panizza, 2016). Além disso, a presença da área de mata ciliar melhora a composição da paisagem e beleza dos locais.

Apesar das reconhecidas importâncias ecológicas das matas ciliares para a proteção florestal ao longo dos corpos hídricos, a fim de manter a quantidade e a qualidade da água

disponível, estas continuam sendo áreas alvos de degradação, principalmente em decorrência do desmatamento em razão do aumento das atividades de especulação imobiliária, agricultura, pecuária e em alguns casos apenas área degradada para dessedentação de animais (Martins, 2017).

Em relação às alterações exercidas nas áreas de matas ciliares, Puntteney-Desmond et al. (2020), cita que essa prática pode ocasionar a modificação na sua função de interceptação e também nas propriedades hidráulicas do solo, possibilitando a ocorrência de erosão com grande aporte de sedimentos. Essa supressão também pode causar o favorecimento da eutrofização dos corpos d'água, que vão acarretar na diminuição da biodiversidade e mortalidade de peixes (Carpanezi, 2000). Nascimento (2001) enfatiza ainda que a degradação da mata ciliar é considerada um impacto ambiental de magnitude gravíssima, e que as consequências vão desde o surgimento de grandes áreas erodidas, até extinção de espécies e comprometimento da saúde humana e dos ecossistemas.

### **3.1.2 Integridade da mata ciliar**

Conforme determina a legislação vigente N° 12.651/12, relativo ao Código Florestal Brasileiro, as matas ciliares fazem parte das áreas de preservação permanentes (APP's), ou seja, devem ser protegidas. Essas podem ser recompostas ou recuperadas de forma natural ou artificial, a depender da situação, desde que seja precedido de um planejamento bem definido, levando em consideração a microbacia hidrográfica como área de referência e, sempre associando todas as etapas às características locais e às exigências da lei.

A forma natural de recuperação da área, se dá pela capacidade natural da floresta de se recuperar por si só, por meio de uma série de estágios, onde os grupos de plantas vão sendo substituídas ao longo dos anos, caracterizando na modificação local até chegar à completa regeneração, sendo um processo demorado e de baixo custo (De Oliveira et al. 2010). Já a forma artificial, exige ações antrópicas, apresentando tempo de recuperação relativamente curto, porém com adição de custos altos. É também chamada de restauração ecológica ativa e se constitui por meio do plantio de um conjunto diversificado de espécies de árvores nativas para acelerar a recuperação do dossel florestal, ativar rapidamente a sucessão natural e proporcionar a autoperpetuação da floresta, através da verificação da saúde do solo e outras características (Bieluczyk et al. 2024).

Alguns fatores dos ecossistemas se tornam necessários para a execução do processo de recuperação, dentre eles o conhecimento do processo de degradação, os objetivos, as

prioridades e estratégias definidas. Além disso, Pulitano (2003) ressalta a importância da análise de resiliência do ecossistema para o processo de recuperação, uma vez que a resiliência somada à flexibilidade frente às mudanças ambientais e a adaptabilidade da área às perturbações, são os principais aspectos a serem utilizados para a tomada de decisões no tocante à recuperação da mata ciliar. A autora ainda disserta sobre três conceitos de recuperação os quais se baseiam no grau de perturbação sofrido pelo ecossistema e nas estratégias de intervenção, sendo eles a restauração, a reabilitação e a redefinição.

Uma das práticas mais estudadas nos últimos anos para a recomposição das matas ciliares é a implantação de espécies ou reflorestamento através de mudas de plantas ou sementes (Servilheri et al. 2021; Moura de Oliveira, 2022; Jesus et al. 2024). A resolução nº 429/2011 do CONAMA traz a metodologia de restauração de APP, baseadas principalmente na: I) condução da regeneração natural de espécies nativas; II) plantio de espécies nativas; e III) plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas (BRASIL, 2011a).

A escolha das espécies para o reflorestamento é de suma relevância para obtenção de um bom resultado, uma vez que se deve preferir as espécies nativas da região e seu entorno, ou as semelhantes. De Oliveira et al. 2010, ressalta também a necessidade da adoção de critérios para seleção das espécies e sua caracterização em grupos distintos de sucessão, sendo escolhidas inicialmente, as espécies pioneiras, sendo elas as árvores de pequeno e médio porte que tem um crescimento rápido, seguindo das espécies intermediárias e logo depois as clímax (árvores de grande porte e longevidade).

Quanto à recomposição em áreas de matas ciliares de Caatinga, considerando todas as suas particularidades, alguns estudos registram os potenciais das leguminosas, frutíferas (Lacerda *et al.* 2016; Ganem, 2017), espécies atreladas ao paisagismo urbano (Alencar et al. 2019), e da família das forrageiras, (Nascimento, 2001; Coradin et al. 2018). A exemplo disso, a Secretaria de Meio Ambiente do estado do Ceará - SEMA, designou uma Instrução Normativa Nº 05/2021, a qual traz uma lista de recomendação das espécies que são aptas para ações de florestamento e reflorestamento no Estado (Quadro 1).

Quadro 1- Espécies utilizadas para ações de florestamento e reflorestamento na área da Caatinga.

VERNÁCULO	HÁBITO
Angico Branco e Vermelho	Arbórea
Cajueiro	Arbórea
Jurema preta e branca	Arbórea
Joazeiro	Arbórea
Pequi	Arbórea
Sabiá	Arbórea
Carnaubeira	Palmeira
Buriti	Palmeira
Catolé	Palmeira
Grão de galo	Arbustiva
Feijão bravo	Arbustiva
Faveleira	Arbustiva
Marmeleiro do brejo	Arbustiva
Ameixa	Arbustiva

Fonte: Elaboração baseada em SEMA (2021, p.1); Elaboração da autora (2024).

Entre as principais dificuldades encontradas no reflorestamento das áreas de matas ciliares, destaca-se o alto custo de replantio, por razão do requerimento de mudas, mão de obra e outros materiais. Em alguns casos, os estados fornecem as mudas para essa recuperação, como é o caso do estado do Ceará, que através do programa Células de Políticas de Flora que integra a Coordenadoria de Biodiversidade – COBIO, regulamenta e disponibilizam as mudas de espécies vegetais nativas produzidas pela secretaria de meio ambiente (SEMA, 2020).

É importante enfatizar que não é nítido o retorno econômico direto ao manter a integridade das matas ciliares com a sua recuperação e reflorestamento. Esse retorno está ligado

a diminuição ou cessação de impactos que venham a gerar grandes gastos públicos caso sejam concretizados. Além de, no ponto de vista ambiental, possibilitar que as espécies faunísticas e florísticas se reproduzam e garantam a reconstituição da biodiversidade da região.

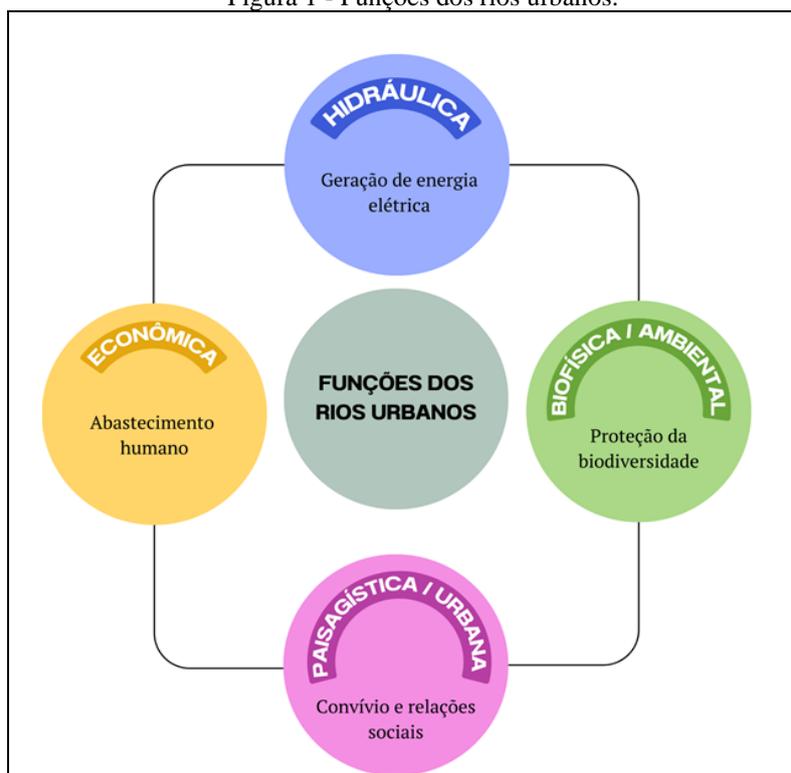
### 3.2 RIOS URBANOS

Os cursos d'água em geral foram, desde o início da civilização, importantes para o desenvolvimento das cidades, pelas suas estruturas funcionais, estratégicas ou culturais. Estes eram utilizados para atividades como agricultura, criação de animais, atividades sanitárias, meio de comunicação e transporte, sendo exemplos de como a vida em sociedade está fortemente interligada à água.

Logo, com a grande maioria dos centros urbanos se desenvolvendo no entorno dos mananciais, esses rios ganharam o título de “rios urbanos”. Os rios urbanos são caracterizados como cruciais corredores biológicos que garantem a circulação da flora e da fauna no interior das cidades, e o seu conjunto formam as bacias hidrográficas, que são consideradas as células majoritárias de análise e gestão dos recursos hídricos (Ribeiro, 2012), permitindo o levantamento de informações básicas do meio, como clima, relevo, geologia, hidrologia, fauna, flora, qualidade da água e aspectos culturais (Garcia et al. 2020). No Semiárido Nordeste, os rios, inclusive os urbanos, são caracterizados como intermitentes, em que o fluxo de água geralmente só ocorre durante os períodos chuvosos, com o nível do lençol freático oscilando em função da estação do ano (Taveira, 2018).

Muitas são as funções dos rios urbanos dentro do contexto ambiente e sociedade (Figura 1). No ponto de vista geral, esses são responsáveis por promover o aumento da qualidade de vida da população e participar da economia de uma cidade.

Figura 1 - Funções dos rios urbanos.



Fonte: Saraiva (1999). Elaborada pela autora (2024).

Os rios como parte do cenário urbano, desempenham também a função de artérias dos tecidos das cidades, abrigando ecossistemas e drenando as águas. Entretanto, as formas descomedidas de utilização de suas margens, juntamente com a crescente demanda por água para os múltiplos usos urbanos agravam a condição de degradação desses ecossistemas (Alencar, 2016).

No continente europeu, os rios urbanos, Isar situado na Alemanha, e Sena na França, são conhecidos historicamente por terem sofrido com os casos de poluição difusa, construção de canalizações, e grandes pressões exercidas por indústrias das diversas atividades econômicas, como as de refino de petróleo e químicas, que alteraram as suas margens e leitos e causou uma séria perda de funções ecológicas e interação entre as águas dos lençóis freáticos ao longo destes ecossistemas (Arzet, 2010; Casterot, 2010). Ainda num cenário mais atual, o Rio Sena, tem sido tema de discussão em relação aos preparativos para os Jogos Olímpicos de Paris em 2024, uma vez que este será meio para as provas de maratonas aquáticas e suas águas não estão com os padrões satisfatórios estabelecidos pelas diretrizes europeias, havendo contaminação por *Escherichia Coli* e *Enterococos* (UOL, 2024).

No Brasil a situação de degradação dos rios urbanos não é diferente. O Rio Tietê é um dos principais do Estado de São Paulo e por conta da ocupação desordenada da população e o lançamento de esgotos domésticos e industriais sem o devido tratamento, as suas águas encontram-se comprometidas (Garcias; Afonso, 2013).

No estado do Ceará, Barros (2019), ao estudar um trecho urbano do Rio Salgado constatou o comprometimento da quantidade e da qualidade de suas águas, por consequência de atividades como o despejo de resíduos sólidos; a retirada da mata ciliar; a deficiência do saneamento básico da região; interferências da agropecuária; e o crescimento urbano desordenado. Da mesma forma, o trecho compreendido como Rio Salgadinho possui águas de qualidade impróprias à balneabilidade e ao consumo humano, sendo um potencial transmissor de doenças de veiculação hídrica por apresentar elevadas concentrações de coliforme totais e termotolerantes, mas que apesar disso ainda é utilizada para irrigação agrícola (Sabiá, 2008; Nunes et al. 2019).

Dessa forma, a realidade dos rios urbanos, sobretudo dos países menos desenvolvidos, é que esses deixaram de ser locais atrativos e passaram a compor os ambientes degradados, com os seus leitos impactados, fazendo com que as vegetações existentes nessas áreas fossem desmatadas, coibindo a possibilidade da vida selvagem na cidade e de utilização por parte da população urbana. Isso em razão da enorme pressão da urbanização, que reduz a biodiversidade, em paralelo aos efeitos tóxicos da poluição hídrica e do solo, capazes de influenciar inclusive catástrofes ambientais como as inundações e enchentes nas áreas urbanas. Além disso, os serviços ecossistêmicos realizados pelos os rios são dispersados, alterando essas áreas que são de grande valor ecológico.

### 3.3 ASPECTOS LEGAIS - RECURSOS HÍDRICOS E MATAS CILIARES

#### 3.3.1 Legislação Federal - Recursos Hídricos

A relação existente entre os recursos hídricos e as matas ciliares é de interdependência e mútuo benefício, isso enfatiza a necessidade da preservação e restauração dessas, para conferir a garantia da saúde e a sustentabilidade dos ecossistemas. No tocante a legislação brasileira dos recursos hídricos e matas ciliares, estas também se encontram intimamente ligadas, garantindo então a gestão integrada. Dentre as existentes, algumas normas e regulamentos específicos à temática dos recursos hídricos brasileiros que reforçam essa relação, são destacados na Figura 2, a seguir:

Figura 2 - Principais normas e regulamentos que interligam as temáticas de recursos hídricos e matas ciliares do Brasil.



Fonte: Elaboração baseada em Brasil (2023). Elaborada pela autora (2024).

A proteção dos recursos hídricos e sua gestão no território brasileiro, começou a ser tratada no início do século XX, com a Lei N° 3.071, que intitulada como Código Civil de 1916 regulou apenas o direito de uso e fundamentou a proteção da água como um bem de essência privada e de valor econômico limitado (Ferreira et al. 2010). Posteriormente, a Constituição Federal de 1934 especificou o valor econômico da água ao desenvolvimento das indústrias, pois era o setor que dominava na época, através do Código de Águas Brasileiro (Decreto N° 24.643, de 10 de julho de 1934), que estabeleceu sua classificação e utilização compreendendo os usos mais gerais da água, bem como o aproveitamento do potencial hidráulico. Dessa forma, o Código das Águas de 1934 é considerado o primeiro marco que abriu espaço para o estabelecimento de uma política nacional de gestão das águas, por se relacionar com questões econômicas e sociais do país, formulando instrumentos essenciais como: a outorga e cobrança pelo uso da água e licenciamento ambiental (CETESB, 2008). Os princípios e instrumentos desse marco, implicam que o Estado tinha a responsabilidade de proteger e preservar os recursos hídricos, incluindo as áreas de matas ciliares.

Até então, a quantidade de água era a principal preocupação por parte do governo. A abordagem dos aspectos relacionados à qualidade pelos líderes dos estados, só começou a ser pautada através do surgimento do conceito de poluição. Em 31 de agosto de 1981 foi instituída a Lei N° 6.938 denominada de Política Nacional de Meio Ambiente, a qual criou o Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA, um conjunto de órgãos públicos que integrava as políticas públicas de proteção ambiental na esfera federal, porém sem excluir as esferas estaduais e municipais, conferindo-lhes autonomia para atuar em suas regiões específicas (BRASIL, 1981). O SISNAMA é considerado um sistema porque todos os órgãos atuam sob os mesmos princípios e diretrizes para alcançar o mesmo objetivo de defesa e equilíbrio do meio ambiente.

No ano de 1997, o governo federal estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, através da Lei N° 9.433/1997, a qual, através dos seus fundamentos, define que a água é um bem de domínio público, sendo um recurso limitado, que possui valor econômico, devendo a gestão dos recursos hídricos ser descentralizada e proporcionar o uso múltiplo das águas. Uma prerrogativa importantíssima para a região do semiárido foi colocada na PNRH, onde definiu que o uso primordial dos recursos hídricos é o abastecimento humano e a dessedentação de animais em cenários de escassez. Esse fundamento foi inserido objetivando a prevenção e a defesa da população contra eventos hidrológicos críticos advindos do uso errôneo dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

A PNRH também define a estrutura de órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, através do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH, que tem como integrantes: O Conselho Nacional de Recursos Hídricos; a Agência Nacional de Águas; os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os Comitês de Bacia Hidrográfica; os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais; e as Agências de Água (BRASIL, 1997). Além disso, o SINGREH se destaca justamente pela integração e criação dos Comitês de Bacia Hidrográficas (CBH), que são instâncias descentralizadas e participativas de discussão e deliberação e dentre as suas responsabilidades, está a de elaborar e implementar os planos de bacia, nos quais são definidas medidas para a proteção e a recuperação das matas ciliares.

Dentro dos objetivos da PNMA, destaca-se o órgão consultivo e deliberativo denominado de Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), o qual estabelece normas, critérios e padrões relacionados ao controle e à manutenção do meio ambiente, sobretudo os hídricos (BRASIL, 1981), através das suas resoluções. A mais específica no tocante a temática

dos recursos hídricos e matas ciliares, é a de N° 303/2002, que estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de empreendimentos que utilizam recursos hídricos, incluindo a obrigatoriedade de proteção das matas ciliares e a recomposição das áreas degradadas.

Em 2007 foi instituída a Lei N° 11.445, nomeada de Lei Federal do Saneamento Básico, que vem abordando o conjunto de serviços de abastecimento público de água potável. A lei versa que a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos são considerados serviços públicos, por ter interação com as áreas dos recursos hídricos, saúde, meio ambiente e desenvolvimento urbano. Em consonância, outra legislação importante na temática de saneamento no Brasil foi o novo marco do saneamento básico no Brasil, sancionado em 15 de julho de 2020, que compõe a Lei nº 14.026/2020 e tem como o objetivo a universalização e qualificação da prestação desse serviço. O marco prevê a ampliação da rede de fornecimento de água potável e de coleta de esgoto pelo país até 2033, em índices próximos a 100%. (BRASIL, 2020). Embora essas leis não tratem diretamente das matas ciliares, é notório que as suas implementações implicarão, de forma relevante, para a gestão integrada dos recursos hídricos.

### **3.3.2 Legislação Federal - Matas ciliares**

A criação de espaços florestais protegidos, como as áreas de preservação permanente (APP's) e as reservas legais, desde sempre são alvos de estudos e debates sociais. A definição de áreas protegidas para a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN, 2019) se resume em um espaço com limites geográficos delimitados e reconhecidos em lei, e objetiva a conservação da natureza, de forma que ocorra a manutenção contínua da diversidade biológica da localidade para as gerações presente e futura, respeitando seus valores culturais através de uma gestão e um planejamento eficaz. A importância da criação desses espaços protegidos nos termos da lei é indispensável para assegurar a eficácia da determinação constitucional e a garantia do equilíbrio ecológico.

Assim, muitas áreas já são protegidas através de instrumentos legais no Brasil, como: o Patrimônio Nacional; a Floresta Amazônica; a Mata Atlântica; as Áreas de Preservação Permanente; as Unidades de Conservação (UC), e outras. Em relação às áreas de matas ciliares brasileiras, a Figura 3 destaca algumas normas e regulamentos existentes.

Figura 3 - Principais normas e regulamentos relacionados à proteção de áreas ambientais do Brasil.



Fonte: Elaboração baseada em Brasil (2023). Elaborada pela autora (2024).

A preocupação por esse tema no Brasil, teve início no período colonial e o primeiro Código Florestal Brasileiro referente à conservação das áreas representativas dos ecossistemas naturais do país foi estabelecido pelo Decreto n° 23.793/1934, o qual apresentava algumas características consideradas conservadoras, como o estabelecimento do uso da propriedade em função do tipo florestal presente, definindo categorias como as de florestas protetoras e de rendimento (Borges et al. 2011). Impulsionada, principalmente, para conter os impactos da grande expansão cafeeira, a legislação relata que cada propriedade rural mantivesse 25% de sua área com presença de vegetação nativa, mesmo que essa não fosse especificada pela lei.

Logo após, surge em 1965 o segundo Código Florestal Brasileiro, representado pela Lei n° 4.771, que revogou por completo o primeiro e nasceu da necessidade de aumentar a proteção dos recursos naturais, principalmente devido à ampliação das áreas agropecuárias (BRASIL, 1965). Essa lei também fomentou o termo APP, como uma área protegida em local de elevada relevância ou fragilidade ambiental, e as caracterizou. É trazido também na legislação a possibilidade do acesso de pessoas ou animais para obtenção de água.

Na Constituição Federal de 1988, conjunto de normas reguladoras que versa sobre o jurídico de um país, apesar de não dispor diretamente sobre as áreas de matas ciliares, observa-se o capítulo 225 que é exclusivo ao Meio Ambiente onde enfatiza que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, cap. VI, 1988).

Posto isto, a lei voltada de forma mais direta para a proteção das matas ciliares é denominada de Código Florestal e teve sua primeira versão criada em 15 de setembro de 1965 (Lei nº 4.771), (BRASIL, 1965), a qual passou por modificações/atualizações, no ano de 2012, sendo agora reconhecida como “Novo Código Florestal” (LEI Nº 12.651). De acordo com o Código Florestal, as matas ciliares são configuradas como Áreas de Preservação Permanente, e recebe a seguinte definição:

Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

As APP's podem ser encontradas em áreas públicas ou privadas e o Código Florestal estabelece duas principais categorias para a definição de parâmetros de faixa de proteção da vegetação a ser preservada, a fim de que essas possam desempenhar todas as suas funções ecológicas. As categorias são: As de corpos hídricos (Figura 4) e as demais consideradas zonas de proteção.

Figura 4 - Delimitação de APP's a ser preservada nas margens dos rios de acordo com o Código Florestal.



Fonte: Elaboração baseada em Brasil (2012, cap. II). Elaborada pela autora (2024).

As Áreas de Preservação Permanente consideradas como zona de proteção, são aquelas com maior fragilidade, e são exemplificadas pela legislação como: as encostas com declividade superior a 45°; as restingas; os manguezais; as bordas dos tabuleiros ou chapadas; os topos de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 metros e inclinação média maior que 25°; e as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros (BRASIL, 2012).

É importante comentar sobre a Lei 14285/21, que vem alterar alguns tópicos do Código Florestal Brasileiro, sobretudo nas áreas de áreas de preservação permanentes na zona urbana. Em resumo, a alteração permite a regularização de edifícios às margens de cursos e corpos d'água em áreas urbanas, dando poderes à esfera municipal, adequando as construções já instaladas. Porém a nova lei traz algumas normas a serem cumpridas, como a consolidação da área em perímetro urbano, está organizada em quadras e lotes tendo assim uma infraestrutura bem implantada, e não estar inserida em áreas de risco de desastres, além de observar as diretrizes do plano de recursos hídricos, do plano de bacia, do plano de drenagem ou do plano de saneamento básico, caso exista (Agência Senado, 2021).

### 3.4 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA

O conhecimento do comportamento da qualidade e quantidade de água em corpos hídricos é essencial para o planejamento de uso, manejo e controle de uma bacia hidrográfica, visto que esse monitoramento permitirá o controle dos impactos ambientais negativos, satisfazendo os diversos usuários dos recursos hídricos, (Von Sperling, 2014b).

A qualidade da água de um corpo hídrico pode ser influenciada por diversos fatores dentro de uma bacia hidrográfica, podendo ser de origem natural, como por exemplo o clima, a cobertura vegetal e o tipo, uso e manejo do solo da bacia hidrográfica (Pereira, 1997), a forma e a fragmentação do ambiente urbano (Bu et al. 2014), a topografia, elevação e declive (Hou et al. 2015) impactam significativamente a qualidade da água do rio. Fatores antrópicos também são oportunos, pois são capazes de alterar a superfície da bacia, ocasionar mudanças nos sistemas hídricos (Tucci, 2002), e ocasionar a erosão hídrica. Vanzela et al. (2010) dissertam que a qualidade de água em uma bacia hidrográfica, é reduzida em trechos de áreas habitadas, com presença de agricultura e com matas ciliares desmatadas.

De forma geral, Tundisi et al. (2015) resume que, no Brasil, as principais causas da degradação da qualidade das águas são: o desmatamento, que deteriora a qualidade da água e prejudica a recarga dos aquíferos; a ausência ou ineficiência no tratamento de efluentes; a água proveniente da drenagem superficial, que muitas vezes está repleta de resíduos sólidos; o transporte de sedimentos em suspensão para dentro dos corpos hídricos; a descarga clandestina de águas residuais industriais; o lançamento efluentes da agricultura, contendo pesticidas, herbicidas e fertilizantes; os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs); a manutenção inadequada da rede de dutos e aterros sanitários, que podem contaminar os lençóis freáticos; e a contaminação de áreas de recarga dos aquíferos.

Para caracterizar a qualidade de água dos corpos hídricos, são estabelecidos diversos parâmetros sendo eles físicos (temperatura da água e condutividade elétrica); químicos (Demanda de oxigênio e Frações nitrogenadas); e biológicos (Coliformes Totais e Termotolerantes). Esses parâmetros exercem o papel de integradores das características físico-químicas e biológicas da água e apontam poluição nos recursos hídricos, além de se configurarem como conformes ou não, mediante os valores padrão estabelecidos nas legislações para determinados usos (BRASIL, 2014).

De acordo com Santos et al. 2001, a seleção desses parâmetros vai depender do objetivo e da investigação a ser estudado, devendo considerar os usos previstos para o corpo d'água e as fontes de poluição existentes na bacia hidrográfica. Esses podem inclusive ser escolhidos com

a finalidade de atendimento de legislações, estabelecendo os padrões de qualidade a serem atendidos.

### 3.4.1 Uso de Índices de qualidade de água

Uma das formas de agregação dos dados de monitoramento da qualidade de água é o uso de indicadores, que se tornaram populares justamente por traduzir e identificar as tendências e mudanças na qualidade da água de forma integrada. Estes podem ser classificados como primários, que correspondem a toda e qualquer informação medida *in situ*; os secundários, que são os derivados da conjunção de dois ou mais indicadores primários; e os terciários, obtidos pela associação de indicadores secundário (UNESCO, 1987). É importante que os indicadores devem possuir fatores que justifiquem sua escolha, bem como: simplicidade de aplicação, nível de acessibilidade social, objetividade, flexibilidade, relevância, base técnico-científica, entre outros (Hamilton, 1996).

A escolha dos parâmetros depende do objetivo do estudo, investigação ou projeto, levando-se sempre em consideração, os usos previstos para o corpo d'água e as fontes poluidoras existentes na bacia hidrográfica. Os parâmetros a serem considerados, podem ser selecionados de acordo com as fontes potenciais, e ainda, para atender determinada legislação que estabelece os padrões de qualidade que devem ser atendidos, como, por exemplo, os padrões de qualidade de águas superficiais estabelecidos pela Resolução nº 357/05 CONAMA

Como exemplo desses indicadores, tem-se o Índice de Qualidade de Água (IQA), conhecido como o único número que expressa a qualidade da água por integrar as medições de parâmetros de qualidade de água selecionados, (De Paula Filho, 2014); O Índice de Estado Trófico (IET) da água que classifica corpos d'água em diferentes graus de trofia, e está relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento de infestação de macrófitas aquáticas (Carlson, 1977); e o Índice de Poluição Integrado (IPI) que se norteia nas concentrações padrão de parâmetros de qualidade de águas superficiais. Diante dos resultados, ao observar um valor de IPI menor que um, considera-se a água não poluída. Caso o resultado seja igual a um, a qualidade da água corresponde ao valor padrão; E nos resultados de IPI maiores que um, a água monitorada é considerada poluída (Barbosa et al. 2021), em suma, pode-se conferir que quanto maior o valor do IPI mais degradado está o corpo hídrico.

Rangel Júnior (2022) utilizou-se do IET e IPI em seu estudo que objetivou investigar o efeito sazonal do ciclo hidrológico sobre variáveis limnológicas em sete reservatórios na Sub Bacia do Salgado, construídos para abastecimento humano, ao longo de dois anos. Como

conclusão ele pode inferir sobre a qualidade de água desses reservatórios, identificando que a redução do volume de água aumentou as concentrações de nutrientes nos reservatórios independentemente das transições sazonais, e que a eutrofização aumentou durante chuvas intensas devido ao carregamento de material alóctone da bacia hidrográfica.

### 3.4.2 Microplásticos

Dentre os diversos contaminantes em corpos hídricos, os plásticos estão entre os mais persistentes. Além de reduzirem a penetração de luz e a troca de oxigênio da superfície, muitos se decompõem e são ingeridos por organismos que habitam estes meios, promovendo efeitos tóxicos por toda cadeia trófica (Di Benedetto; Awabdi, 2014). Também chamados de polímeros plásticos, estes podem ser de origem natural exemplificados pelo algodão, látex e seda, e de origem sintética como o PP (polietileno de baixa densidade), PVC (Policloreto de vinila) e PET (tereftalato de polietileno) (Cirin et al. 2017).

Com a intenção de melhorar as propriedades funcionais dos plásticos, estes podem receber uma variedade de aditivos químicos, como lubrificantes, antioxidantes e estabilizadores térmicos, os quais contêm metais e moléculas orgânicas altamente nocivas à saúde e ao meio ambiente, uma vez que não são biodegradáveis (Capolupo, 2020).

Os microplásticos correspondem a uma classe diversificada e importante de partículas que variam em termos de morfologia, origem, densidade e cor (Stark, 2019) sendo segundo Goh *et al.* (2022) um desafio inicial para a eliminação desse poluente. Através das variáveis de classificação, pode-se inferir na forma de ingestão da biota (Fu et al. 2020). A presença de pequenos plásticos no ambiente marinho foi relatada pela primeira vez no meio científico no início da década de 70. Thompson et al. (2004) empregou pela primeira vez o termo microplásticos (MPs) para definir as partículas de plástico de tamanho inferior a 5 milímetros. Atualmente, Frias e Nash (2019) classificam MPs na faixa de tamanho de 1  $\mu$  e 5 mm.

Os MPs são classificados em primários e secundários (Souza, 2020; Silva et al. 2021), onde os primários são aqueles fabricados para fins específicos, e introduzidos propositalmente em produtos como microesferas em esfoliantes e glitters e os secundários são partículas derivadas da fragmentação de plásticos maiores (Montagner et al. 2011).

Quando dispersos nos corpos aquáticos, os microplásticos podem ocasionar prejuízos diretos e indiretos aos organismos. A relação biota x microplásticos provoca a interrupção alimentar, alterações no desempenho reprodutivo, perturbações no metabolismo e alterações fisiológicas (Anbumani; Kakkar, 2018), além de que o contato com essas partículas expõe os

seres a outros poluentes como os metais (Gopinath et al. 2020) e antibióticos. Sustentando a importância da temática sobretudo para os corpos hídricos, Estudos referentes à presença e a influência e impactos dos microplásticos no ambiente são em sua maioria realizados em ambientes aquáticos, sobretudo em rios (Ding et al. 2019; Lin et al. 2018), lagos (Free et al. 2014), em geleiras (Cabrera et al. 2020) e em mares (Baptista Neto et al. 2019). Ademais, os mesmos também podem contaminar e afetar diretamente os seres que vivem no solo, confluindo para uma redução da atividade microbiana do habitat e diminuição da sua biodiversidade (Kong et al. 2018).

De acordo com Dikareva e Simon (2019), nos pequenos córregos urbanos também existem concentrações de microplásticos similares ou superiores aos grandes rios, sendo oriundos de fontes de poluição e transportes de materiais por processos hidrológicos (Luo et al. 2019). Assim, os pequenos cursos d'água são mais afetados pela poluição, pois são a principal fonte de entrada deste poluente nos recursos hídricos.

Em relação às fontes que contribuem para a presença de microplásticos em ambientes de água doce essas são diversas, pelo escoamento de águas pluviais, descarte inadequado de embalagens, lixiviação de resíduos de aterros, lixões depósitos de áreas agrícolas (Zhang et al. 2020), a lavagem de roupas sintéticas, uso de materiais plásticos em atividades pesqueiras, aporte de microfibras e microesferas no esgoto e entrada na Estação de Tratamento de Esgoto (Montagner et al. 2021), desintegração de folhas de polietileno agrícola (Caixeta et al. 2018), despejo irregular de lixo, (Wagner et al. 2014; Barbosa, 2018), dentre outros.

Os MPs podem ser ingeridos por espécies aquáticas de todos os níveis tróficos (Huang et al. 2021), mas a magnitude dos impactos difere por conta de fatores como habitats. Em suma, pode gerar efeitos toxicológicos, obstrução do trato intestinal, lesões, estresse oxidativo nas células, servem como substratos para microorganismos patogênicos, além de serem capazes de adsorver e absorver metais e poluentes (Mao et al. 2018; Klein et al. 2018; Hahladakis et al. 2018). Os microplásticos apresentam também riscos de contaminação à saúde humana, como o aumento da probabilidade de doenças respiratórias e cardiovasculares, bem como câncer pulmonar, em casos de maior concentração. As partículas podem entrar no corpo humano através de mecanismos de ingestão, contato via derme e inalação (Emenike et al. 2023).

Países, como os Estados Unidos e Reino Unido e Nova Zelândia, já adotaram medidas para banir produtos com micropartículas plásticas (Conkle et al. 2017), como a proibição da fabricação, acondicionamento e o enxágue de produtos cosméticos que contenham microplásticos e microesferas dos cosméticos, produtos automotivos e industriais (FDA, 2017).

Em seguimento, a legislação brasileira criou em 2016 o projeto de Lei n.º 6.528-A, que objetiva a proibição da manipulação, a fabricação, a importação e a comercialização, em todo o território nacional, de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumaria que contenham a adição intencional de microesferas de plástico.

A redução na liberação de microplásticos no ambiente necessita de um controle eficiente, podendo ser realizada através da intervenção das fontes diversas e nos sumidouros dessas partículas (Vaid et al. 2021). Segundo Rossato et al. (2023) é necessário a criação de uma legislação que estabeleça limites para a produção de produtos plásticos, assim como medidas que possibilitem meios onde o plástico não seja usado como primeira opção de matéria-prima para os produtos. Soares et al. (2021) destaca que é necessária uma legislação que seja eficiente em relação ao despejo de MPs nos corpos hídricos e no solo, considerando as consequências nocivas desse tipo de resíduo, os mesmos ressaltam as preocupações acerca da ingestão dessas partículas por seres humanos, tornando-a uma preocupação tão grande quanto à questão ambiental que os envolve. Existe ainda a necessidade de estabelecerem limites máximos para a concentração de MPs por área e/ou volume, conforme suas características físico-químicas, como tamanho, forma e composição química (Rossato et al. 2023).

### 3.5 SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS REFERENTES ÀS MATAS CILIARES E RECURSOS HÍDRICOS

Atualmente as tecnologias espaciais estão se sobressaindo, sendo o seu armazenamento de dados feito por meio computacional e possibilitando um aumento de produtividade e possibilidades nas diversas áreas de estudos. Em razão disso, há o surgimento das geotecnologias que são entendidas por um conjunto de tecnologias para coleta, armazenamento, edição, processamento, análise e disponibilização de dados e informações com referência espacial geográfica, compostas por soluções em hardware, software, peopleware e dataware (Zaidan, 2017).

Dentro das geotecnologias, destaca-se o conceito de geoprocessamento, onde esse se baseia na transformação do espaço realístico em um espaço matemático, através do ambiente computacional, por meio da coleta desses dados espaciais e a construção de novos sistemas (Rosa, 2013). Os estudos ambientados em geotecnologias podem constituir respostas com alto grau de confiabilidade, sendo consideradas para Castro e Watrin (2013), importantes ferramentas na identificação de deteriorações ambientais, por oportunizar análises complexas

através da integração de informações de diferentes fontes, facilitando a observação e o monitoramento de maneira sistemática, ou seja, em grandes áreas.

Esse processamento e criação de novos dados são as atividades de geoprocessamento que se baseiam em sistemas automatizados de dados cartográficos que especifica a coordenada no globo terrestre, os chamados Sistema de Informações Geográficas (SIGs) (Silva, 2023). As aplicações dos chamados Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) associados ao meio ambiente são em exemplo: identificação, adequação e compatibilidade do uso e ocupação do solo; o diagnóstico e monitoramento dos ecossistemas; estudos de gestão de recursos naturais e hídricos; levantamento de impactos ambientais; mapeamento sistemático, gestão e planejamento de áreas protegidas. As ferramentas mais utilizadas do SIG's são a produção de mapas e de bancos de dados geográficos.

Outra importante ferramenta do geoprocessamento é o Sensoriamento Remoto que conta com a tecnologia dos satélites de recursos naturais, lançados inicialmente na década de 70. As imagens orbitais geradas pelos satélites em operação podem ser obtidas em diversas faixas do espectro eletromagnético, sendo consideradas imagens multiespectrais. Luchiari et al. (2005) explica que as faixas do espectro compreendem parte do ultravioleta, estendendo-se até o infravermelho termal, passando pelo visível, pelo infravermelho próximo e médio. Alguns sensores também permitem o imageamento na faixa das microondas.

É válido salientar que ao atingir a superfície terrestre, a radiação solar interage de modo diferente com cada tipo de alvo. Esta interação de forma divergente é determinada principalmente pelas diversas composições físico-químicas dos objetos, fazendo com que cada alvo terrestre tenha sua própria assinatura espectral. Ou seja, a vegetação e a água, são elementos que refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características físico-químicas e que facilitam a captação dos sensores. Dessa forma, os sistemas sensores instalados nos satélites são sensíveis a estas diferenças, que as registram em diversas formas de imagens.

O uso do sensoriamento remoto vem sendo muito aplicado para o monitoramento de cobertura da vegetação, por conta da vantagem do seu uso em possibilitar o monitoramento de grandes áreas sem a necessidade de contato direto, permitindo desenvolvimento de estudos estruturados, como por exemplo aqueles que relatam a importância da mata ciliar para os ecossistemas e a atual situação de uso antrópico inclusive em Áreas de Preservação Permanente (APP's).

Na análise do comportamento espectral dos corpos hídricos, tem-se a interferência dos organismos vivos, das partículas orgânicas e inorgânicas, entre outras. No geral, a água apresenta baixa reflectância e alta absorbância no entanto, sua reflectância é mais elevada no comprimento de onda do visível (Azul: 0,45  $\mu\text{m}$  -0,49  $\mu\text{m}$ : Verde: 0,49  $\mu\text{m}$  -0,58  $\mu\text{m}$ ) (Borges et al. 2019). Figueiredo (2005) disserta que a água limpa absorve mais a luz que água suja e ao longo do espectro, a água vai diminuindo a reflectância na medida em que se desloca para comprimentos de ondas maiores.

Atualmente existem diversos estudos que abordam a utilização de parâmetros biofísicos para a análise de diferentes usos e ocupação do solo, que utiliza-se das técnicas de processamentos de imagens obtidas por Sensoriamento Remoto pelos índices de vegetação (IVs). Dentre os índices relacionados a essas vertentes, o NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation), elaborado por Rouse (1974), utiliza a faixa do infravermelho-próximo e a faixa do vermelho. É o mais utilizado e permite a detecção de mudanças sazonais e anuais no desenvolvimento e atividades da vegetação, possibilitando o perfil temporal de crescimento e pico de verde, ou seja, se caracteriza como um indicativo da vegetação fotossinteticamente ativa (Zhou et al. 2020). Os valores de NDVI variam de -1 a +1 e para alvos terrestres, sendo que quanto mais alto ou próximo de +1, maior é a atividade fotossintética da vegetação (Ponzoni et al. 2012).

Outro índice muito utilizado é o NDWI - Índice de Água por Diferença Normalizada (Normalized Difference Water Index), também conhecido como índice de umidade, que foi proposto por Gao (1996), para mapear os corpos hídricos superficiais, enfatizando a presença das águas em imagem conseguida através do sensoriamento remoto. Para isto, este índice utiliza a relação entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio. O NDWI gera uma imagem, cujos valores dos pixels variam de -1 a 1, sendo que todos os pixels com valor igual ou menor que zero não são água ( $\text{NDWI} \leq 0$ ), e todos os pixels que possuírem valor maior que 0 são água ( $\text{NDWI} > 0$ ). Assim, na imagem gerada pelo NDWI, os corpos d'água são evidenciados, conferindo maior valor de brilho, enquanto as feições de solo e vegetação são minimizadas (Gil et al. 2019). O NDWI é muito utilizado para monitorar o estresse hídrico em ambientes semiáridos, e permitir a detecção mais precisa da alteração da biomassa vegetal no que concerne à quantidade de água em culturas agrícolas, por conta do estresse hídrico presente.

São muitos os estudos que utilizam do sensoriamento remoto e aplicação dos índices para avaliação de condições ambientais. No âmbito internacional, Tania et al. (2021), avaliou a quantidade e qualidade da água, o uso e cobertura da terra e a temperatura da superfície terrestre

do rio Turag, um importante rio de Bangladesh. Eishoei et al. (2022), com o objetivo de identificar e monitorar as regiões de matas ciliares na bacia de Gorganroud - Irã, utilizou de mapas de uso do solo das áreas do Landsat 8 com a aplicação dos índices NDVI e NDWI.

No Brasil, uma associação entre a Fundação SOS Mata Atlântica e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), iniciou em 1990 o primeiro estudo e produção de diagnósticos, através da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, da evolução do desmatamento com foco no bioma Mata Atlântica. No último Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica disponível, referente ao ano de 2018 e 2019, observou-se que a taxa de desflorestamento foi de 13.053 ha, 9% menor que a do período 2018-2019. Além disso, os estados de Minas Gerais, Bahia, Paraná, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul acumulam 91% do desflorestamento. Enquanto que Alagoas, Ceará, Goiás, Pernambuco e Rio Grande do Norte tiveram desflorestamento menor que 50 ha e se aproximam do desmatamento zero (INPE, 2021).

A Agência Nacional de Águas- ANA também realiza estudos adotando a ferramenta de sensoriamento remoto. Em 2020 ela divulgou o estudo Estimativas de Evapotranspiração Real por Sensoriamento Remoto no Brasil, que objetivou o conhecimento das estimativas de uso da água em bacias hidrográficas com grandes áreas irrigadas e com especial importância para a gestão de recursos hídricos. Por meio do modelo utilizado foi possível estimar o volume de água evapotranspirado (ANA, 2020). Esse estudo se torna de extrema relevância no tocante à gestão de recursos hídricos, pois os dados detalhados obtidos subsidiam tomadas de decisão para compatibilizar os usos múltiplos da água e para as estimativas de riscos dos setores usuários contribuindo para a segurança hídrica da atividade produtiva e dos demais usos.

Em suma, o sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta promissora nas aplicações ambientais e suas técnicas são essenciais para fazer o mapeamento e monitoramento dos recursos naturais. O uso dos índices aplicados em conjunto com dados agrometeorológicos são capazes de melhorar o manejo de água em diferentes escalas espaciais e temporais, podendo-se monitorar o impacto causado pela atividade agrícola intensiva sobre as condições ambientais. Ademais, os dois índices supracitados quando analisados em conjunto, permitem mapear grandes áreas e fazer a correlação da quantidade de água associada a cada tipo de vegetação, bem como alterações no uso e degradação na cobertura vegetal, inclusive nas áreas de preservação permanentes.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estado do Ceará é atualmente subdividido em 12 bacias hidrográficas. Dentre elas, destaca-se a sub-bacia do rio Salgado, localizada na porção sul do território cearense. De acordo com dados da Secretaria de Recursos Hídricos (Ceará, 2018), essa sub-bacia compreende 23 municípios, entre os quais se incluem Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha. Apresenta uma área de drenagem de 12.865 km<sup>2</sup> e uma extensão aproximada de 308 km, correspondendo a 8,25% da área total do estado.

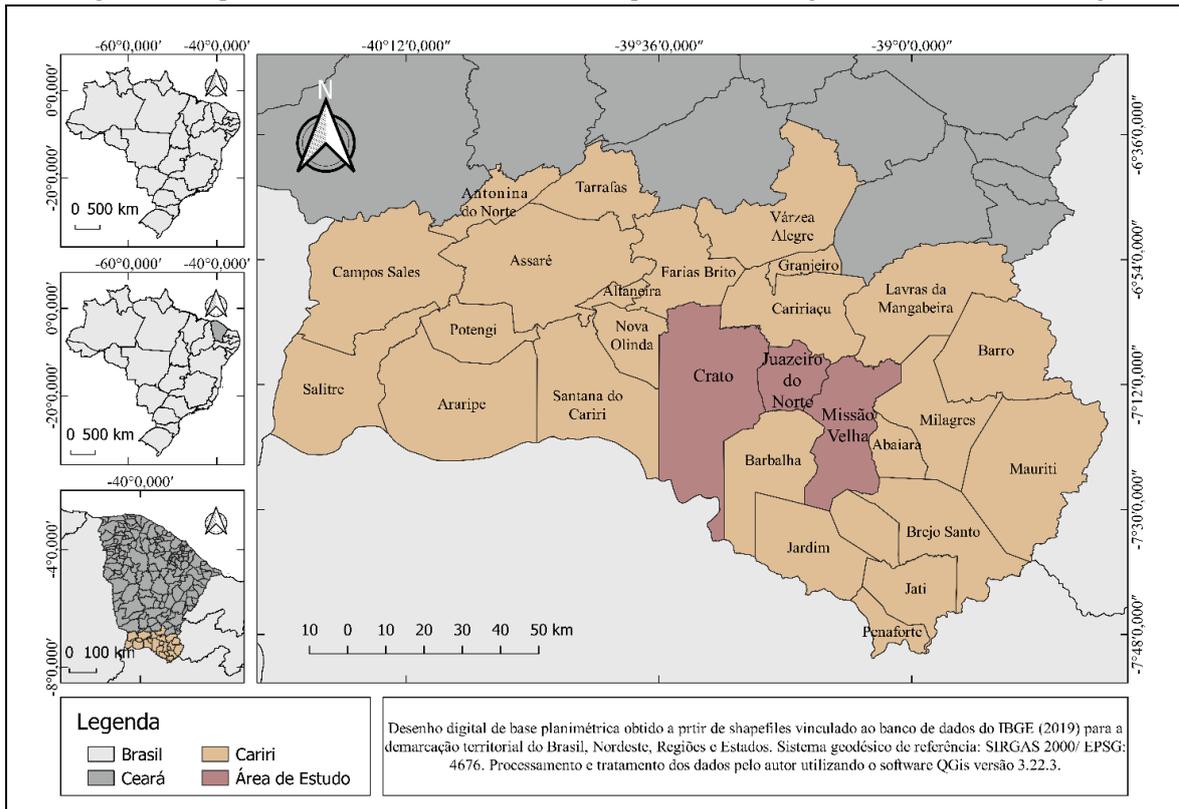
A Bacia Sedimentar do Araripe, pertencente à Sub Bacia do Salgado, se destaca por possuir os melhores aquíferos do estado, e abastece hidricamente a maior parte dos municípios do seu entorno via poços. Considerando a dimensão, a diversidade física, biótica e socioeconômica, e visando facilitar os estudos, os processos de organização dos usuários e a gestão das suas águas, a Bacia do Salgado ainda é subdividida em 5 microbacias. A microbacia 3 ocupa uma área de 479,8 km<sup>2</sup> e compreende as cidades de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Jardim e Caririaçu em um trecho de aproximadamente 50 km (Silva; Costa, 2021). Para a presente pesquisa, foi definido o trecho urbano referente aos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e início da zona rural de Missão Velha (Figura 5), uma vez que esses são os principais municípios da região e que conferem maior aporte antrópico ao rio, intensificando sua deterioração.

Esta região hidrográfica compreende as águas drenadas pelo Rio Salgado, sendo o principal afluente da margem direita do rio Jaguaribe (Silva, 2019). O Rio Salgado tem origem da junção de dois afluentes, os Rios Grangeiro e Batateiras, cujo nascimento ocorre no sopé da Chapada do Araripe, em Crato-CE. Logo após esse encontro, na entrada da cidade do Crato, o rio é canalizado e começa a receber o lançamento de efluentes domésticos sem tratamento, além de sofrer com a ocupação desordenada. Ao chegar no município de Juazeiro do Norte, recebe o nome de Rio Salgadinho, que conta com contribuições dos afluentes Riacho dos Macacos e Rio Carás. Nesse trecho o Rio Salgadinho recebe contribuições de frigoríficos, curtumes, ourivesarias, além dos efluentes tratados do município. Atualmente, Juazeiro do Norte possui cinco Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), que juntas somam uma vazão de 260,77 L.s<sup>-1</sup> (Freire, 2017).

A ETE-Malvas, estação de tratamento mais antiga da cidade, é administrada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) e possui um sistema de tratamento de lagoas

de estabilização com capacidade para tratar os esgotos de 66% das residências do município, mas apenas 16% encontram-se ligadas ao sistema. O Rio segue seu curso em direção ao município de Missão Velha, onde atinge com a Cachoeira da cidade, um dos principais geossítios do Geopark Araripe, e recebe a contribuição do Rio Salamanca (Sabiá, 2008), seguindo seu curso como Rio Salgado (na Bacia do Salgado).

Figura 5 - Mapa de localidade destacando os municípios da microrregião 3 da Sub Bacia do Salgado.



Fonte: Elaboração da autora (2025).

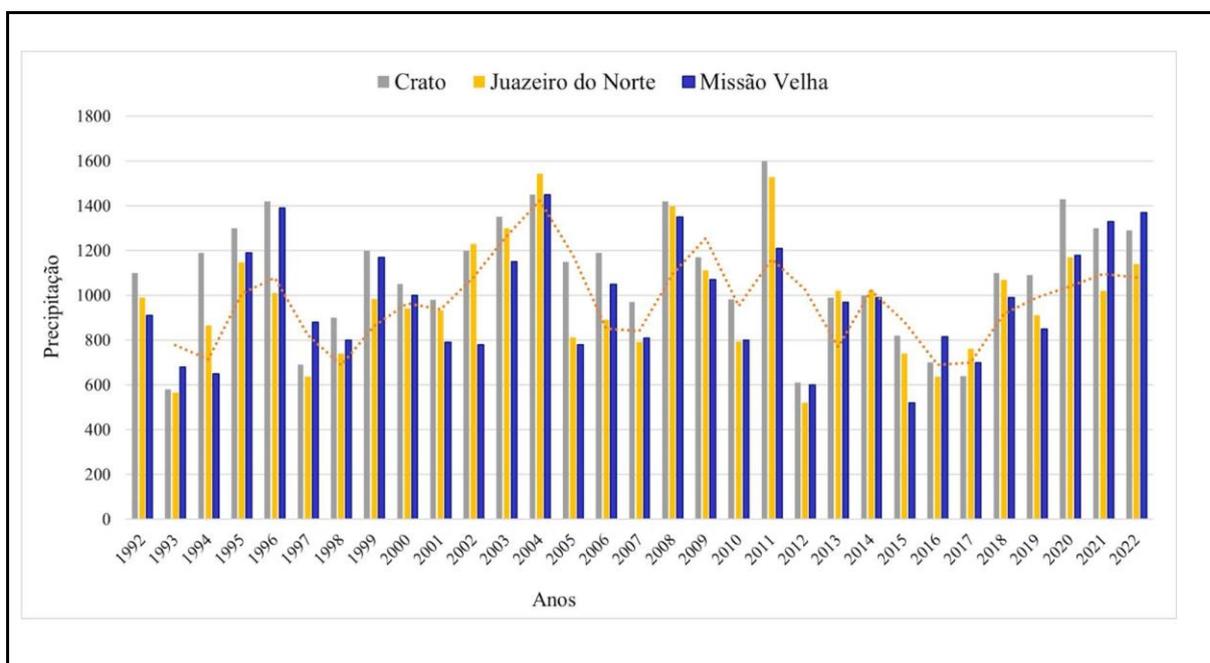
#### 4.1.1 Aspectos Climáticos

A região Nordeste do Brasil conta com 85% dos seus estados caracterizados como região semiárida, sendo o Ceará o estado que possui a maior parte de seu território com esse perfil (ASA, 2023). Os municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha localizam-se ao sul do estado do Ceará, e estão inseridos na microrregião do Cariri cearense. Apresentam o clima tropical quente semiárido onde a incidência elevada de radiação solar é favorecida, resultando em temperaturas entre 24 e 26°C de acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) (2006), baixas precipitações médias anuais e distribuição irregular durante o ano. As médias das temperaturas máximas na região hidrográfica do Salgado, registram-se nos meses de setembro a dezembro, com a média das máximas atingindo 35,1°C

nos últimos 30 anos e as temperaturas mínimas sendo registradas entre os meses de junho a agosto, com a média das temperaturas mínimas atingindo 19,7°C (Ceará, 2018).

O regime de precipitações nos municípios é marcado por dois períodos distintos, o chuvoso, responsável por aproximadamente 70% das chuvas no ano e o seco correspondente aos meses de junho a outubro (Figura 6). Ocorre ainda a chamada pré-estação chuvosa, vindo a ser notada pelas chuvas entre novembro e janeiro (Ramires et al. 2017).

Figura 6 - Série histórica de distribuição pluviométrica anual dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha nos anos de 1992 a 2022.



Fonte: Adaptado de Funceme (2023). Elaboração da autora.

De acordo com Ribeiro et al. (2015), as chuvas que ocorrem nas localidades situadas próxima a chapada do Araripe, região em que a área de estudo se insere, são eventos pluviométricos ocasionadas pelos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), pela atuação das frentes frias e as frentes de leste e, principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Além desses fatores, a precipitação em Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha é influenciada por chuvas orográficas, uma vez que a Chapada do Araripe atua como bloqueio natural da umidade advinda do litoral, propiciando a precipitação na área.

#### 4.1.2 Hidrologia

A hidrologia da região apresenta aspectos relevantes, conforme aponta a FUNCEME (2006), que a caracteriza como uma drenagem aberta, exorréica e dotada de rios intermitentes sazonais. Nos anos de seca a drenagem tem um funcionamento esporádico sobretudo nas áreas mais afetadas pela escassez e irregularidade das chuvas. E na época de chuvas ocorre uma superalimentação dos principais cursos d'água, ocasionando episódios de inundações mesmo em uma região semiárida.

Os recursos hídricos da região sul do estado do Ceará dependem diretamente das influências morfoestruturais e climáticas (Almeida et al. 2022). Nos sertões a rede de drenagem é muito ramificada e alguns rios possuem controle estrutural. O potencial hidrológico dessa região se concentra nas áreas de abrangência da Bacia Sedimentar do Araripe e do seu entorno.

A chapada do Araripe possui rochas sedimentares altamente permeáveis, o que limita o escoamento superficial e favorece a elevada percolação de água para alimentar os aquíferos. A porção da Chapada correspondente ao estado do Ceará recebe maior aporte subsuperficial de água devido à suave inclinação desta na direção norte-nordeste, causada por basculamentos estruturais de ordem tectônica (Sousa et al. 2020), permitindo o afloramento de nascentes de contato nos municípios da região do Cariri Cearense. Segundo dados quantitativos da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) (2020), o município de Crato apresenta a maior quantidade de nascentes na região com 93 nascentes, o que representa um grande potencial hidrogeológico e hidrogeomorfológico. Destas, 45 estão localizadas na zona urbana ou periurbana do município, e pelo menos 10 sofrem com o processo de urbanização (Silva et al. 2023).

Dessa forma, a região não sofre com a escassez hídrica pela falta de rios, pois é compensada pelas águas subterrâneas que surgem nas bordas da Chapada (Funceme, 2006). O aquífero Exu, localizado no topo da Chapada do Araripe, apresenta como principal limitação a significativa espessura das formações rochosas que o compõem, alcançando, em média, aproximadamente 300 metros. Seus exutórios estão situados nas superfícies planas da chapada, onde ocorrem as principais descargas naturais do sistema aquífero.

Atualmente, a sub bacia do salgado apresenta uma capacidade de acumulação de águas superficiais de 447,41 milhões de m<sup>3</sup>, possui mais de 1700 açudes, sendo um total de 15 açudes públicos e gerenciados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (CBHS, 2019).

A região possui ainda 11 reservatórios de médio porte contendo capacidades entre 10 e 75 milhões de m<sup>3</sup> (exemplificado pelo o reservatório de Lima Campos situado na cidade de Icó com 51.173.962m<sup>3</sup>) e quatro açudes de pequeno porte com capacidade menor que 10 milhões de m<sup>3</sup> (exemplificado pelo o reservatório Junco situado na cidade de Granjeiro e tem 2.030.000 m<sup>3</sup>) (Ceará, 2018).

#### **4.1.3 Aspectos Geomorfológicos e Geológicos**

Na região do Cariri, onde localiza-se os municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha, há presença de feições geomorfológicas de depressões sertanejas (Bastos, 2017), intermontanas e de maciços residuais com altitudes que variam entre 600m a 700m (Ribeiro *et al.* 2015).

Contudo o que marca o contexto geológico e geomorfológico regional é a bacia sedimentar do Araripe. Considerada a maior bacia do interior do Nordeste brasileiro, é uma das mais importantes e complexas bacias sedimentares fanerozóicas do Brasil dotada de uma superfície aflorante de 9.000 km<sup>2</sup> (Chagas, 2006), onde suas camadas sedimentares estruturam-se em sequências deposicionais do período pré-cambriano.

A bacia sedimentar do Araripe localiza-se no sertão nordestino e integra os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco, possuindo 11.000 km<sup>2</sup> de extensão (CPRM, 2005). Do ponto de vista litoestratigráfico, a camada de base da bacia do Araripe é a Formação Cariri sobreposta pelas formações Juro-Neocominanas do grupo Vale do Cariri e sobrepostas pelos Grupos Santana e Araripe (Píneo *et al.* 2020). Essa, além de possibilitar a existência de uma complexa diversidade geológica, é um dos fatores que permite que neste território também venham a surgir a chapada do Araripe e o vale do Cariri, caracterizados geomorfologicamente como chapada e depressão sertaneja.

A Chapada do Araripe, também denominada de planalto do Araripe, ocupa 73% da Bacia Sedimentar do Araripe e se constitui como uma grande estrutura geomorfológica que atinge extensões acima de 900m. É considerada um divisor de águas de bacias importantes para o nordeste brasileiro, sendo elas a bacia do Jaguaribe, do São Francisco e de Parnaíba. Suas camadas sedimentares baseiam-se nas litologias da Formação Exu, com rochas conglomeráticas, arenitos médios a grossos de cor avermelhada, as rochas do Grupo Santana, constituídas em geral por gipsitas, folhelhos betuminosos, conglomerados e arenitos finos a médios e argilosos (Pinéo, 2020).

O vale do Cariri apresenta altitudes que variam entre 400 a 500m e tendo sua base litológica formada pelas rochas das Formação Barbalha, Brejo Santo e Cariri/Mauriti. A organização da sua litoestratigrafia se dá com uma sequência de deposições discordantes de origem fluvial, lacustre, marinha e fluvial novamente, erguidas a partir de movimentos tectônicos de escala regional (Guerra et al. 2020).

Logo torna-se importante salientar que a chapada do Araripe, compostas por rochas sedimentares, cristalinas e depósitos aluvionares, proporcionam a formação de um grupo de aquíferos de escala regional que dão origem a vários exutórios naturais nas suas áreas de encostas (Silva, 2022). Esse contexto possibilita que a zona subsuperficial da bacia do Araripe tenha as melhores reservas hídricas subterrâneas do estado do Ceará, responsáveis por abastecer os municípios do seu entorno (Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha) e que por isso se tornou importante pólo populacional e agrícola no sul do Ceará.

#### **4.1.4 Aspectos Socioeconômicos e Uso do Solo.**

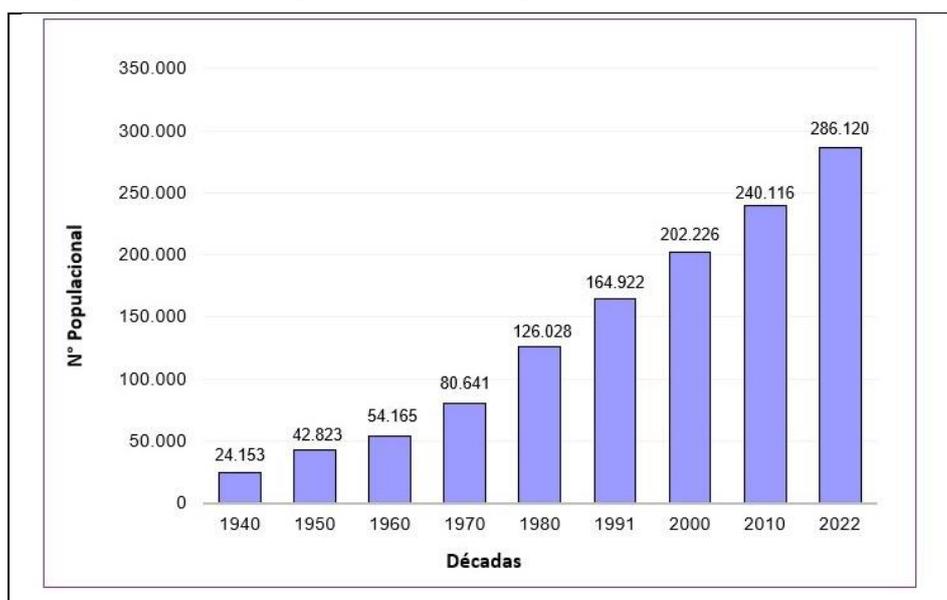
Os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha que compreende a área de estudo da pesquisa, estão localizados na Microrregião do Cariri cearense, extremo sul do Estado do Ceará, e apresenta coordenadas geográficas 7° 14' 03" Sul - 39° 24' 34" Oeste; 7° 14' 14" Sul - 39° 19' 20" Oeste; e 7° 14' 59" Sul - 39° 08' 35" Oeste, respectivamente. O acesso à região se dá a partir de duas rodovias estaduais que cortam a cidade, sendo, a CE-060 no sentido Caririáçu, e a CE-292, no sentido Crato.

Em relação à densidade demográfica, de acordo com o último Censo Demográfico do IBGE, em 2022, foi constatado que o município do Crato abrangia uma área territorial de 1.138,150 km<sup>2</sup> e possuía uma população de 131.050 habitantes, com uma taxa de urbanização de 31,21 km<sup>2</sup> e uma densidade demográfica de 115,4 hab/km<sup>2</sup>. Já o município de Juazeiro do Norte abrangia uma área territorial de 258,788 km<sup>2</sup> e possuía uma população de 286.120 habitantes, sendo a terceira maior população do estado, com uma taxa de urbanização de 51,44 km<sup>2</sup> e uma densidade demográfica de 1.105,62 hab/km<sup>2</sup>. Missão Velha se comporta como o maior município dentre os abordados nesta tese, quando relacionado a extensão territorial, contendo uma área de 613,317 km<sup>2</sup>, porém em menor número populacional com apenas 36.822 habitantes, uma taxa de urbanização de 13,70 km<sup>2</sup> e uma densidade demográfica de apenas 60,04 hab/km<sup>2</sup>.

Os municípios do Crato e Juazeiro do Norte estão no eixo central do conglomerado urbano do CRAJUBAR formado pelas cidades de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha. Dessas,

Juazeiro do Norte se destaca por alguns aspectos, dentre eles a prerrogativa de se localizar a uma distância média de aproximadamente 700 km de todas as capitais nordestinas, transformando-a num importante pólo comercial do Nordeste, de fácil acesso, além de ser o principal centro econômico da região sul do Ceará. Todos esses fatores levaram a região a ser opção de moradia de pessoas que procuram o mercado de trabalho ou estudo por conta do grande número de indústrias composta pelo setor calçadista e um número extenso de universidades e faculdades, sobretudo na cidade de Juazeiro do Norte que compreende a maior densidade demográfica e econômica da região. Na Figura 7, pode-se observar a comprovação desse aumento populacional desde a década de 1940, onde a população total contabilizava 38.145 habitantes e para o ano de 2022 totalizava 286.120 habitantes, representando assim um crescimento populacional de 750%.

Figura 7 - Evolução populacional do município de Juazeiro do Norte dos anos 1940 a 2022.



Fonte: Adaptado de IBGE (2022). Elaboração da autora.

Sobre o comércio local, a cidade de Juazeiro do Norte apresenta três centros comerciais estabelecidos nos bairros Triângulo, Pirajá e Centro. Esse último localiza-se nos intermédios do início da cidade compondo-se de estabelecimentos do atacado e varejo como maioria, com 6.692 estabelecimentos regulares (98,25%) (Ceará, 2017). Os demais municípios dispõem das mesmas funções, embora com menor proporção, e tendo características mais recentes em relação ao centro tradicional. No setor industrial, 63,9% de estabelecimentos existentes na região do Cariri cearense se encontram em Juazeiro do Norte, onde se concentra o maior parque

industrial da região, sendo o ramo da construção civil liderando os números quanto a esses dados (CPRM, 2005).

A região ainda conta com um amplo desenvolvimento do ecoturismo pela presença de duas unidades de conservação: a Área de Proteção Ambiental – APA do Araripe, e a Floresta Nacional – FLONA do Araripe, localizada em Crato. A FLONA foi a primeira unidade de conservação criada pelo Governo Federal na Mesorregião, sendo uma das mais antigas do Brasil. A instituição da FLONA, é localizada em uma região de desertificação, tendo uma relevância significativa na preservação do equilíbrio ambiental, especialmente levando-se em consideração aspectos hidrológicos, climáticos e edáficos. Preserva ainda condições para a manutenção da qualidade de refúgio para a fauna regional, inclusive para espécies ameaçadas de extinção, como o pássaro Soldadinho do Araripe, espécie endêmica da região da chapada (Funceme, 2006).

No ano de 2006 foi instituído pela UNESCO o Geopark Araripe, primeiro Geopark das Américas e do Caribe. O Geopark Araripe conta com nove geossítios e apresentam elevado interesse geológico, pelo seu valor científico, pedagógico, econômico, cultural, ecológico, arqueológico e histórico, abrangendo uma importância mundial. A região ainda conta com um importante potencial turístico religioso ligado à figura do padre Cícero, responsável por receber milhares de romeiros durante todo o ano (Ceará, 2021).

No que se refere à infraestrutura de saneamento, o município do Crato conta com a gestão da SAEC e dispõe de 99,37% de cobertura dos serviços de água de abastecimento para a zona urbana. Em contrapartida, o serviço de coleta urbana de esgoto é de cerca de 35,05% e apenas 2,95% desses são encaminhados para tratamento (Ceará, 2025). Em Juazeiro do Norte o saneamento é feito pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), conta com cerca de 95,248 ligações e dispõe de 95,72%, de cobertura dos serviços de água de abastecimento para a zona urbana, considerado superior ao estado (92,06%). Já o serviço de coleta urbana de esgoto se iguala aos números do município do Crato, sendo considerado baixo e contendo apenas 29,63% de domicílios ligados à rede coletora (Ceará, 2025). Em relação a coleta de resíduos sólidos, o município apresenta uma taxa de 94,22%, sendo seu desempenho superior ao do estado, que é de 75,34%, (Ceará, 2017). Em relação ao saneamento no município de Missão Velha, 95,37% da zona urbana tem a cobertura dos serviços de água de abastecimento. Mas o serviço de coleta urbana de esgoto é considerado muito baixo, apenas 4,21% dos domicílios estão ligados à rede coletora de esgoto (Ceará, 2025). É importante ressaltar que os

três municípios estudados, detém de uma baixíssima cobertura de rede coletora de esgoto e seus tratamentos em relação a média geral do Estado do Ceará, que é de 38,24%.

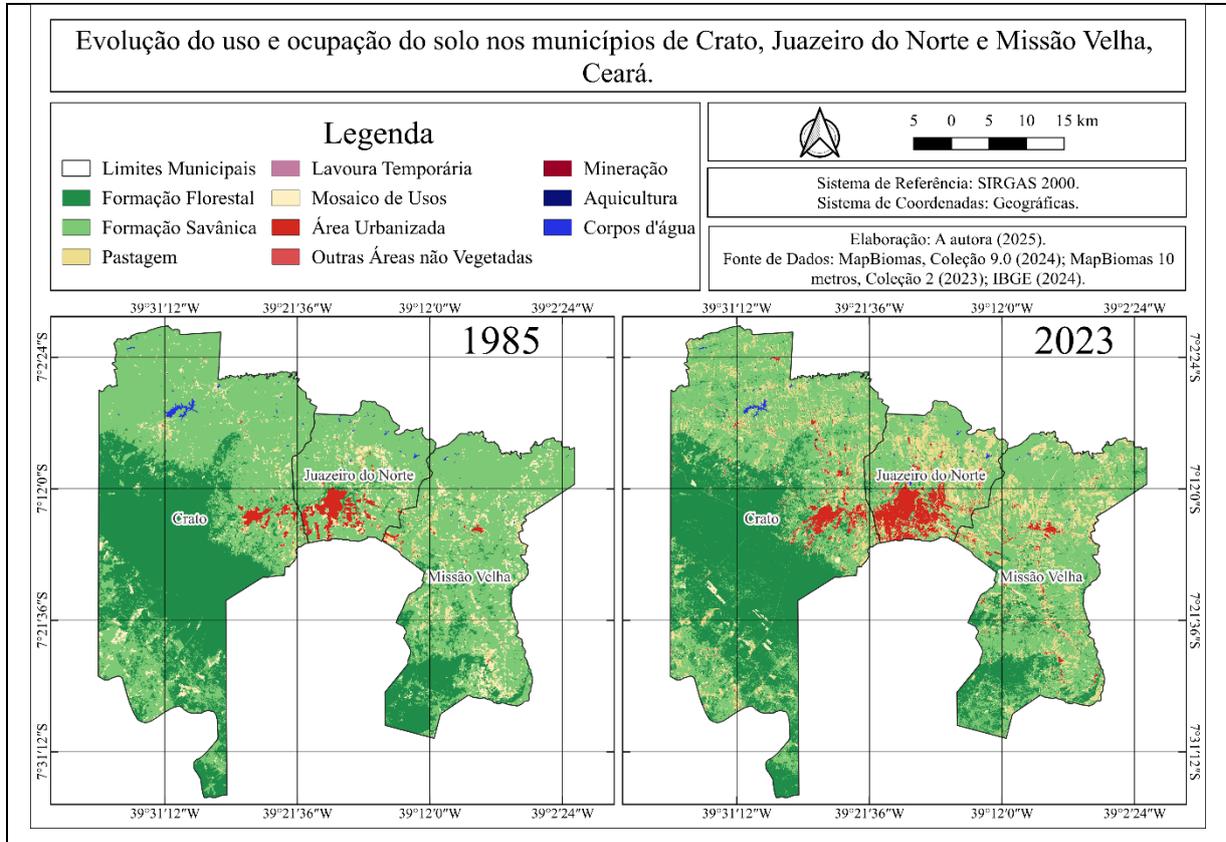
Os dados de avaliação do uso e ocupação do solo dos municípios estudados, obtidos através da plataforma MapBiomas no ano de 2023 (Quadro 2 e Figura 8), mostram que o município do Crato apresenta uma maior extensão territorial, composta majoritariamente por floresta contempladas pela Área de Preservação Ambiental da Chapada do Araripe e o maior número de corpos hídricos. No Município de Juazeiro do Norte, retrata-se uma área significativa da urbanização e de áreas não vegetadas, que sofreram uma supressão da sua vegetação. Na cidade de Missão Velha, observa-se uma área menor de urbanização e um número expressivo de atividade agropecuária.

Quadro 2 - Distribuição das áreas em hectares do mapeamento do uso e ocupação do solo, em de Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha (2023).

<b>Distribuição das áreas em Hectares</b>			
	Crato	Juazeiro do Norte	Missão Velha
Floresta	98.515	12.189	46.128
Savana	47.593	11.056	32.902
Corpos d'água	251	114	42
Agropecuária	12.774	8.280	14.386
Pastagem	6.946	4.705	7.690
Agricultura	499	1.182	3.537
Área Urbanizada	2.164	5.293	766

Fonte: Adaptado de MapBiomas (2025). Elaboração da autora.

Figura 8 - Mapa de evolução do uso e ocupação do solo dos municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha em 1985 e 2023.



Fonte: Adaptado de MapBiomas (2025). Elaboração da autora.

## 4.2 ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DO TRECHO ESTUDADO

### 4.2.1 Etapa Pré-Campo

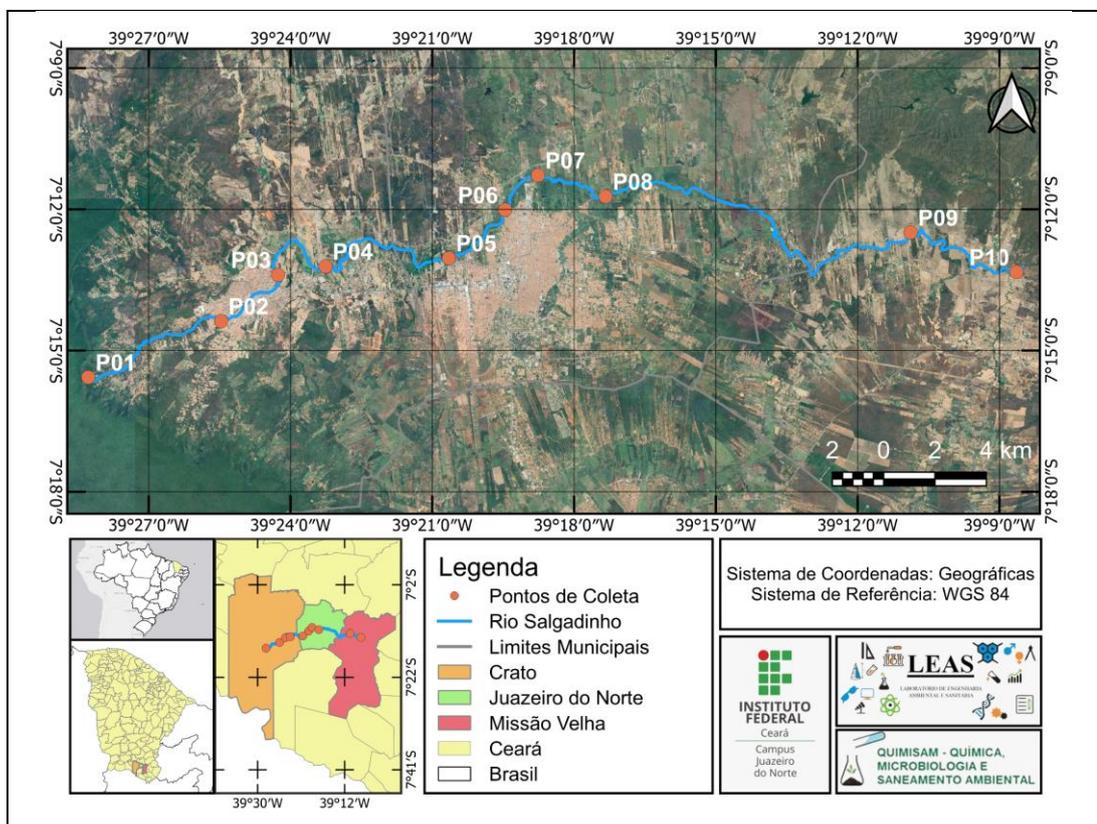
A etapa pré-campo se realizou no Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS) nas intermediações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Campus Juazeiro do Norte, onde todo o material utilizado nas campanhas de campo para as análises físico-químicas e microbiológicas de água do rio (garrafas de coleta, separação de vidrarias, preparo de reagentes, calibração dos equipamentos medidores e locais de armazenamentos das amostras) foram devidamente preparados.

### 4.2.2 Amostragem

As amostras de água da nascente e trechos dos rios foram coletadas mensalmente no período de 24 de outubro de 2023 a 04 de setembro de 2024, totalizando 12 coletas, contemplando o período seco e chuvoso da região. Composta por uma malha amostral de 10 (dez) pontos, a coleta de água e a mensuração dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram realizadas no sentido nascente - centros urbanos, a favor do gradiente fluvial.

A definição dos pontos de coleta (Figura 9 e Quadro 3) levou em consideração o acesso facilitado, áreas de maior uso e ocupação urbana, regiões com vegetação mais preservada e os pontos de poluição difusa existentes ao longo do trecho estudado, previamente já localizados por outros estudos (De Souza, 2014; Martins, 2018; Sabiá, 2008).

Figura 9 - Pontos de coleta no trecho estudado.



Fonte: Elaboração da autora (2025).

Quadro 3 - Coordenadas geográficas e referência dos pontos de coleta.

<b>Ponto</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Referências</b>
<b>P1</b>	7°25'94.61''S / 39°47'13.25''O	Nascente do Rio Batateiras
<b>P2</b>	7°23'96.33''S / 39°42'44.27''O	Ponte da Prefeitura
<b>P3</b>	7°22'32.25''S / 39°40'43.61''O	Ponte do bairro Palmeiral
<b>P4</b>	7°22'02.41''S / 39°38'76.19''O	Ponte Chiquinha Macêdo
<b>P5</b>	7°21'72.83''S / 39°34'41.27''O	Pós Matadouro
<b>P6</b>	7°20'02.16''S / 39°32'42.80''O	Ponte do bairro Socorro
<b>P7</b>	7°18'79.44''S / 39°31'27.05''O	ETE Malvas
<b>P8</b>	7°19'54.72''S / 39°28'88.63''O	Rua Cruz Sampaio
<b>P9</b>	7°20'82.05''S / 39°18'12.75''O	Zona rural de Missão Velha
<b>P10</b>	7°22'22.19''S / 39°14'39.97''O	Cachoeira de Missão Velha

Fonte: Elaboração da Autora (2024).

As amostras únicas foram coletadas a uma profundidade de 30 centímetros da superfície com o auxílio de um balde de 4 litros e então armazenadas em:

- Garrafas de 1 litro de embalagens escuras para a preservação da clorofila  $\alpha$ ;
- Garrafas de 1 litro de embalagens claras para armazenamento de amostras para os demais parâmetros;
- Frascos de winkler para medição de oxigênio dissolvido, com preservação da amostra através de adição de 1 mL de Sulfato manganoso e Iodeto de Azida;
- Frascos autoclavados para análises microbiológicas.

Ao chegar no ponto de coleta, as garrafas identificadas foram rinsadas vigorosamente com água do local e conservadas por refrigeração em caixas de isopor, para manter as características físico-químicas e em seguida levadas ao laboratório para análises.

#### 4.2.3 Análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Em laboratório, as análises imediatas foram determinadas e logo após, as amostras foram preservadas com a utilização do ácido sulfúrico, para garantir o fiel resultado das análises. Os parâmetros foram definidos através do método analítico determinado pelas diretrizes do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al. 2012), os quais constam no Quadro 4.

Quadro 4 - Parâmetros e métodos analíticos.

<b>Natureza</b>	<b>Característica</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Método Analítico</b>
Físico	Imediata	Turbidez	Nefelométrico
	Imediata	pH	Potenciométrico
	Amostra Preservada	Sólidos Dissolvido e Suspensos	Gravimétrico
Químico	Imediata	Oxigênio Dissolvido	Titulação: Tiosulfato de Sódio
	Amostra Preservada	Nitrogênio Amoniacal Total	Destilação/titulométrico (Micro Kjeldahl)
	Imediata	Nitrito	Espectrofotométrico: Diazotização Sulfanilamida – NED
	Amostra Preservada	Nitrato	Espectrofotométrico: Salicilato de Sódio
	Imediata	Ortofosfato	Espectrofotométrico: Ácido Ascórbico
	Amostra Preservada	Fósforo Total	Espectrofotométrico: Persulfato de Amônio-Ácido Ascórbico
	Imediata	Microplástico	Espectrometria (Micro-RAMAN)
Biológico	Amostra Preservada	Clorofila “a”	Extração a frio com Acetona (90%)
Microbiológico	Imediata	Escherichia Coli	EMB (Eosin-methylene Blue Agar)

Fonte: Elaboração da autora (2024).

#### 4.2.4 Índice de Poluição Integral (IPI)

O nível de poluição foi determinado por meio do Índice de Poluição Integrado (IPI) proposto por Wang et al. (2008), onde faz-se o uso das concentrações padrão das variáveis das águas superficiais e avalia a integridade de corpos hídricos. Diante dos resultados, ao observar um valor de IPI menor que um, considera-se a água não poluída. Caso o resultado seja igual a um, a qualidade da água corresponde ao valor padrão; E nos resultados de IPI maiores que um, a água monitorada é considerada poluída (Barbosa et al. 2021), em suma, pode-se conferir que quanto maior o valor do IPI mais degradado está o corpo hídrico.

Para a determinação do IPI no trecho estudado, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- pH;
- Turbidez;
- Oxigênio dissolvido;
- Sólidos Dissolvidos totais;
- Nitrogênio amoniacal total;
- Nitrito;
- Nitrato;
- Fósforo total;
- Clorofila “a”;
- Coliformes Termotolerantes.

Os padrões de qualidade da água foram baseados na Resolução CONAMA nº 357/2005) (Brasil, 2005), considerando o valor da concentração padrão de cada variável na Classe II, a qual, inclui águas que podem ser destinadas para (a) abastecimento humano, após tratamento convencional; (b) proteção das comunidades aquáticas; (c) recreação de contato primário; (d) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e (e) aquicultura e atividade de pesca, visto que os mananciais estudados não tem enquadramento jurídico (Art. 42) (Brasil, 2005).

O cálculo do IPI se deu através da seguinte equação (1):

$$IPI = \frac{1}{N} * \sum_{I=1}^N \left( \frac{CI}{CO} \right) \quad (I=1,2,\dots,N)$$

Em Que:

- IPI: Índice de Poluição Integrado;
- Ci: Concentração Medida por Parâmetro;
- Co: Valor Máximo Permitido do Parâmetro;
- n: Número De Parâmetros de Monitoramento.

É importante ressaltar que para os parâmetros que se exige um valor mínimo permitido em legislação, como é o caso do oxigênio dissolvido cujo valor mínimo é 5, é necessário a inversão da razão no momento do cálculo do IPI, a fim de considerar que a amostra atenda a essa prerrogativa. Além disso, compreendendo a grandeza da unidade de medida dos coliformes termotolerantes e após vários testes com resultados muito diferentes, neste trabalho foi utilizado o número de unidades logarítmicas em substituição ao NMP por 100 mL.

#### 4.3 INTEGRIDADE DA COBERTURA VEGETAL (MATA CILIAR)

##### 4.3.1 Precipitação Pluviométrica

A fim de analisar a precipitação pluviométrica da região da área de estudo, empregou-se o método de agrupamentos sazonais dos meses secos e chuvosos, proposto por Gregory (1979), que usa o valor da mediana da precipitação histórica para determinar a classificação do período. Assim, utilizou-se a média das medianas mensais de uma série histórica de 49 anos (1974-2023), das precipitações pluviométricas obtidas dos bancos de dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), para o posto pluviométrico do município de Juazeiro do Norte (n° 78 - 7°24'60"S; 39°32'60"O), por ser este o posto do município com maior consistência de dados.

##### 4.3.2 Delimitação da área de estudo para cálculo do NDVI nas imagens de satélite adquiridas

Ao longo dos quase 40 quilômetros de extensão do trecho estudado, foi observado que o rio apresenta uma largura da sua calha com valores distintos, não ultrapassando os 50 metros. Essa variável é algo importante a considerar, pois de acordo com o Código Florestal, as faixas

de Área de Preservação Permanente, configuradas como as regiões de mata ciliar, cuja sua preservação é de caráter obrigatório, está diretamente proporcional à largura da calha do rio, acusando extensões específicas, conforme demonstra o Quadro 5, apresentado a seguir:

Quadro 5 - Valores da mata ciliar a ser preservada conforme a extensão da calha do corpo hídrico, de acordo com o Código Florestal (2012).

<b>Distribuição das áreas em metros</b>	
Largura da calha	Crato
Nascente	50
< 10	30
10 a 50	50

Fonte: Elaboração da autora (2025).

Isso posto, baseado na legislação vigente e com o intuito de aumentar a sensibilidade de relação entre as variáveis de existência da mata ciliar e qualidade da água do trecho estudado, optou-se por extrapolar a faixa da mata ciliar para 100 metros. Os recortes espaciais em função da aplicação dos índices, metodologicamente e sistematicamente, foram organizados considerando a extensão do rio; atenção a legislação vigente; a obtenção de imagens gratuitas (cobertura de nuvens reduzida); processamento de imagens e aplicação dos índices usando algoritmo no GEE (*Google Earth Engine*) (GEE, 2024); integração dos dados no SIG, e por fim, mapeamento dos alvos de interesse seguidos da quantificação das áreas para tabulação dos dados em resultados *qualitativos* e *quantitativos*.

As imagens de satélite gratuitas foram adquiridas através da plataforma Google Earth Engine (GEE, 2024) da Família Sentinel 2 (Copernicus, 2024) de resolução espacial de 10m, os quais se adequam a escala de estudo para os recortes espaciais dos limites municipais de Crato e Juazeiro do Norte e início da zona rural de Missão Velha. Para o presente trabalho as imagens foram escolhidas levando em consideração as datas de coleta, que ocorreram mensalmente sob o período de um ano. Em seguida, a etapa de seleção das imagens foi guiada pelo critério de menor quantidade possível de cobertura de nuvens, para que estes produtos imagens adquiridos posteriormente fossem “recortados” representando os limites pertinentes a mesma área, uniformizando assim a escala de mapeamento.

No GEE (2024) em um código da rotina de programação se estabelece o intervalo temporal de coleta das imagens e neste mesmo código a etapa do PDI e aplicação dos índices para realce de vegetação e água são rodados automaticamente. O produto final é uma imagem raster conforme intervalo temporal (determinado no Script) com as coberturas classificadas segundo valores de número de identificação (digital number - DN) pertinentes às classes ou categorias definidas no código.

Pelo fato da área de estudo pertencer a três municípios da região do Cariri, optou-se por aplicar ou “rodar” um código de classificação de imagens de uso e ocupação do solo. As classes e os valores de identificação foram (0)'Corpo d'água'; (1)'Vegetação Alta'; (2)'Pasto'; (3)'Vegetação Inundada'; (4)'Cultura'; (5)'Vegetação Baixa'; (6)'Área Construída'; (7)'Solo Exposto'. As classes associadas à cobertura vegetal foram agrupadas e corpos d'água também. Para efeito de integração dos dados e tabulação dos resultados, as demais classes foram desconsideradas. As datas e os respectivos intervalos que constam como parte do script utilizado, seguem no Quadro 6 abaixo:

Quadro 6 - Intervalo de datas de cada coleta utilizado para a aquisição das imagens de satélite.

<b>Coletas</b>	<b>Intervalo de Datas</b>
1	'2023-10-01', '2023-10-31'
2	'2023-11-01', '2023-11-30'
3	'2023-12-01', '2023-12-31'
4	'2024-01-01', '2024-01-31'
5	'2024-02-01', '2024-02-29'
6	'2024-03-01', '2024-03-31'
7	'2024-04-01', '2024-04-30'
8	'2024-05-01', '2024-05-31'
9	'2024-06-01', '2024-06-30'
10	'2024-07-01', '2024-07-31'
11	'2024-08-01', '2024-08-31'
12	'2024-09-01', '2024-09-06'

Fonte: Elaboração da autora (2025).

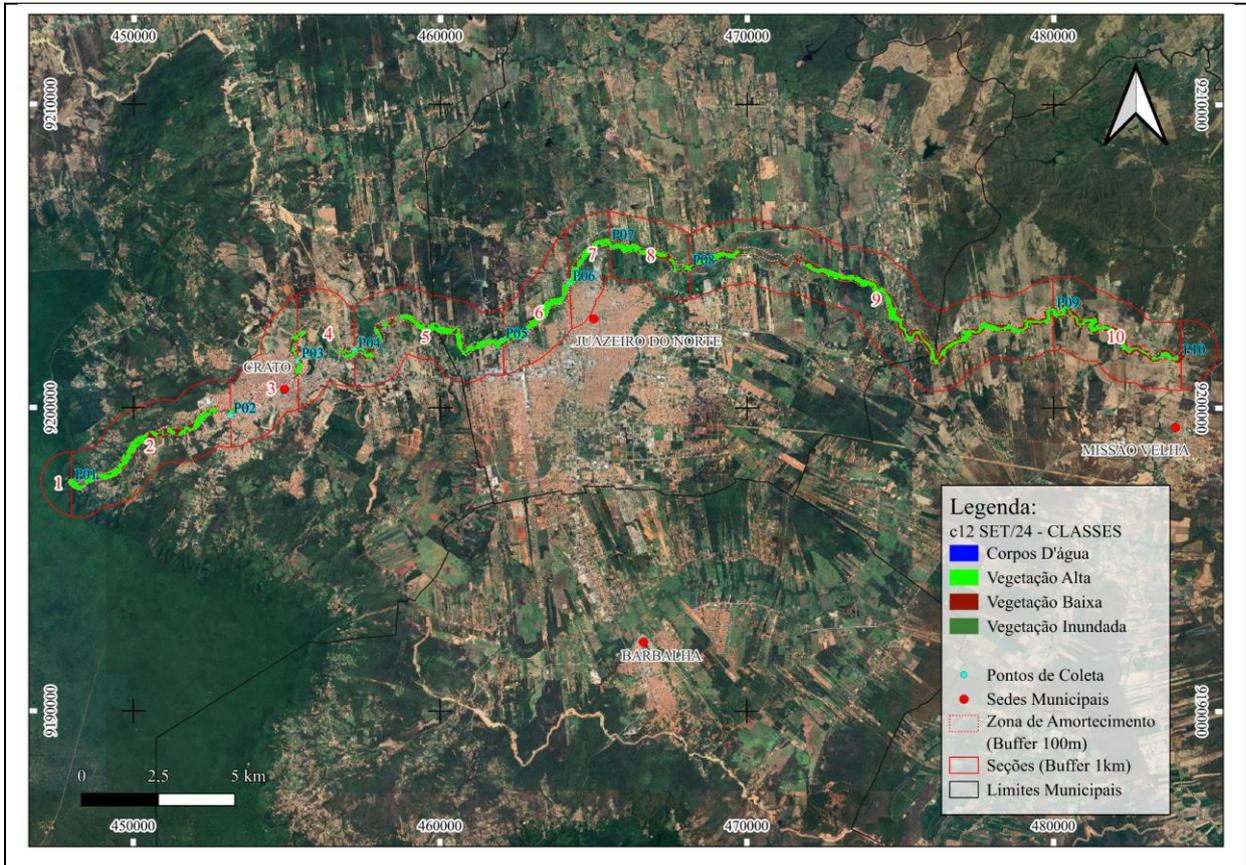
O Processamento de Imagens Digitais (PDI), neste trabalho, buscou inicialmente realçar a cobertura vegetal, áreas de corpos hídricos e a mancha urbana. Como mencionado

anteriormente, inseridos no código, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), também foram utilizados nesta etapa do PDI, a fim de discriminar potencialmente as áreas pretendidas associadas a cobertura vegetal e superfície de água em uma escala de tempo e espaço adequados para a pesquisa. Os índices são gerados através da operação de razão de bandas. O índice Normalized Difference Water Index (NDWI) assim como o índice de vegetação (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) fundamentam-se na relação de razão por diferença normalizada entre bandas. Normalmente, para vegetação, usam-se as faixas do espectro eletromagnético do vermelho e infravermelho próximo. Já para a água, utilizam-se preferencialmente, os intervalos na região do verde e infravermelho próximo (Galvão, 2015; Mcfeeters, 1996).

Após esta etapa, foi feita a integração dos dados espaciais em ambiente computacional SIG, usando o software livre QGIS sobrepondo em um mesmo Sistema de Coordenadas e Datum, os planos de informação de dados vetoriais e matriciais usados para definir as classes dos alvos de interesse. Neste mesmo programa, os produtos temáticos resultantes desta análise foram editados e posteriormente seccionados para uma melhor análise do mapeamento da cobertura vegetal da mata ciliar, da calha dos rios e da Área de Preservação Permanente (APP) em relação à conformidade com a legislação do Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012) (BRASIL, 2012).

Por fim, foi gerado um mapa dividido em 10 seções (Figura 10) para verificar a relação entre a cobertura vegetal e a qualidade da água em cada ponto do trecho estudado. Entende-se que a densidade da cobertura vegetal da seção 1 impactará diretamente o Ponto 1, e assim sucessivamente para os demais pontos de coleta, por isso a necessidade dessa verificação por sessão. Após esse processo, foi realizado o cálculo do NDVIrel, obtido através da razão utilizando o valor do NDVI em km<sup>2</sup>, pela a área total de cada seção, também em km<sup>2</sup>. Esse cálculo se baseia na premissa de que, quanto mais próximo de 1, maior será a área de cobertura vegetal da seção analisada.

Figura 10- Mapa seccionado do trecho estudado para identificação dos valores de NDVIrel.



Fonte: Elaboração da autora (2025).

#### 4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICA

Para a análise estatística dos dados, inicialmente foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk, a fim de verificar a distribuição das variáveis. Ao apresentarem distribuição normal, foi utilizado o teste t de Student para a comparação de médias entre dois grupos. Em caso contrário, os testes aplicados foram os não paramétricos, sendo o teste de Mann-Whitney utilizado para a comparação entre dois grupos independentes e o teste de Kruskal-Wallis adotado para a comparação entre três ou mais grupos. Todas as análises foram conduzidas com nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e intervalo de confiança de 95%.

Logo após, devido à natureza heterogênea dos dados, foram empregadas as técnicas de interdependência multivariadas exploratórias de Análise Fatorial por Componentes Principais

(ACP) e de agrupamentos (clusters) não hierárquicos (k-means). A ACP reduz a dimensionalidade de uma base de dados quantitativos evidenciando as correlações entre suas variáveis ortogonais, a fim de se estabelecer novas variáveis que capturam o comportamento conjunto das variáveis originais fornecendo valores (cargas fatoriais), que são posteriormente agrupadas em função da porcentagem total dos seus autovalores (eigenvalues) por meio da análise k-means, que seleciona, observa e atualiza os centróides das amostras até sua convergência (formação de grupos) (Fávero; Fávero, 2017; Fávero; Belfiore, 2017; Fávero et al. 2009). Todas as análises são padronizadas e analisadas por meio do software Spyder v.6.0.5, e Past 4.03.

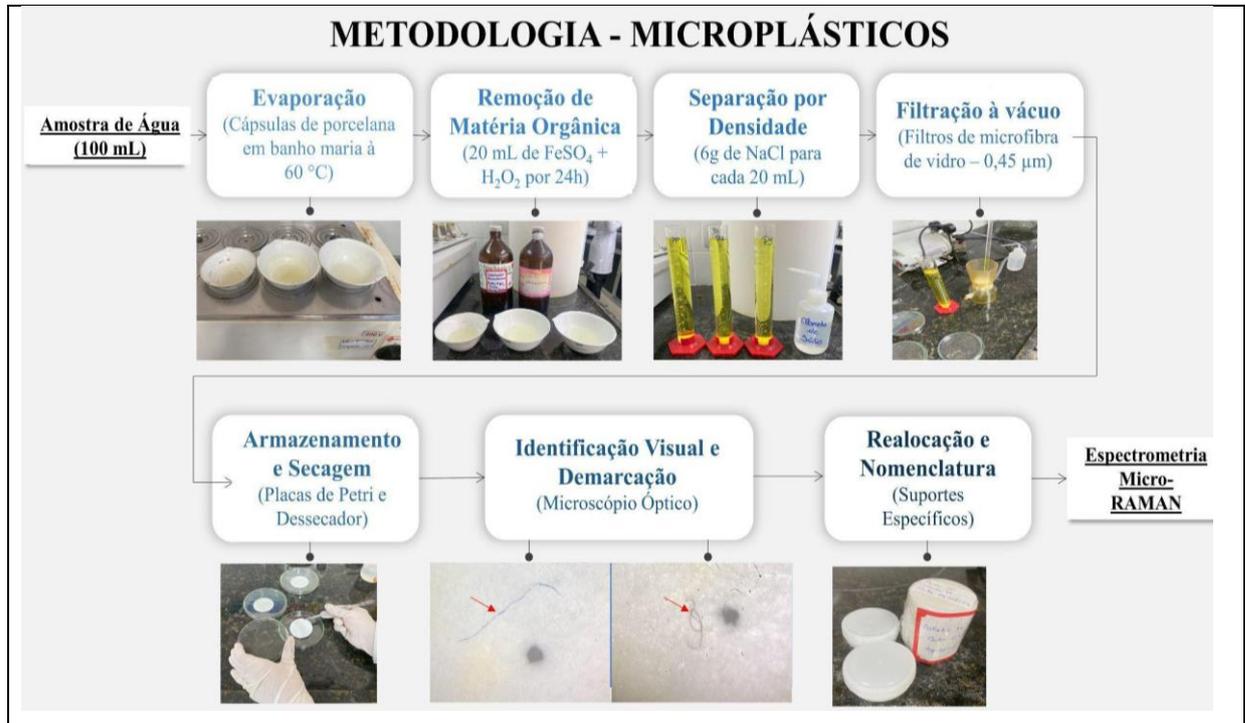
Para a interpretação do valor de correlação, foi utilizado a avaliação de Callegari-Jacques (2003), o qual institui o coeficiente de correlação pode ser avaliado qualitativamente da seguinte forma: Entre 0 e 0,30 a correlação é considerada fraca; Entre 0,30 e 0,60 a correlação é considerada moderada; Entre 0,60 e 0,90 a correlação é considerada forte; Entre 0,90 e 1,00 a correlação é considerada muito forte.

## 4.5 MICROPLÁSTICO E SUBSTÂNCIAS ASSOCIADAS

### 4.5.1 Amostragem

A quantificação e a caracterização dos microplásticos foi realizada no decorrer de seis coletas seguidas (Coleta 5, 6, 7, 8 e 9), em três pontos do trecho estudado, estes, pontos de convergência dos cursos hídricos das principais cidades da Região Metropolitana do Cariri, sendo o primeiro ponto na saída da cidade do Crato e identificado por P3, o segundo na zona rural e saída do município de Juazeiro do norte e identificado por P8, e o último ponto compreende a zona rural da cidade de Missão Velha identificado como P10, contemplando todo o trecho da presente pesquisa. Para isso foram seguidas as etapas de análise: 1) Tratamento, identificação visual e contagem dos microplásticos; 2) Espectrometria (Micro-RAMAN); 3) Análise integrada (Figura 11).

Figura 11 - Fluxograma metodológico para identificação dos microplásticos.



Fonte: Elaboração da autora (2024).

#### 4.5.2 Tratamento, identificação visual e contagem dos microplásticos.

O tratamento das amostras foi realizado por cinco sub etapas, sendo elas a evaporação, remoção de material orgânico, separação por densidade, filtragem das amostras e contagem dos microplásticos. Inicialmente, no laboratório de engenharia ambiental e sanitária (LEAS) do IFCE Campus Juazeiro do Norte, as amostras de água (100 mL) foram evaporadas em cápsulas de porcelana pelo método do banho maria, numa temperatura de aproximadamente 60°C, sem que houvesse comprometimento dos microplásticos presentes (Masura, et al. 2015). Logo após foram adicionados 20 mL da solução  $\text{FeSO}_4$  (0,05M) que age como um catalisador de reações, seguido de 20 mL de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a 30% e aguardado 24 horas (Di; Wang, 2018). Essa sub etapa objetivou a remoção de qualquer material orgânico existente na amostra, e é de grande importância, uma vez que, sobretudo no período chuvoso, o rio se encontra com um alto teor de sólidos suspensos (Quadro 6), o que dificultaria a etapa de identificação visual dos microplásticos.

Quadro 7 - Valores Mínimo e Máximo de Sólidos Suspensos durante as coletas

<b>Ponto</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>
P3	9	696
P8	6	412
P10	98	966

Fonte: Elaboração da autora (2024).

Após a remoção do material orgânico, o líquido amostral foi mensurado através do auxílio de uma proveta para que seja executada a sub etapa de separação por densidade, onde foi adicionado 6 g de cloreto de sódio para cada 20 mL de amostra, uma vez que a solução salina se comporta como líquido mais denso, enquanto os microplásticos presentes na amostra se comportam como materiais menos denso, havendo uma flutuação destes. A amostra ficou em contato com essa solução durante 24 horas.

Após isso, foi realizado a etapa de filtração à vácuo das amostras com filtros de microfibras de vidro (GF/C) com capacidade de retenção de 0,45  $\mu\text{m}$ , diâmetro de 47 mm, espessura de 260  $\mu\text{m}$  e porosidade 1,2  $\mu\text{m}$  (Di; Wang, 2018). Logo após os filtros foram armazenados individualmente em placas de petri e direcionados para secagem em dessecadores, a uma temperatura ambiente, sendo posteriormente contabilizado e demarcado com apoio de um microscópio óptico (20 – 100 vezes com fonte luminosa). Por fim, os filtros foram realocados em suportes específicos comportando o seu tamanho e altura, para envio ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (IPEN).

#### **4.5.3 Espectrometria (micro-RAMAN)**

A caracterização da composição polimérica dos microplásticos foi realizada pela técnica de espectroscopia Raman no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (IPEN), através do equipamento labRAM HR Evolution (HORIBA) que usa lasers de diferentes comprimentos de onda (473 nm, 532 nm, 633 nm e 785 nm) e uma objetiva de 50x long range (NA=0.55).

Dessa forma, a resistência de cada material foi testada em diferentes níveis de potência para cada laser, com o objetivo de obter o melhor espectro sem danificar o material. Assim, se utilizou uma posição inicial que permitiu a observação dos picos da região de identificação dos polímeros (fingerprint) em torno de 1600  $\text{cm}^{-1}$ . Sendo que, para a medida final, foi utilizada a região espectral de 200  $\text{cm}^{-1}$  a 3200  $\text{cm}^{-1}$ , comum do fingerprint de polímeros e do estiramento (stretching) da ligação C-H (hidrocarbonetos) tipicamente encontrada entre 2800  $\text{cm}^{-1}$  e 3100  $\text{cm}^{-1}$ , que caracterizou a presença de alcanos, alcenos e alcinos (Araújo et al. 2018; Ferraro, 2003; Smith; Dent, 2019).

Outros ajustes como: a variação do tempo de integração (por exemplo, de 1 a 5 minutos), número de acumulações ou diâmetro da fenda puderam ser feitos para obter o melhor resultado da relação sinal/ruído evitando a saturação no sensor. Após a otimização dos parâmetros foi gerada uma linha de base (baseline) dos espectros adquiridos, que por vezes necessitam de uma “filtragem” para a remoção de eventuais ruídos (spikes) derivados dos raios cósmicos, por meio de uma rotina computacional no Matlab®. Por fim, os espectros dos compostos foram utilizados para identificar os tipos de polímeros por meio da base de dados do software Knowitall®. Além dos espectros das amostras, foram coletadas imagens dos microplásticos no microscópio do sistema Raman que, juntamente com os espectros, compõem a base de dados.

#### **4.5.4 Análise integrada da origem e dos impactos ambientais das substâncias identificadas**

Para melhor identificação das substâncias encontradas, inicialmente realizou-se uma busca pelo registro CAS, número com registro único no banco de dados do *Chemical Abstracts Service*, de todos os componentes encontrados, com o objetivo de facilitar as pesquisas no banco de dados, visto que, muitas vezes, os produtos químicos têm mais de um nome. Logo após, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, utilizando mecanismos de bases como *Scopus*, *Science Direct*, *PubMed*, *American Chemical Society* e *PubChem*. Foram aplicados filtros para limitar a pesquisa a publicações recentes e estudos relevantes, garantindo a relevância e a qualidade das informações coletadas.

Em suma, para responder ao primeiro e segundo objetivos específicos desta presente pesquisa foram utilizadas as metodologias descritas no tópico 4.3; O terceiro objetivo específico utilizou os procedimentos metodológicos descritos no tópico 4.2 e 4.3.1; O quarto objetivo específico utilizou o tópico 4.4; E o quinto objetivo específico utilizou o tópico 4.5.

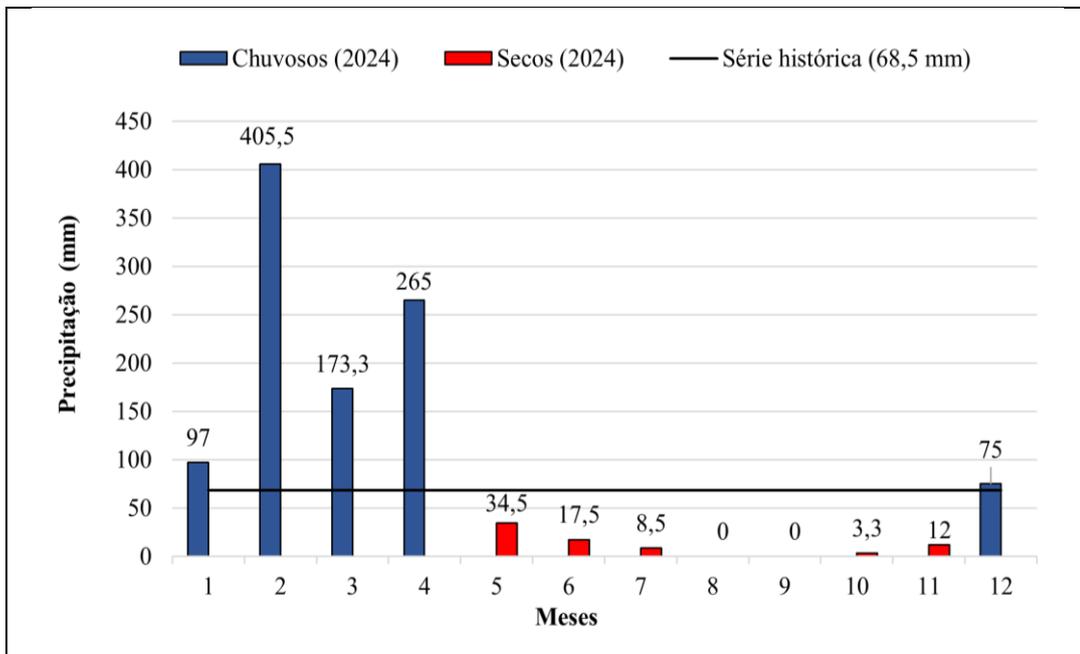
## 5 RESULTADOS

### 5.1 INTEGRIDADE DA COBERTURA VEGETAL (MATA CILIAR)

#### 5.1.1 Precipitação Pluviométrica

Com base na metodologia empregada para a identificação dos meses chuvosos e secos em Juazeiro do Norte, para o ano do estudo (2024), é observado que em janeiro, fevereiro, março, abril e dezembro as precipitações foram superiores à média das medianas da série histórica de 49 anos (1974-2023), cujo valor desta foi de 68,5mm. Logo, esses meses foram classificados como chuvosos enquanto os demais foram definidos como secos (Figura 12). Destaca-se que apenas nos quatro primeiros meses do ano foi registrado 86,19% do total anual de precipitação, sendo fevereiro o mês com maior volume de chuvas. Em contrapartida, não foram registradas precipitações nos meses de agosto e setembro.

Figura 12 - Identificação dos meses secos e chuvosos em Juazeiro do Norte através do método de agrupamento sazonal.



Fonte: Adaptado de FUNCEME. Elaboração da autora (2025).

Entre os meses de novembro e janeiro tem-se a pré-estação chuvosa no Ceará, caracterizada pelo aumento significativo das chuvas em decorrência do início das atuações dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e dos Complexos Convectivos de Mesoescalas (CCMs), que são fortalecidos pelo enfraquecimento da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), dado ao periélio que ocorre em janeiro e ao início do verão no Hemisfério Sul (Gomes *et al.* 2017).

### 5.1.2 Atendimento da cobertura vegetal na faixa de Mata Ciliar, às diretrizes do Código Florestal

Iniciando a apresentação dos resultados relacionados à integridade da cobertura vegetal, o Quadro 8 apresenta a área total de cada ponto de coleta acompanhado dos valores de mínimo e máximo de NDVI obtidos através dos cálculos realizados. Ressalta-se que os tamanhos das áreas das seções são diferentes em razão da metodologia adotada para a escolha dos pontos de amostragem.

Quadro 8 - Área total de cada seção e intervalo da área de cobertura vegetal calculado pelo NDVI para cada ponto de coleta no trecho estudado em km<sup>2</sup>.

<b>Ponto de coleta</b>	<b>Área Total (km<sup>2</sup>)</b>	<b>NDVI (km<sup>2</sup>)</b>
1	16,53	16,38 - 16,53
2	1312,24	957,26 - 1150,26
3	768,38	156,23 - 199,14
4	672,03	637,52 - 657,97
5	1399,68	1318,38 - 1366,87
6	648,41	495,42 - 643,21
7	429,99	419,68 - 423,69
8	652,53	601,48 - 642,88
9	3189,80	3137,91 - 3169,00
10	1207,54	1168,66 - 1207,54

Fonte: Elaboração da autora (2025).

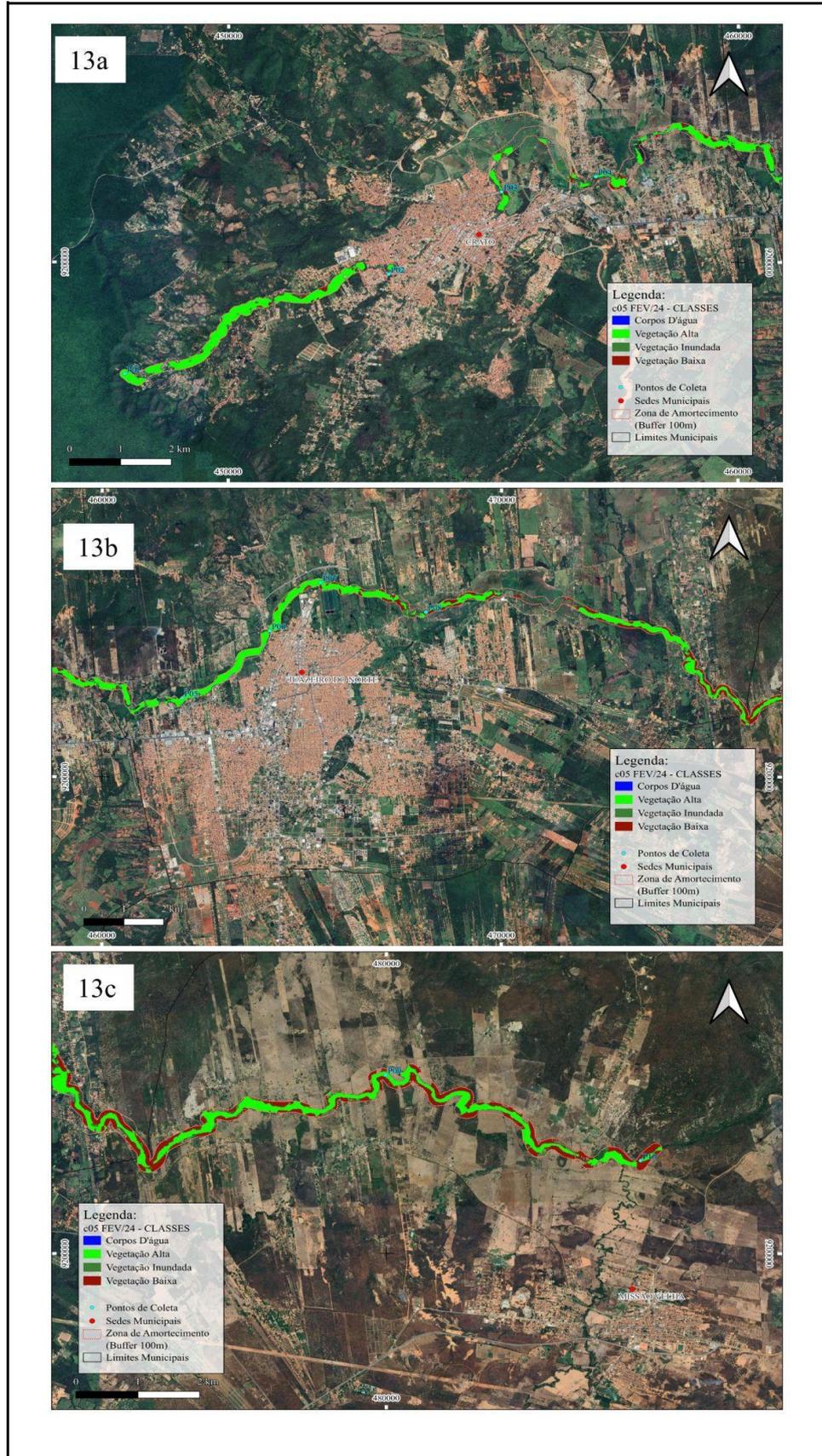
Com a finalidade de verificar o atendimento da área de cobertura vegetal na faixa de mata ciliar, conforme as diretrizes do Código Florestal, foram elaborados mapas apresentados para cada município durante todos os meses de coletas, os quais constam no Apêndice I. As imagens apresentadas neste tópico, retratam os meses de maior precipitação (Figuras 13a, 13b e 13c) e menor precipitação (Figuras 14a, 14b e 14c), referentes aos meses de fevereiro e setembro, selecionados com base nos resultados descritos anteriormente na seção 5.1.1, por representarem o ápice e o declínio da cobertura vegetal na região.

As Figuras 13a e 14a correspondem ao trecho do município do Crato; as Figuras 13b e 14b são referentes a Juazeiro do Norte; e as Figuras 13c e 14c se referem ao início do município de Missão Velha. Para a verificação da conformidade com a legislação, foram realçadas nas imagens as classes de vegetação alta, vegetação inundada, vegetação baixa e corpos hídricos, sendo excluídas as áreas de pasto e cultura, visto que este estudo considerou estas ocupações como áreas alteradas por atividades antrópicas. Esses dados foram obtidos por meio de análise de imagens georreferenciadas e visitas de campo, que permitiram a verificação da largura e a tipologia da cobertura vegetal e os tipos de ocupações presentes nas margens do rio.

Por meio da observação dos mapas, conclui-se que há uma obediência da presença da cobertura vegetal nativa na faixa de mata ciliar, na maioria do trecho estudado, tanto no período chuvoso quanto no período de estiagem. Entretanto, observa-se uma diferença na tipologia da vegetação entre as estações, com destaque de vegetação baixa durante a estação seca.

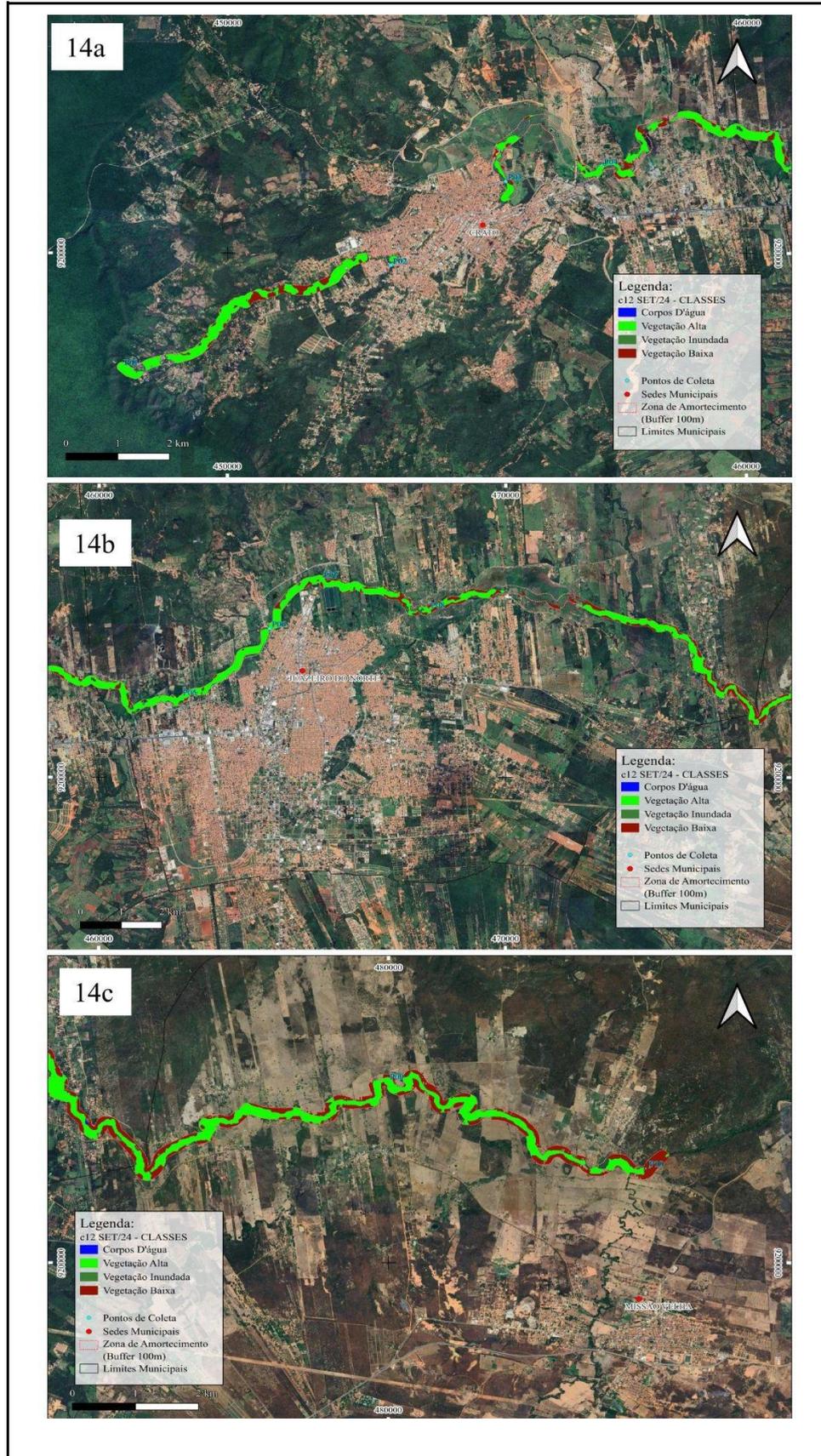
Ademais, observa-se o descumprimento dessa norma em três trechos específicos, em ambos os períodos sazonais: logo após o Ponto 2 e em partes dos trechos localizados após os Pontos 3 e 8. Esses locais têm em comum a presença de áreas alteradas por atividades antrópicas. Após o Ponto 2, no município do Crato, destaca-se a canalização do rio e a presença expansiva de ocupação residencial e construída. Já nos trechos posteriores aos Pontos 3 e 8, observam-se áreas de pastagem, cultivo e habitações próximas, que embora correspondam a uma tipologia de vegetação, não se caracterizam como vegetação nativa, conforme verificado em observações in loco.

Figura 13 - Presença da cobertura vegetal referente ao mês de fevereiro ao longo do trecho estudado.



Fonte: Elaboração da autora (2025).

Figura 14 - Presença da cobertura vegetal referente ao mês de setembro ao longo do trecho estudado.

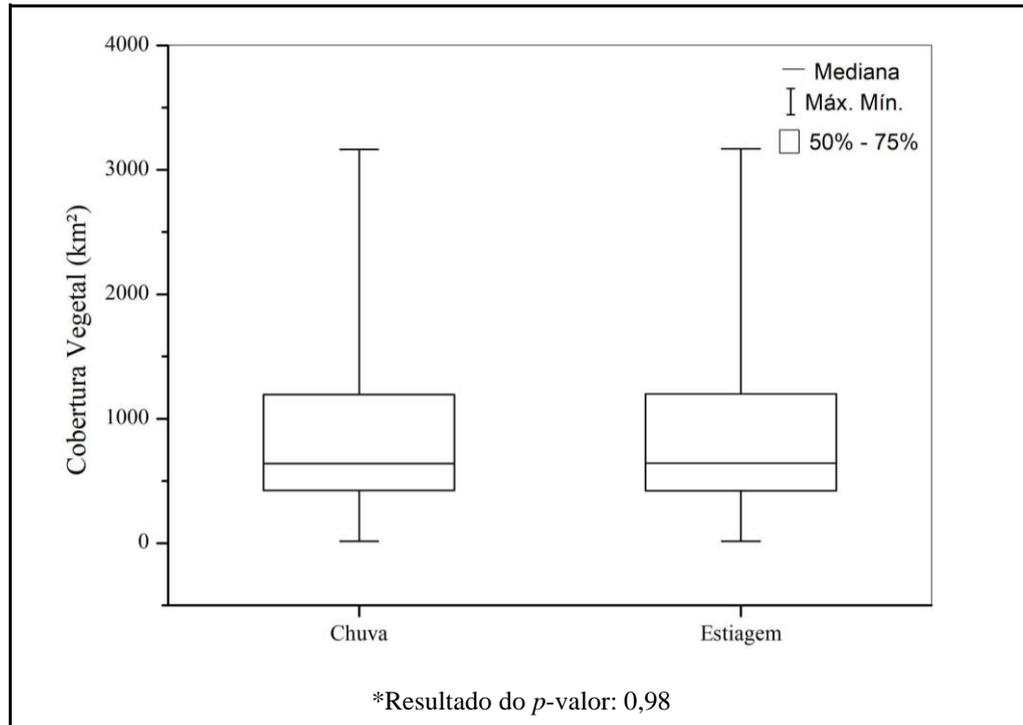


Fonte: Elaboração da autora (2025).

### 5.1.3 Análise da Flutuação da Cobertura Vegetal nos períodos sazonais

Baseado no apontamento da vegetação entre quadra chuvosa e estiagem no tópico anterior, foram realizados testes estatísticos para a corroboração. A Figura 15 apresenta a área de cobertura vegetal calculada para os 10 pontos de coleta, considerando os valores de NDVI nos meses chuvosos e de estiagem.

Figura 15 - Valores de NDVI em cada ponto de coleta, obtidos em período de chuva e estiagem ao longo do trecho estudado.



Fonte:Elaboração da autora (2025).

A área de cobertura vegetal na faixa da mata ciliar no período chuvoso é muito próxima à do período de estiagem, tendo uma diferença percentual de 0,2% entre eles, sem diferença estatística significativa.

Conforme já foi demonstrado, os valores de NDVI não diferem entre as estações sazonais, porém a tipologia da vegetação difere, sendo isso, fenômeno natural da paisagem no bioma da caatinga. O Quadro 9 traz os dados mensais em quilômetros, das vegetações alta e baixa, obtidos através dos mapas gerados em cada mês de coleta.

Quadro 9 - Dados mensais de vegetação alta e baixa em km<sup>2</sup>, ao longo do trecho estudado

Meses	Vegetação Alta (km <sup>2</sup> )	Vegetação Baixa (km <sup>2</sup> )
Janeiro	4,02	1,82
Fevereiro	4,82	1,74
Março	7,04	0,08
Abril	7,04	0,10
Maio	7,01	0,10
Junho	6,99	0,34
Julho	6,11	1,02
Agosto	5,52	1,86
Setembro	5,48	1,08
Outubro	4,16	2,72
Novembro	4,15	2,31
Dezembro	4,74	1,81

\*Diferença significativa  $p$ -valor: 5,74E-10

Fonte: Elaboração da autora (2025).

No período de transição do chuvoso para a estiagem, mais precisamente nos meses de abril a novembro, nota-se o declínio da vegetação alta e uma elevação da vegetação baixa, cujos valores iniciaram próximos a zero. Esse padrão apresentou diferença significativa, embora o NDVI total tenha permanecido estável, houve mudança expressiva na composição estrutural da vegetação, com impacto na biomassa observável.

## 5.2 ANÁLISES DE QUALIDADE DA ÁGUA

### 5.2.1 Índice de Poluição Integral (IPI)

O Quadro 10 demonstra os valores do índice de poluição integrado (IPI), calculados a partir dos dados obtidos nas 12 coletas realizadas, em cada ponto de amostragem ao longo do trecho estudado.

Quadro 10 - Valores do Índice de Poluição Integrado (IPI)

Mês	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
<b>Jan</b>	1,09	1,92	5,85	4,84	0,68	1,10	1	2,54	1,11	0,95
<b>Fev</b>	0,20	1,08	1,98	1,20	1,13	0,88	0,61	0,80	0,62	1,85
<b>Mar</b>	1,05	1,78	2,19	2,00	1,74	1,11	0,79	1,36	0,53	1,11
<b>Abr</b>	0,31	0,52	0,86	0,63	0,93	0,39	0,48	0,38	1,11	0,67
<b>Mai</b>	0,25	0,87	1,57	0,82	0,70	0,68	0,82	0,68	0,62	0,54
<b>Jun</b>	0,28	1,04	1,53	1,08	0,75	0,90	0,69	0,81	1,40	0,41
<b>Jul</b>	0,24	0,91	1,86	0,96	1,26	1,22	1,19	0,95	0,43	0,92
<b>Ago</b>	0,27	1,80	2,45	1,64	2,95	2,21	10,24	2	0,54	0,61
<b>Set</b>	0,35	1,76	2,83	1,75	1,02	4,79	1,41	1,72	0,43	0,42
<b>Out</b>	0,35	3,41	-	2,11	0,67	0,86	0,86	6,71	0,76	1,62
<b>Nov</b>	0,30	3,75	-	1,25	0,66	4,58	3,05	4,63	0,62	0,66
<b>Dez</b>	0,24	0,75	-	1,38	1,07	0,58	1,70	1,02	0,41	0,41
<b><u>Máx</u></b>	1,09	3,75	5,85	4,84	2,95	4,79	10,24	6,71	1,40	1,85
<b><u>Mín</u></b>	0,20	0,52	0,86	0,63	0,66	0,39	0,48	0,38	0,41	0,41

Legenda: - Coletas não realizadas por não inclusão inicial do ponto no processo metodológico.

Fonte: Elaboração da autora (2024).

De acordo com os dados referentes ao Índice de Poluição Integrado (IPI) (Quadro 10), observa-se uma variação nos valores ao longo do trecho estudado, com a nascente apresentando valores mínimos de 0,20. Esses índices aumentam gradualmente à medida que o rio adentra o perímetro urbano, atingindo o valor máximo de 5,85. Nota-se também que, ao longo do curso natural do rio, os valores tendem a diminuir, de modo que o fim do trecho analisado apresenta índices semelhantes aos registrados na nascente.

Inferese que a ocorrência de menores valores de IPI foi encontrada no Ponto 1 que se refere à nascente do Rio Batateiras, onde apenas nos meses de janeiro e março os valores foram maiores que 1. Em contrapartida, a frequência de valores maiores foi registrada no Ponto 3, correspondente ao fim da zona urbana do município do Crato.

O trecho analisado percorre três cidades importantes da região. A fim de analisar em qual delas houve maior ocorrência de IPI acima de 1, foram identificados os Pontos 3, 8 e 10,

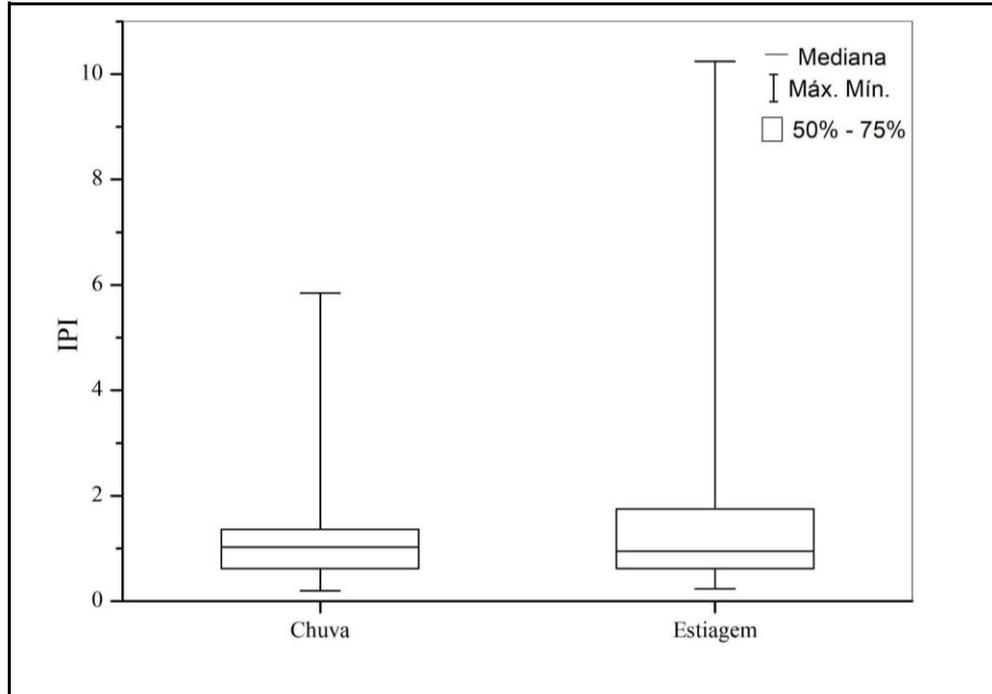
uma vez que esses são os pontos finais de cada município. Os resultados demonstram que o Ponto 10, localizado no início de Missão Velha, apresentou menor frequência de valores elevados de IPI, enquanto o Ponto 3, na cidade do Crato, registrou a maior.

### **5.2.2 Variação do Índice de Poluição Integrado entre períodos sazonais**

A fim de verificar diferenças possíveis nos valores do Índice de Poluição Integrado (IPI) entre as duas estações climáticas, a Figura 16 apresenta um gráfico do tipo Box-plot que ilustra essas variações. Para a construção do gráfico foram considerados os valores de IPI obtidos em cada ponto de amostragem e nas 12 coletas realizadas ao longo do trecho estudado.

O gráfico mostra que apesar dos maiores valores de IPI terem se apresentado no período de estiagem, não há diferença entre as estações sazonais nos pontos analisados. Como o IPI está relacionado aos valores máximos permitidos dos parâmetros de qualidade de água estimados pela legislação vigente, infere-se que a qualidade da água dos Rios Grangeiro e Salgadinho, ao longo do trecho estudado, permanece estável ao longo do ano, mesmo com o aumento da sua vazão na estação chuvosa, demonstrando que o volume acrescentado não é suficiente para promover a autodepuração no mesmo. É válido ressaltar que quando se trata de IPI, o resultado acima de 1 já caracteriza a desobediência e por menor que esta seja, já rotula o índice como inapropriado. Contudo, algumas coletas de certos pontos específicos foram responsáveis por ampliar as diferenças gráficas entre os índices, mas a maioria dos dados permaneceram próximos, a ponto de não acusar diferença estatística entre eles.

Figura 16 - Valores do Índice de Poluição Integrado (IPI) considerando todas as coletas e pontos do trecho estudado em períodos de chuva e estiagem.



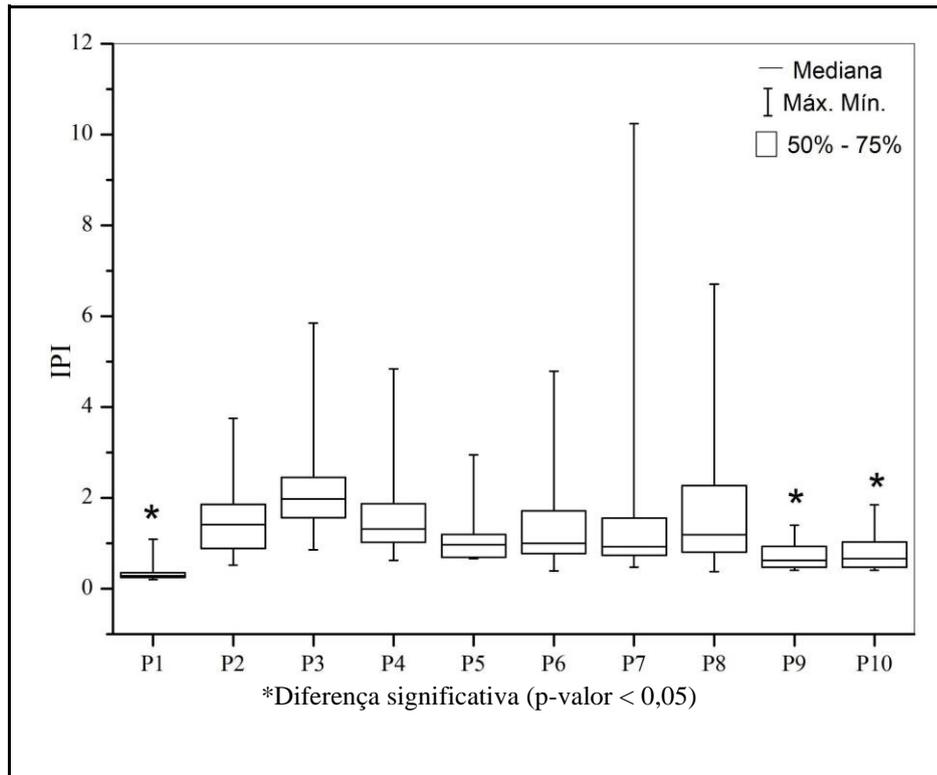
Fonte: Elaboração da autora (2025).

### 5.2.3 Análise da Relação entre o IPI e NDVIrel

As Figuras 17 e 18, apresentam respectivamente, os valores do Índice de Poluição Integral (IPI) e do NDVIrel para cada ponto de coleta, considerando todas as campanhas realizadas.

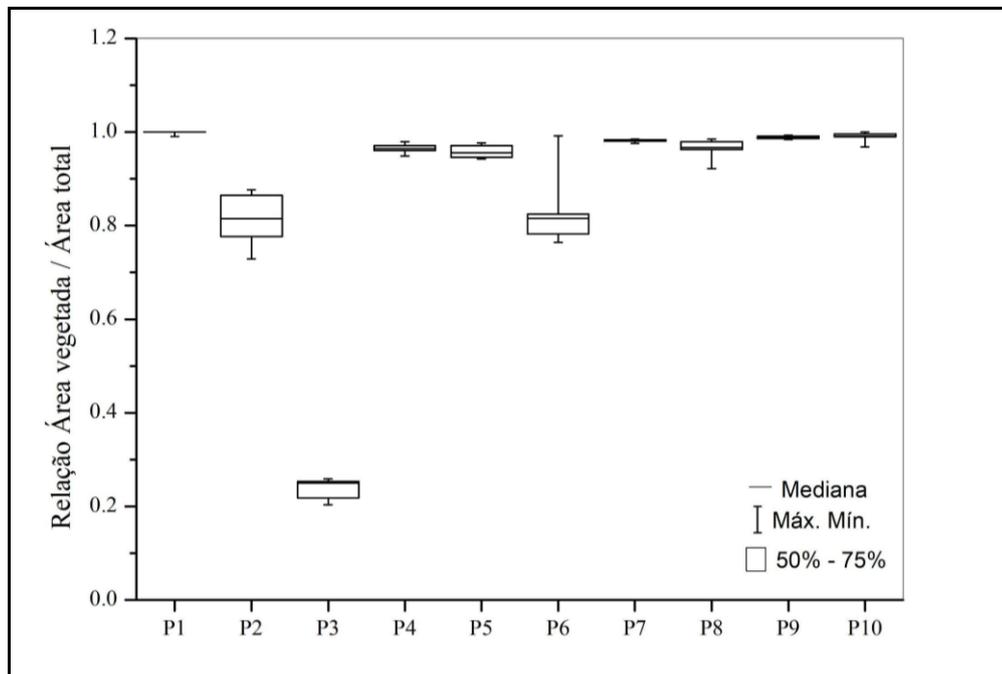
A análise do NDVIrel, revela um comportamento proporcional à qualidade da água. Ou seja, os pontos com valores mais próximos a 1, refletem áreas com maior cobertura vegetal quando analisada sua dimensão total. Assim, nota-se uma similaridade entre os Pontos 1, 9 e 10 (menor índice, como apontado na seção anterior) que obtiveram a maior relação (Figura 18). Percebe-se que esses pontos se diferenciam estatisticamente dos demais.

Figura 17 - Índice de Poluição Integrado (IPI) considerando todos os pontos e coleta amostrados.



Fonte: Elaboração da autora (2025).

Figura 18 - Valores do NDVIrel obtidos através da razão do NDVI e área de cobertura vegetal total de cada ponto do trecho estudado.



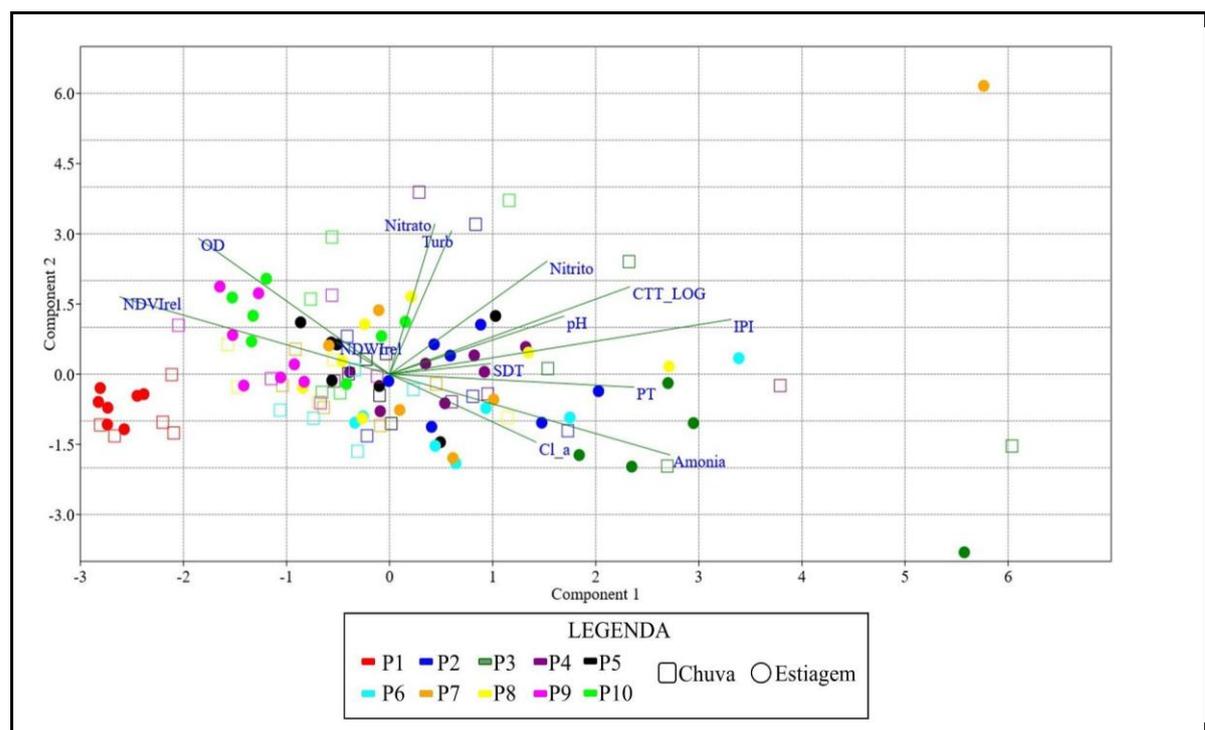
Fonte: Elaboração da autora (2025).

Em contrapartida, os Pontos 2 e 3 se destacam por apresentarem os maiores valores de IPI, indicando uma pior qualidade da água (Figura 17) e os menores valores de NDVIrel (Figura 18). Esses pontos situam-se em áreas urbanas da cidade do Crato, sendo que o Ponto 2 corresponde a um trecho canalizado do rio, e o Ponto 3 a confluência dos cursos d'água urbanos, o que favorece o acúmulo de cargas poluentes. Em suma é possível inferir-se que há uma relação inversa entre o IPI e o NDVIrel, indicando que a redução da vegetação ciliar está associada ao aumento da poluição hídrica.

#### 5.2.4 Análises de Componentes Principais e Fatorial de Agrupamentos não hierárquicos

Com a finalidade de verificar as correlações entre as variáveis analisadas, a Figura 19 apresenta os resultados da Análise Fatorial por Componentes Principais (PCA).

Figura 19 - Análise de Componentes Principais (PCA) em ambos os períodos sazonais, de todos os pontos de coleta.



Fonte: Elaboração da autora (2025).

Na análise de componentes principais (PCA) (Figura 19), observa-se uma correlação positiva entre os parâmetros de cobertura vegetal relativa (NDVIrel) e Oxigênio Dissolvido (OD), ambos situados à esquerda do eixo principal. O oxigênio dissolvido é um parâmetro que

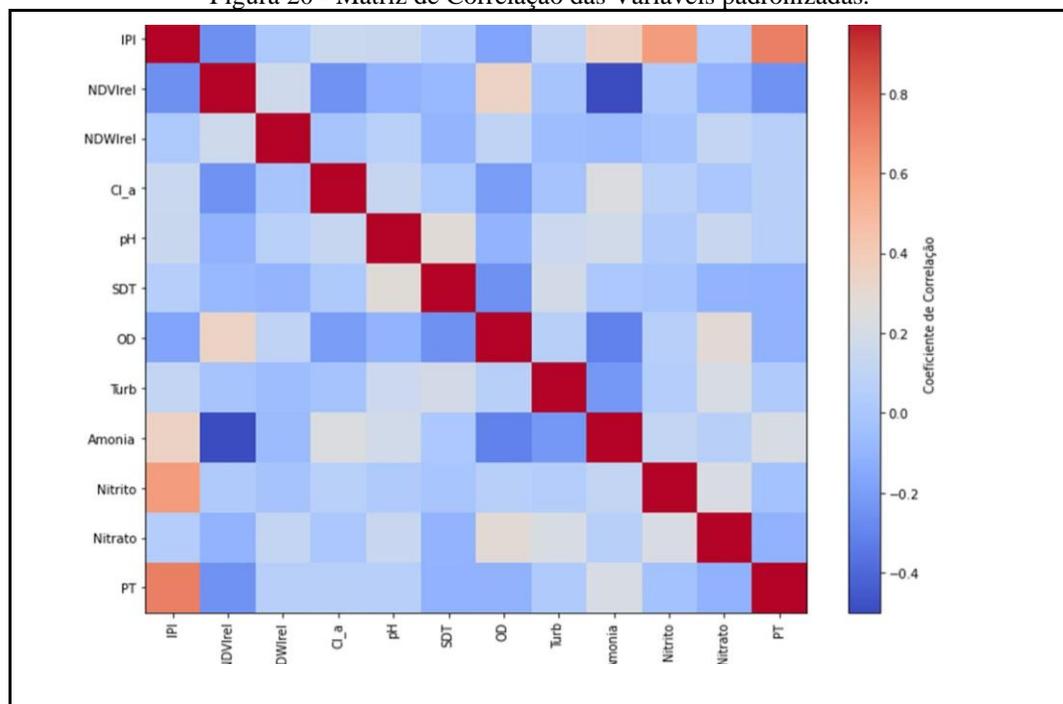
se configura como de extrema importância para a indicação da saúde dos corpos hídricos, uma vez que quanto mais oxigenada a água, melhores serão as interações ecossistêmicas.

A figura também demonstra a tendência de agrupamento ao lado direito do eixo, dos parâmetros indicativos de presença de poluição aquática (nutrientes, turbidez, coliformes termotolerantes, pH, sólidos totais dissolvidos, clorofila “a” e índice de poluição integrado). Esse resultado reflete que, à medida que aumentam as concentrações dos parâmetros associados à poluição, os indicadores de qualidade ambiental tendem a diminuir. Em suma, OD e cobertura vegetal relativa são opostos aos demais parâmetros.

Em relação a localização dos pontos na figura, observa-se uma aglomeração expressiva da nascente (P1), e do início de Missão Velha (P9 e P10) no mesmo eixo dos dados de NDVIrel e OD, indicando uma melhor qualidade de água nesses locais. Consta-se ainda, a presença dos pontos do trecho do Crato (P2, P3 e P4), influenciados fortemente pelos os indicativos de poluição hídrica. A análise também revela que não há uma diferença significativa, quando relacionados os períodos sazonais.

A Figura 20 apresenta os resultados da correlação de Pearson, realizada com o intuito de evidenciar as particularidades das diferentes variáveis avaliadas.

Figura 20 - Matriz de Correlação das Variáveis padronizadas.



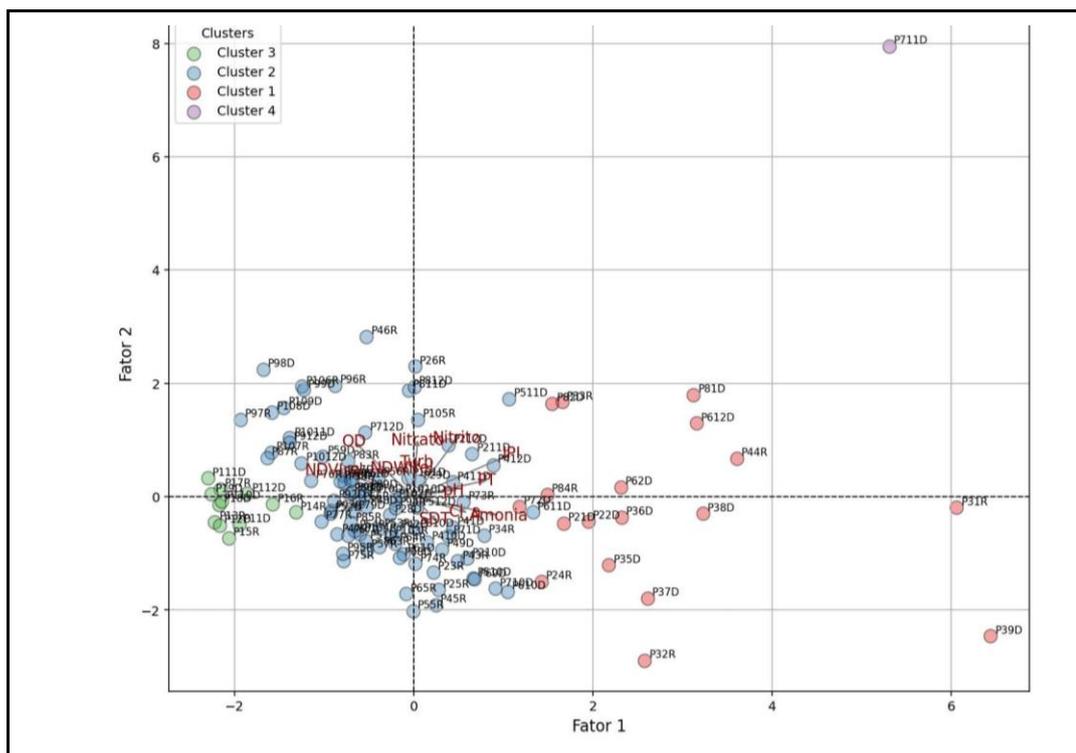
Fonte: Elaboração da autora (2025).

Diante dos resultados obtidos, é possível confirmar que a variável de cobertura vegetal (NDVIrel) possui uma correlação positiva moderada com o Oxigênio Dissolvido (OD) ( $r=0,4$ ), e uma correlação negativa fraca com as demais, com exceção apenas do parâmetro amônia, a qual possui uma correlação negativa forte ( $r < 0,6$ ).

O Índice de Poluição Integrado (IPI), demonstrou uma correlação positiva forte com os parâmetros do fósforo ( $r=0,8$ ), nitrito ( $r=0,7$ ), e positiva moderada com amônia ( $r=0,4$ ), sugerindo que esses são os que mais impactam significativamente nos altos valores de IPI e deterioração da qualidade da água do trecho analisado. Além de uma correlação negativa fraca com os demais parâmetros. Os resultados corroboram com os apresentados na análise de PCA, descrita anteriormente.

A Análise Fatorial de Agrupamentos não hierárquicos (Figura 21), indica a aproximação de 4 grupos distintos (clusters).

Figura 21 -Análise de Cluster não Hierárquico em ambos os períodos sazonais, de todos os pontos de coleta.



Fonte: Elaboração da autora (2025).

O grupo 1 se distancia da maioria dos dados e concentra principalmente o trecho correspondente ao Crato (P2 e P3), além de estarem alocados no eixo de parâmetros indicativos de poluição. Enquanto o grupo 3 aglomera todos os dados relativos a nascente (P1) e podem ser visualizados no mesmo eixo dos parâmetros de saúde ambiental (NDVIrel e OD).

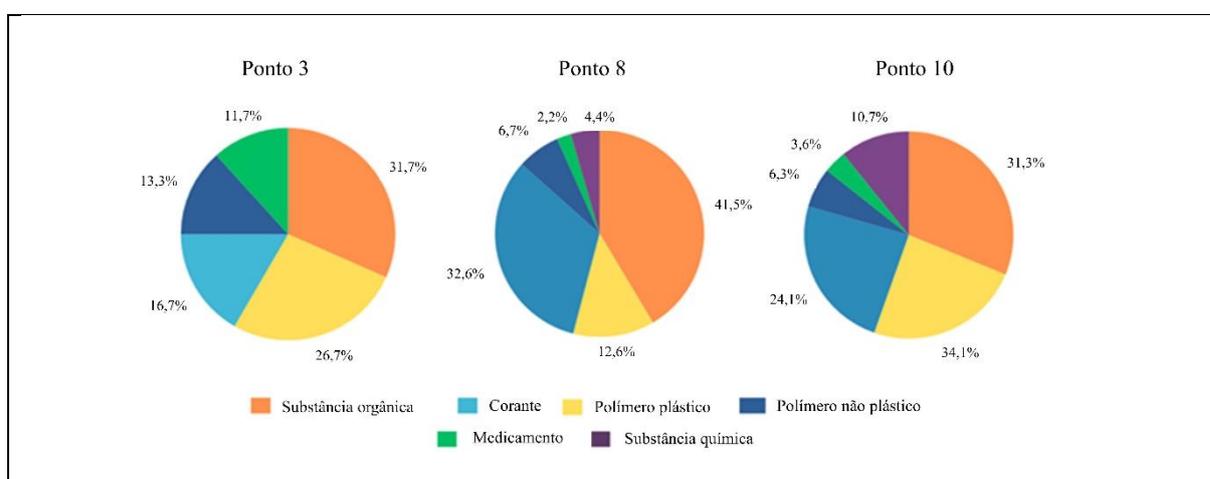
A reunião dos demais pontos nos grupos 2 e 4 indica a similaridade das características entre eles. Esse padrão de agrupamentos corrobora os resultados apresentados na PCA (Figura 19) demonstrando as suas associações.

### 5.3 MICROPLÁSTICOS E SUBSTÂNCIAS ASSOCIADAS

Os resultados em porcentagem de todas as classes referentes aos poluentes e substâncias identificados em microplásticos nas amostras de água dos trechos estudados, inicialmente estão brevemente explanados através de gráficos, conforme demonstra a Figura 22 a seguir.

Em razão do número alto de poluentes e substâncias encontradas (307), as Tabela 1, 2 e 3, localizadas na seção de apêndices, apresentam os dados referentes aos municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha, respectivamente. Nelas, é possível observar a identificação das substâncias, o número do Chemical Abstracts Service (CAS), a classificação e possíveis origens e impactos no meio ambiente e social, conforme a literatura.

Figura 22 - Classificação das substâncias encontradas nos pontos de coleta.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Inicialmente, observa-se que no Ponto 3, referente ao município do Crato, as substâncias orgânicas se destacaram como compostos predominantes, representando 31,7% de todas as substâncias verificadas. Entre elas, o Tetraetilsilano foi o mais prevalente. O elevado percentual dessa classe pode ser atribuído à sua ampla utilização como fonte de proteínas e nutrientes minerais, além de aplicações industriais, como na produção de fármacos e em processos alimentícios.

No entanto, quando presentes em concentrações elevadas, essas substâncias podem provocar impactos negativos na qualidade da água, desencadeando alterações químicas que afetam os ecossistemas aquáticos. Tais efeitos comprometem tanto a sobrevivência quanto o equilíbrio das comunidades biológicas, evidenciando a importância de um monitoramento contínuo e rigoroso (Lin, Lee e Wang, 2014).

Os polímeros plásticos também compõem uma parcela significativa dos compostos identificados, representando cerca de 26,7% das amostras analisadas nesse ponto. Dentre eles, o Sulfeto de Polifenileno (PPS) foi o mais prevalente. Sua ampla presença no ambiente está associada ao uso intensivo desses materiais no cotidiano humano, devido ao baixo custo e à alta durabilidade. Como consequência, esses materiais contribuem de forma expressiva para a poluição terrestre e marinha, intensificando problemas como a ingestão de microplásticos por organismos aquáticos (Kim et al., 2024; Dollischek et al., 2024).

Os corantes (16,7%) são frequentemente utilizados na indústria têxtil, alimentícia e cosmética, e representam riscos devido a sua toxicidade e persistência que podem alterar a qualidade da água e afetar os organismos aquáticos (Yang; Sun, 2011). Polímeros não plásticos (13,3%) e medicamentos (11,7%) foram os menos identificados no Ponto 01. Mesmo em baixas concentrações, os impactos destas substâncias podem alterar o ciclo biológico dos organismos aquáticos além de contribuir para a poluição devido a sua resistência à degradação (Li et al. 2024; González et al. 2021).

No Ponto 8, referente ao município de Juazeiro do Norte, observa-se uma repetição no padrão, com as substâncias orgânicas sendo predominantes (41,5%), seguidas pelos os corantes (32,6%), com destaque para o Índigo Carmine e a Bindone. Os polímeros plásticos, correspondem a 12,6%, apresentando uma menor representatividade em Juazeiro do Norte em comparação ao município do Crato, indicando uma poluição potencialmente mais controlada na área. Polímeros não plásticos, representando 6,7% neste ponto, embora em menor proporção, desempenham um papel significativo na poluição ambiental. Esses materiais são conhecidos por seu potencial de causar disfunções endócrinas e alterações no DNA, comprometendo o funcionamento normal dos organismos e apresentando riscos significativos à biodiversidade e à saúde humana (González et al. 2021). Por fim, as substâncias químicas (4,4%), são associadas a diversas atividades industriais, incluindo a fabricação de capacitores eletrolíticos, a inibição de corrosão, o uso como solventes e aplicações em células de combustível de óxido sólido (Balakrishnan; Bhagavannarayana; Ramamurthi, 2008; Grigorieva et al. 2025).

No Ponto 10, em Missão Velha, as substâncias orgânicas também predominam, representando 31,3% do total identificado. Os corantes (24,1%) são também expressivos neste ponto, considerando sua ampla utilização na indústria têxtil e de alimentos, sendo conhecidos por persistência e acumulação no ambiente (Ayu; Kasiamdari, 2023). Os polímeros plásticos (24,1%) também estão presentes, possuindo o potencial de causar danos graves à fauna e à flora aquáticas. As substâncias químicas (10,7%) e polímeros não plásticos (6,3%) contribuem para a poluição da água, podendo alterar seu equilíbrio e afetar organismos aquáticos. Por fim, a classe dos medicamentos apresentou 3,6%, e embora presente em menor quantidade, também pode ser tóxico, dependendo do seu tipo e da sua concentração.

Os dados obtidos nos três pontos de coleta evidenciam a presença de uma grande variedade de substâncias no ambiente, totalizando 307 compostos identificados e classificados em diferentes grupos, refletindo distintas fontes de poluição e seus potenciais impactos ambientais.

Algumas substâncias se destacam pela sua alta frequência identificada nos pontos de coleta. No Crato (Ponto 3), as principais substâncias foram a Bindone, a celulose e o tetraetilsilano. Em Juazeiro do Norte (Ponto 8), o tetraetilsilano também se destacou, sendo amplamente utilizado na indústria em processos tecnológicos como a Decomposição Química de Vapor (CVD) (Asahina et al. 2003). Em Missão Velha (Ponto 10), prevaleceram o 5-Nitroisatina, Levafix Brown E-2R e o polietileno tereftalato (PET), esse último largamente utilizado em embalagens e conhecido por adsorver poluentes e transportar substâncias orgânicas persistentes, agravando a contaminação ambiental (Jaime-Azuara et al. 2024; Castelvetro et al. 2020).

Dentre as substâncias identificadas nos três trechos estudados, 55 ainda carecem de estudos sobre seus efeitos no meio ambiente e na saúde humana. Essa realidade evidencia a necessidade de investir em estudos ecotoxicológicos, análises de risco e monitoramento ambiental dessas substâncias.

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 INTEGRIDADE DA COBERTURA VEGETAL E QUALIDADE DA ÁGUA

A integridade da mata ciliar tem um papel essencial na manutenção da qualidade hídrica e na estabilidade ecológica desses ecossistemas, sobretudo em regiões semiáridas, onde os corpos hídricos apresentam uma maior vulnerabilidade (Ferreira, 2015; Melo et al. 2018). A ausência de área de mata ciliar decorrente da canalização do Rio Grangeiro e de ocupações urbanas desestruturadas, resulta em impactos significativos nos corpos hídricos, os quais afetam diretamente a qualidade da água e a dinâmica hidrológica, além de desconsiderarem as inúmeras funcionalidades ecológicas dessas áreas, infringindo os dispositivos legais previstos no Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Para Lacerda (2016), são consideradas como os cílios das águas por sua função protetora, e se encontram associadas aos ambientes hídricos. Outra função citável está relacionada à criação dos corredores ecológicos, que favorece o fluxo de animais e vegetais, fornecendo alimento e abrigo para a fauna favorecendo a produção e reprodução das espécies nativas; além de fixar carbono contribuindo para a redução dos gases de efeito estufa (Panizza, 2016).

Solos impermeáveis reduz a infiltração da água da chuva, aumentando o escoamento superficial e a velocidade de resposta da bacia a eventos pluviométricos, ocasionando enchentes urbanas e processos erosivos nas margens dos corpos d'água (Carvalho et al. 2020; Silva; Oliveira, 2023). A supressão da vegetação ciliar e a urbanização desordenada se constituem como fatores críticos para a degradação dos recursos hídricos em bacias do semiárido, comprometendo a proteção das margens, contribuindo para o aumento da temperatura da água, afetando negativamente a biodiversidade aquática (Ribeiro; Pinto, 2016) aumentando eutrofização destes (Medeiros et al. 2016; Santos et al. 2021).

Os valores de NDVI foram equivalentes durante os períodos sazonais analisados. Porém estudos demonstram que mesmo em áreas de estabilidade da vegetação que aparentam estar estável, mudanças importantes na cobertura e densidade ao longo do ano podem ocorrer influenciadas diretamente pela disponibilidade hídrica (Ferreira et al. 2015; Medeiros et al. (2016).

A análise do comportamento da biomassa em áreas de mata ciliar do bioma Caatinga em períodos sazonais permite identificar variações no cenário da cobertura vegetal da mata ciliar em diferentes intervalos interanuais e condições hídricas. A análise detalhada da tipologia da vegetação revelou alterações significativas na estrutura dessa cobertura vegetal ao longo do ano. Com a intensificação da seca prolongada, as classes de vegetação semi-densa e densa diminuem, destacando-se a vegetação baixa. Esse padrão reflete a uma característica específica da Caatinga, que embora possa apresentar estabilidade nos índices espectrais médios, sofre alterações marcantes na sua composição de biomassa, especialmente nas transições entre as estações (Barbosa et al. 2019), havendo um aumento positivo de valores para o período chuvoso indicando a presença vegetativa e um decréscimo para o período seco (Silva Júnior et al. 2024).

A influência do tipo da vegetação ciliar é determinante para a estabilidade ecológica e a qualidade ambiental das zonas ciliares. A densidade da copa e a altura da vegetação também são essenciais para o sucesso da regeneração vegetal (Ferreira et al. 2021). Outro fator a se considerar é que a cobertura de copa das espécies arbóreas, inibe a invasão de gramíneas agressivas, que competem com outros tipos de espécies, incluindo as nativas (Melo 2007; Martins 2007). Uma das práticas mais estudadas nos últimos anos para a recomposição das matas ciliares é a implantação de espécies ou reflorestamento através de mudas de plantas ou sementes (Servilheri et al. 2021; Moura de Oliveira, 2022; Jesus et al. 2024). A escolha das espécies para o reflorestamento é de suma relevância para obtenção de um bom resultado, uma vez que se deve preferir as espécies nativas da região e seu entorno, ou as semelhantes.

O conhecimento do comportamento da qualidade e quantidade de água em corpos hídricos é essencial para o planejamento de uso, manejo e controle de uma bacia hidrográfica, visto que esse monitoramento permitirá o controle dos impactos ambientais negativos, satisfazendo os diversos usuários dos recursos hídricos, (Von Sperling, 2014b). Uma das formas de agregação dos dados de monitoramento da qualidade de água é o uso de indicadores, que se tornaram populares justamente por traduzir e identificar as tendências e mudanças na qualidade da água de forma integrada

A qualidade da água dos Rios Grangeiro e Salgadinho varia ao longo do trecho estudado. Na nascente observa-se uma melhor tendência e essa resposta está diretamente ligada à preservação da mata ciliar no seu entorno que atua como filtro natural. As águas das encostas das nascentes apresentam maior qualidade e menor nível de poluição devido à menor influência de atividades antrópicas, tendo a alta disponibilidade de vazão garantida até mesmo no período de estiagem (Jardim, 2010; Vieira et al. 2023).

Os resultados obtidos corroboram com a análise da relação entre Índice de Poluição Integral (IPI) e cobertura vegetal (NDVIrel). Os locais da nascente e início de Missão Velha possuem os maiores valores de cobertura vegetal, em decorrência da preservação e/ou reconstituição da sua zona de mata ciliar, resultando em uma qualidade da água superior. Áreas com maior cobertura vegetal estão associadas à melhora de parâmetros como turbidez e concentração de sólidos suspensos (Quesada et al. 2017; Vieira 2021) sendo extremamente importantes para a melhora da qualidade de vida da população (Clemente et al. 2019).

A qualidade da água dos rios analisados se torna inferior em trechos referentes ao fim da zona urbana. Áreas urbanizadas tendem a alterar significativamente os ecossistemas aquáticos, em decorrência do escoamento de águas pluviais contaminadas e descarte inadequado de resíduos sólidos, resultando em elevados níveis de nutrientes como nitrato, nitrito, amônio e fosfato em corpos d'água que comprometem a biodiversidade local (Cerqueira et al. 2023; Yuang et al. 2020). O lançamento de efluentes domésticos e industriais, também se configura como uma atividade potencialmente poluidora decorrente das atividades urbanas, podendo ser um forte atuante na mudança de estado trófico dos rios, acarretando em uma degradação progressiva da qualidade das águas (Freire, 2020; Silva, 2020).

No estado do Ceará, Barros (2019) constatou o comprometimento da quantidade e da qualidade de suas águas, por consequência de atividades como o despejo de resíduos sólidos; a retirada da mata ciliar; a deficiência do saneamento básico da região; interferências da agropecuária; e o crescimento urbano desordenado. Da mesma forma, o trecho compreendido como Rio Salgadinho possui águas de qualidade impróprias à balneabilidade e ao consumo humano, sendo um potencial transmissor de doenças de veiculação hídrica por apresentar elevadas concentrações de coliforme totais e termotolerantes, mas que apesar disso ainda é utilizada para irrigação agrícola (Sabiá, 2008; Nunes et al. 2019).

Esses pontos também apresentam uma baixa ocorrência da cobertura vegetal, a qual foi substituída por estruturas como canalizações e edificações, resultando em uma pior qualidade da água, salientada por elevados valores de IPI e baixos índices de NDVIrel. Essa correlação pode ser também confirmada nos trabalhos realizados por Barros et al. (2020) e Silveira et al. (2022), que destacam o NDVI como um indicador eficaz para avaliação do estado de conservação de zonas ciliares e sua influência sobre parâmetros físico-químicos da água. A substituição da vegetação ripária por superfícies impermeáveis é um fator agravante da poluição e degradação hídrica em regiões semiáridas (Lima; Araújo 2016).

A canalização dos corpos hídricos limita os mecanismos naturais de autodepuração, processo no qual os próprios organismos e condições ambientais do rio atuam na degradação da matéria orgânica e na purificação da água. Nos ambientes fortemente impactados, essa capacidade é comprometida, fazendo com que os rios não atinjam os padrões estabelecidos pela resolução vigente, revelando uma baixa eficiência de autodepuração diante da carga orgânica existente (Costa 2018; Silva et al. 2021).

Essas localidades que apresentaram os maiores índices de poluição integrado (IPI) são aquelas que enfrentam maiores desafios relacionados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), devido à ineficiência dos sistemas de saneamento básico. Essa deficiência compromete o atendimento aos múltiplos usos da água, refletindo diretamente na dificuldade de cumprir metas relacionadas à saúde pública e à preservação ambiental. A insuficiência do saneamento está diretamente associada a indicadores que impactam negativamente os ODS, especialmente os abordados nesse estudo, evidenciando a necessidade urgente de melhorias para garantir a qualidade da água e o uso sustentável dos recursos hídricos.

Outro aspecto relevante é a função de “cerca de proteção” desempenhada pela vegetação ciliar, cuja presença concede uma capacidade de autodepuração dos corpos hídricos, limitando a introdução de cargas poluentes de origem antrópica. Essa capacidade é observada na região da saída do município de Crato, em que há uma reintrodução de uma zona ciliar, ainda que composta predominantemente por espécies não nativas, como pastagens e culturas agrícolas. Nessa área, a qualidade da água apresenta-se inferior àquela observada no trecho canalizado, devido à concentração de poluentes provenientes da zona urbana adjacente. No entanto, com a progressiva recuperação da vegetação ciliar e o retorno da vegetação nativa, verifica-se uma tendência de melhoria na qualidade da água. Fenômeno semelhante é constatado a jusante do ponto de lançamento da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE – Malvas), onde o percurso mais longo até a cachoeira de Missão proporciona condições favoráveis para os processos naturais de autodepuração.

Em relação a análise entre os períodos sazonais, não houve variação estatística da qualidade da água no trecho estudado. Embora os maiores valores de IPI tenham sido registrados durante a estiagem, esse aumento não se mostrou suficientemente expressivo para caracterizar uma mudança relevante no índice ao longo do ano. Estudos realizados em bacias urbanas do semiárido brasileiro apontam que, mesmo com eventos de cheia, a qualidade da água não melhora de forma significativa, justamente pela baixa capacidade de absorção do solo e acúmulo de poluentes nas margens (Santos et al. 2021; Sonoda, 2010). Por outro lado,

acredita-se que um olhar para os parâmetros individuais aponta uma diferença de qualidade nos dois períodos, assim como verificou Costa (2021).

A ausência de uma variação bem distinta pode estar relacionada a alguns fatores, entre eles a persistência das fontes de poluição como os lançamentos de esgoto doméstico e a ausência de infraestrutura de saneamento em algumas áreas, durante todo o ano se tornando responsável por manter uma constância das cargas poluidoras (Medeiros et al. 2016; Santos et al. 2021). A variabilidade entre os anos da qualidade da água se torna mais relevante do que a sazonal, provavelmente devido à descarga contínua de efluentes, que prejudicam os efeitos hidrológicos sazonais (Freire, 2020).

Ferreira, (2015) afirma que o volume adicional de água resultante das chuvas pode não ser suficiente para promover uma diluição significativa ou a autodepuração dos rios, especialmente em regiões semiáridas, onde a escassez de chuvas e a baixa capacidade de resposta hidrológica dificultam o escoamento superficial até os rios. A frequência rotineira nos níveis de poluição ao longo do trecho estudado, não depende da sazonalidade climática. Essa constância nos níveis de poluição ao longo das estações pode ser um indicativo de que o sistema já se encontra em um estado de degradação contínua, com baixa resiliência ambiental.

A análise de componentes principais (PCA) demonstrou uma conexão direta entre a cobertura vegetal por área (NDVIrel) e o oxigênio dissolvido (OD), indicando que áreas com maior densidade de vegetação costumam apresentar melhores oxigenação hídrica. Uma das funções da vegetação ciliar se concentra na moderação térmica dos cursos d'água favorecendo a solubilidade do oxigênio (Tundisi; Tundisi, 2008; Oliveira; Santos; Araújo 2018).

Em contrapartida, os parâmetros indicativos de poluição hídrica exemplificados neste estudo pela turbidez, nutrientes, coliformes termotolerantes, pH, clorofila "a", sólidos totais dissolvidos e Índice de Poluição Integrado (IPI), apresentaram uma correlação negativa com os indicadores de qualidade ambiental. A degradação da vegetação ciliar é uma das principais causas do aumento da carga difusa e da deterioração da qualidade da água em bacias hidrográficas. A disposição dos pontos de amostragem reforça essa tendência, onde os trechos da nascente e do início de Missão Velha, com maiores valores de cobertura vegetal por área e oxigênio dissolvido, apresentaram melhor qualidade da água, ao passo que os pontos do trecho urbano do Crato mostraram-se mais impactados pela poluição, possivelmente em decorrência do adensamento urbano e da ausência de infraestrutura de saneamento básico.

As correlações de Pearson também confirmam essas vinculações: o NDVIrel apresentou correlação positiva moderada com OD ( $r = 0,4$ ), o que valida a importância da

vegetação na manutenção da qualidade da água. O IPI, por sua vez, demonstrou correlação forte com fósforo ( $r = 0,8$ ) e nitrito ( $r = 0,7$ ), além de correlação moderada com amônia ( $r = 0,4$ ), indicando que esses nutrientes estão fortemente ligados à degradação da qualidade hídrica.

Por fim, a análise fatorial de agrupamentos não hierárquicos reforçou os achados da PCA ao identificar quatro clusters distintos. O grupo 1, formado exclusivamente por pontos do Crato, destacou-se negativamente por sua associação com os parâmetros de poluição, o que indica condições ambientais críticas. Em contraste, o grupo 3, representado pela nascente (P1), destacou-se por sua associação com os parâmetros positivos (NDVIrel e OD), evidenciando condições mais naturais e preservadas.

Os dados dos testes estatísticos demonstram nitidamente que a cobertura vegetal serve como parâmetro indicativo, uma vez que se caracteriza como próximo dos parâmetros de indicadores da saúde e maior qualidade das águas. Além disso, os testes corroboram entre si e com resultados descritos nas seções anteriores. Os resultados reforçam a importância da proteção e recuperação da vegetação ciliar como estratégia fundamental para aprimorar a qualidade da água e aumentar a resiliência ecológica em regiões semiáridas (Rocha et al. 2024; Lacerda et al. 2020).

## 6.2 MICROPLÁSTICOS

Os microplásticos correspondem a uma classe diversificada e importante de partículas que variam em termos de morfologia, origem, densidade e cor (Stark, 2019). Nos pontos de coleta, diferentes substâncias se destacam devido à sua alta frequência. Em Crato, as principais foram a bindone, a celulose e o tetraetilsilano. A Bindone, é amplamente utilizada em materiais poliméricos e dispositivos fotovoltaicos, mas apresenta potencial toxicidade aguda, conforme estudos realizados em organismos modelo (Liu et al. 2021; PubChem, 2024). A celulose, um polímero natural com aplicações diversas, desde alimentos a formulações farmacêuticas, é também uma fonte de poluição ambiental, pois os resíduos gerados durante sua produção podem causar efeitos endócrinos e danos genéticos nos organismos expostos (Fleming et al. 2001; González et al. 2021). O tetraetilsilano, por sua vez, é essencial em tecnologias de ponta, como a deposição de filmes finos de silício, mas estudos não indicam impactos ambientais significativos até o momento (Asahina et al. 2003).

Em Juazeiro do Norte, as substâncias orgânicas estão em maior ocorrência. Entre os efeitos potenciais, destaca-se a liberação de compostos nocivos que podem ser inalados, atingindo o sistema respiratório e circulatório (Rasking et al. 2023). Além disso, esses

compostos frequentemente incluem gases de efeito estufa, que contribuem para o aquecimento global e intensificam as mudanças climáticas (Shi, Zhu e Li, 2024).

Em Missão Velha, chama atenção a presença do 5-Nitroisatina e do Levafix Brown E-2R. O 5-Nitroisatina é derivado do metabolismo do triptofano e apresenta diversas propriedades biológicas, como ações antimicrobianas e anticancerígenas, porém não foram encontrados estudos que indiquem seus potenciais impactos ambientais (Karthick et al. 2021). Já o Levafix Brown E-2R, é um corante amplamente usado na indústria têxtil, e causa poluição hídrica devido à sua toxicidade e persistência ambiental (Kalpana et al. 2012).

A substância que esteve presente em todos os três pontos de coleta e se destacou pela sua alta frequência de aparição foi o tetraetilsilano. A sua alta recorrência evidencia uma relevância no trecho estudado, devido à sua ampla aplicação nos setores industriais.

Em relação às fontes que contribuem para a presença de microplásticos em ambientes de água doce essas são diversas, pelo o escoamento de águas pluviais, descarte inadequado de embalagens, lixiviação de resíduos de aterros, lixões depósitos de áreas agrícolas (Zhang et al. 2020), a lavagem de roupas sintéticas, uso de materiais plásticos em atividades pesqueiras, aporte de microfibras e microsferas no esgoto e entrada na Estação de Tratamento de Esgoto (Montagner et al. 2021), desintegração de folhas de polietileno agrícola (Caixeta et al. 2018), despejo irregular de lixo, (Wagner et al. 2014; Barbosa, 2018), dentre outros.

A significativa presença de polímeros nos três pontos de amostragem analisados parece estar diretamente associada à canalização do Rio Grangeiro, abrangendo o perímetro urbano do município do Crato, estendendo-se posteriormente às imediações de Juazeiro do Norte e Missão Velha cidades em que o rio tangencia e favorece o acesso a este corpo hídrico. A intervenção antrópica aumenta sua suscetibilidade à contaminação por microplásticos, os quais podem ser transportados por longas distâncias ao longo do curso do rio. Ademais, a facilidade de acesso às margens do rio potencializa o descarte inadequado de resíduos sólidos, fato evidenciado por observações em campo ao longo de toda a extensão dos rios, com destaque para a zona do canal, as proximidades da saída de uma Estação de Tratamento de Esgoto e da região da Cachoeira de Missão Velha.

O aporte de microplásticos nos corpos hídricos estudados é fortemente influenciado pelo regime pluviométrico, caracterizado por chuvas irregulares e períodos prolongados de estiagem. Durante a estação chuvosa, o escoamento superficial transporta os microplásticos das áreas urbanas e rurais para os corpos hídricos. Entretanto, devido à baixa vazão dos rios no período seco, a dispersão desses poluentes é reduzida, favorecendo o seu acúmulo no leito e nas

margens dos corpos hídricos. Além disso, a menor renovação das águas durante a estiagem, prolonga o tempo de retenção dos microplásticos nos ecossistemas aquáticos, intensificando sua concentração e os impactos ambientais associados.

A introdução desses poluentes nos corpos hídricos, aliada à liberação de contaminantes e substâncias químicas presentes em sua composição, compromete a qualidade da água nos trechos estudados. Essa degradação interfere diretamente no uso desse recurso para atividades como irrigação e recreação, além de impactar o equilíbrio ecológico dos ecossistemas aquáticos.

## **7 CONCLUSÃO**

A cobertura vegetal das áreas de mata ciliar apresentou relação com a qualidade da água relacionada ao Índice de Poluição nos trechos estudados do Rio Grangeiro e Salgadinho. Embora a correlação tenha sido estatisticamente fraca, reconhece-se a notoriedade que as áreas vegetativas dos entornos dos corpos hídricos apresentam-se como ferramenta para inferir sobre a saúde ambiental desses ecossistemas estudados.

A avaliação da adequação da faixa de mata ciliar às diretrizes legais evidenciou que os trechos correspondentes a canalização do Rio Grangeiro, e os locais ocupados irregularmente e com alta taxa de urbanização, não cumprem as exigências mínimas do Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), em nenhum dos períodos sazonais analisados. Esta ausência compromete funções ecológicas essenciais dessa área de proteção para os cursos d'água, como a estabilização das margens, a proteção contra o assoreamento e a filtragem de poluentes.

Embora não existam mudanças significativas de valores da cobertura vegetal nos pontos entre os períodos sazonais, observa-se uma diferença na tipologia da vegetação, onde na estiagem, a vegetação baixa se sobressai em relação a alta e semi-alta. Essa alteração é um fenômeno típico do bioma Caatinga em razão da sua capacidade adaptativa, porém serve como facilitadora para uma maior aproximação antrópica, capaz de alterar ainda mais a paisagem em questão.

O Índice de Poluição Integrado (IPI) e o NDVIrel, identificou que a nascente e o início da cidade Missão velha possuem melhor qualidade das suas águas e integridade da cobertura vegetal, presumivelmente por serem locais menos urbanizados. Em contrapartida, o trecho mais poluído se concentrou no Crato, onde há a ausência total da zona de mata ciliar por conta da canalização do Rio Grangeiro e de confluência de poluentes da cidade.

A qualidade da água do trecho do rio não se modificou diante da mudança das estações, aludindo que as fontes de poluição são contínuas ao longo do ano. Assume-se ainda, que a qualidade da água não está associada com a densidade ou extensão da vegetação ciliar presente apenas no trecho pontual analisado, mas sim à continuidade e à conectividade longitudinal da faixa ciliar ao longo do curso hídrico que garanta a integridade da água suas capacidades autodepurativas.

No que tange aos microplásticos e substâncias associadas, o total de 307 compostos foram identificados. Em Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha predominou a classe de substâncias orgânicas compreendendo uma ampla gama de compostos utilizados em aplicações industriais e processos alimentícios, que em concentrações elevadas, geram impactos negativos na qualidade da água. Além disso, nos três municípios, observou uma expansiva presença de polímeros devido ao uso intensivo desses no cotidiano humano, e corantes que são amplamente utilizados na indústria têxtil e de alimentos, ambos conhecidos por persistência e acumulação no ambiente.

Dentre as substâncias identificadas no trecho estudado, 55 ainda carecem de estudos sobre seus efeitos no meio ambiente e na saúde humana. Essa situação destaca a importância de se investir em pesquisas ecotoxicológicas, avaliação de riscos e no monitoramento ambiental dessas substâncias.

## REFERÊNCIAS

- ABÍLIO, F. J. P.; FLORENTINO, H. da S.; RUFF, T. de M. **Biodiversidade aquática da caatinga paraibana: limnologia, conservação e educação ambiental**. João Pessoa-PB: Editora UFPB, 2018.
- AB’SABER, A. N. **O suporte geocológico das florestas beiradeiras (Ciliares)**. In: RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; Leitão Filho, Hermógenes de Freitas (E.E.). *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*. São Paulo: Edusp, 2009, p. 15-25.
- AGÊNCIA SENADO. **Sancionada com vetos lei que permite edificações às margens de rios e lagos em área urbana**. Disponível em: [Sancionada com vetos lei que permite edificações às margens de rios e lagos em área urbana — Senado Notícias](#). 2021. Acesso em: 12 jun. 2024.
- AIRES, E. S.; SANTOS, E. E. F.; SANTOS, M. H. L. C.; SOUZA, J. B. de; SANTOS, L. P. dos. **Recomposição de mata ciliar: uma proposta de educação ambiental**. *Nature and Conservation*. v. 11, n. 2, p. 22–30, 2018.
- ALENCAR, M. do S. F.; CELEGATTI, D.; BEZERRA, M. de L. F. D.; GONDIM, R. R. **A Caatinga no Paisagismo e Arborização Urbana**. *Revista On-line do CESED – Centro de Ensino Superior e Desenvolvimento*. v. 20, n. 32/33 ed. *Revista Te*, 2019.
- ALMEIDA F. DA S.; COSTA C. T. F.; FILHO F. J. de P.; COUTINHO J. V. **Segurança hídrica: um estudo de caso na sub-bacia hidrográfica do Rio Salgado – Ceará**. In: XVI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE (SRHNE), 2022, Caruaru. *Anais*. Caruaru: ABRHidro, 2022. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/187/XVISRHNE0226-1-20220720-234756.pdf>.
- AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M. **Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações**. 1. ed. Tupã-SP: ANAP, 2018. v. 1.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **ANA lança estudo sobre estimativa de evapotranspiração real no Brasil**. 2020. Disponível em: [ANA lança estudo sobre estimativa de evapotranspiração real no Brasil — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico \(ANA\) \(www.gov.br\)](#). Acesso em: 01 set. 2023.
- ANBUMANI, S.; KAKKAR, P. **Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 15, p. 14373–14396, 2018.
- APHA - American Public Health Association; American Water Works Association – Awwa; Water Environment Federation – Wef. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22a.ed. Washington D C. 2012.

ARAUJO, C. F., NOLASCO, M. M., RIBEIRO, A. M., RIBEIRO-CLARO, P. J. **Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects.** *Water Research*, v. 142, p. 426–440, 2018.

ARAÚJO, R. S. **Análise histórica do processo de expansão urbana das cidades de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte.** 2013. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável, Centro de Pesquisa e Pós-Graduação do Semiárido, Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, 2013.

ARZET K. **O Rio Isar: Munique, Alemanha.** Machado A.T.G.M., Lisboa A.H., Alves C.B.M., Lopes D.A., Goulart E.M.A., Lite F.A., Polignano M.V. (Org.) In: Revitalização de rios no mundo: América, Europa e Ásia. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2010.

ASA Brasil – Articulação do Semiárido Brasileiro. **Semiárido - É no Semiárido que a vida pulsa!**. 2023. Disponível em: [SEMIÁRIDO - ASA Brasil - Articulação no Semiárido Brasileiro](#). Acesso em: 27. jul. 2023.

ASAHINA, S. et al. **Crystalline Structure of SiC Thin Films Grown by MOCVD Method with Tetraethylsilane.** *Journal of The Surface Finishing Society of Japan*, 2003. v. 54, n. 5.

AYU, Y. S.; KASIAMDARI, R. S. **Biological Treatment of Naphthol Yellow S and Batik Effluent using Aspergillus tamarii and Aspergillus sclerotiorum.** *Research journal of chemistry and environment*, v. 27, n. 6, p. 1–7, 2023.

BALAKRISHNAN, T.; BHAGAVANNARAYANA, G.; RAMAMURTHI, K. **Growth. Structural, optical, thermal and mechanical properties of ammonium pentaborate single crystal.** *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*, v. 71, n. 2, p. 578–583, 2008.

BAPTISTA NETO, J. A., GAYLARDE, C., BEECH I., BASTOS A. C., QUARESMA, V. da, DE CARVALHO D. G. **Microplastics and attached microorganisms in sediments of the Vitória bay estuarine system in SE Brazil.** *Ocean and Coastal Management*, v. 169, n. dec. p. 247–253, 2019, 2018.

BARBOSA, A.H.S; CUELLAR, M. Z. MOREIRA, M. M.; ARRAES K. A. **Mapeamento e Análise dos Espelhos D'água dos Principais Reservatórios da Paraíba por meio de Sensoriamento Remoto.** *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2019.

BARBOSA, H.A.; *et al.* **Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016).** *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 148, p. 235-252, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>

BARBOSA, J. E. L.; *et al.* (2021). “**Impacts of interbasin water transfer on the water quality of receiving reservoirs in a tropical semi-arid region**”. *Hydrobiologia* 848, pp. 651-673. DOI 10.1007/s10750-020-04471-z.

BARBOSA, P. S. **Ingestão de Partículas de plástico pelo Pacu-Curupeté Tometes kranponhah (SERRASALMIDAE), peixe endêmico do Rio Xingu, Brasil**. Belém, (UFPA), 2018. Monografia (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca), Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

BARROS, F. F. **Impactos ambientais no trecho urbano do rio Salgado em Lavras da Mangabeira-CE**. 2019. 54 f. Monografia (Licenciatura em Geografia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Formação de Professores, Cajazeiras (PB).

BARROS, M. A. *et al.* **Análise espacial da cobertura vegetal em Juazeiro do Norte-CE utilizando imagens de satélite e NDVI**. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 12, n. 2, p. 45-60, 2020.

BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N.; SILVA, E. V.; **Aspectos geoambientais e contribuições para estratégias e planejamento ambiental da serra de Baturité/CE**. *Revista da Anpege*, v. 13. n. 21, p. 163-198, 2017.

BEZERRA DOS SANTOS, L. **Floresta galeria**. In: IBGE. *Tipos e Aspectos do Brasil*. 10 ed. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1975. p. 482-484.

BIELUCZYK, W. *et al.* **Forest restoration rehabilitates soil multifunctionality in riparian zones of sugarcane production landscapes**. *Science of The Total Environment*. Volume 888. 2023. ISSN 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164175>.

BORGES, L. A. C. *et al.* **Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira**. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1202-1210, jul. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000700016>.

BORGES, M. G.; RODRIGUES, H. L. A.; LEITE, M. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento do Cerrado no Norte de Minas Gerais e suas fitofisionomias**. *Caderno de Geografia*, v. 29, n. 58, p. 819-835, 2019.

BRASIL. **Constituição Da República Federativa Do Brasil De 1988**. Portal Planalto Disponível em: [Constituição \(planalto.gov.br\)](https://www.planalto.gov.br). Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Institui o Código Florestal Brasileiro. Portal Planalto. Disponível em: [L4771 \(planalto.gov.br\)](https://www.planalto.gov.br). Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em: [L6938 \(planalto.gov.br\)](https://www.planalto.gov.br). Acesso em: 16 set. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível: [L9433 \(planalto.gov.br\)](http://L9433(planalto.gov.br)) Acesso em: 15 set. 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, 2007. Disponível em: [Lei nº 11.445 \(planalto.gov.br\)](http://Lei nº 11.445 (planalto.gov.br)). Acesso em: 16 set. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Portal Planalto. Disponível em: [L12651 \(planalto.gov.br\)](http://L12651 (planalto.gov.br)). Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Esta Lei atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, 2020. Disponível em: [L14026 \(planalto.gov.br\)](http://L14026 (planalto.gov.br)). Acesso em: 16 set. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021**. Altera as Leis nos 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, 11.952, de 25 de junho de 2009, que dispõe sobre regularização fundiária em terras da União, e 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, para dispor sobre as áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. Portal Planalto. Disponível em: [L14285 \(planalto.gov.br\)](http://L14285 (planalto.gov.br)) . Acesso em: 08 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (Funasa). **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – Resolução nº 429, de 28 de fevereiro de 2011a**. Dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente – APPs. Disponível em: [resolucao\\_conama\\_429-11.pdf \(fiocruz.br\)](http://resolucao_conama_429-11.pdf (fiocruz.br)). Acesso em: 01 set. 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Secretaria Nacional de Saneamento (SNS). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 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. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília (DF), n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BU, Q., WANG, D., WANG, Z., GU, J. **Identification and ranking of the risky organic contaminants in the source water of the Danjiangkou reservoir.** Front. Env. Sci. Eng. 8, 42 e 53, 2014.

CABRERA M., VALENCIA B. G., SOLIS O. L., CALERO J. L., MAISINCHO L., CONICELLI B., MOULATLET G. M., CAPPARELLI M. V. **A new method for microplastic sampling and isolation in mountain glaciers: a case study of one Antisana glacier, Ecuadorian Andes.** Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, p. 100051, 2020.

CAIXETA, D. S.; CAIXETA, F. C.; MENEZES FILHO, F. C. M. **Nano e Microplásticos nos ecossistemas: Impactos ambientais e efeitos sobre os organismos.** Enciclopédia Biosfera, v.15, n.27, p. 19-34, 2018.

CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

CAPOLUPO, M., SORENSEN, L., JAYASENA, K. D. R., BOOTH, A.M., FABBRI E. **Chemical composition and ecotoxicity of plastic and car tire rubber leachates to aquatic organisms.** Water Research, Volume 169, 2020, 115270, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115270>.

CARLSON, R.E. (1977) A trophic state index for lakes. Limnol. and Oceanogr. v.22 (2).p. 261-269.

CARPANEZZI, A. A. Benefícios indiretos da floresta. In: GALVÃO, A. P. M. Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. Colombo: Embrapa-CNPq, 2000. p. 19-55.

CARVALHO, R., SILVA, D., & MENDES, J. (2020). **Efeitos da urbanização sobre a infiltração e o escoamento superficial na cidade de Goiânia-GO.** Fundação Nacional de Engenharia.

CASTELVETRO, V. et al. **Quantification of poly(ethylene terephthalate) micro- and nanoparticle contaminants in marine sediments and other environmental matrices.** Journal of Hazardous Materials, 2020. v. 385.

CASTEROT, B. **Rio Sena: Paris, França.** In: MACHADO, A.T.G.M. Revitalização de rios no mundo. Belo Horizonte: Instituto Guaicury, 2010.

CASTRO, A. R. C.; WATRIN, O. S. **Análise espacial de áreas com restrição legal de uso do solo em projeto de assentamento no sudeste paraense**. Geografia Ensino & Pesquisa. v. 17, n. 2. 10 p. 2013.

CBHS – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SALGADO (Ceará). **Conheça nossa Bacia Hidrográfica. Crato (CE)**, 2019. Disponível em: <http://www.csbhsalgado.com.br/conheca/>. Acesso em: 28 jul. 2023.

CEARÁ. **Geopark Araripe: a história da vida na Terra recontada no Ceará**. 2021. Disponível em: [Geopark Araripe: a história da vida na Terra recontada no Ceará - Governo do Estado do Ceará \(ceara.gov.br\)](http://www.geoparkararipe.com.br/). Acesso em: 03 out. 2023.

CEARÁ – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE. **Perfil Básico Municipal – IPECE. 2025**. Disponível em: [IPECEDATA | Sistema de Informações Geossocioeconômicas do Ceará](http://www.ipece.ce.gov.br/) Acesso em: 05 abr. 2025.

CEARÁ. **Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará**. Ceará: SRH, 2018. Acesso em: 28 Jul. 2023.

CEARÁ, Secretaria de Recursos Hídricos - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Planilha de informações gerais e específicas das fontes da Bacia do Araripe, Ceará**. 2020.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 2007**. São Paulo. 2008. 180 p. Disponível em: [Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – 2007 » PROCLIMA - Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo \(cetesb.sp.gov.br\)](http://www.cetesb.sp.gov.br/) . Acesso em: 16 set. 2023.

CERQUEIRA, A.; CARVALHO, Á. **Recomposição Florestal de Matas Ciliares: Florestas no Solo Água nos Rios**. 3.ed.rev. Salvador: Gráfica Print Folhas, 2007.

CERQUEIRA TC, MENDONÇA RL, GOMES RL, DE JESUS RM, DA SILVA DML. **Efeitos da urbanização na qualidade da água em uma bacia hidrográfica no nordeste do Brasil**. Environ Monit Avaliar. 2019; DOI: 10.1007/S10661-019-8020-0.

CIRIN, C; LINO, D.; TEIXEIRA, M. **A indústria de transformados plásticos**. 1. Ed. São Paulo: Editora Soraia Nigro de Lima, 2017. v.2.

CLEMENTE, A. C.; PEREIRA, F. R.; SOUZA, A. P. de. **A cobertura vegetal e seus impactos na qualidade de vida em Guanambi – BA**. Caminhos de Geografia, v. 20, n. 71, p. 276-289, 2019.

CONKLE, J. L.; Báez Del Valle, C. D.; Turner, J. W. **Are We Underestimating Microplastic Contamination in Aquatic Environments?** Environmental Management, p. 1-8, 2017.

COPERNICUS. **Sentinel Data – Sentinel-2.** Disponível em: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2>. Acesso em: 09 set. 2024.

CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro.** (Biodiversidade - Região Nordeste). Eletrônica. Brasília, DF: MMA, 2018.

CORREIA, I. M. G.; SOUZA, B. H. de; MOURA, D. C.; SOUZA, Y. G. **Mata ciliar, conservação e sustentabilidade, fundamentos da importância para o semiárido paraibano: estudo de caso no alto curso do Rio Paraíba.** Revista de Geociências do Nordeste. v. 5, n. 2, p. 41–60, 2019.

COSTA, F. N. L.; OLIVEIRA, Y. R.; SILVA, P. H. da; FERREIRA, P. M. P.; PACHECO, A. C. L.; ABREU, M. C. de. **Avaliação da qualidade hídrica de um rio do semiárido Piauiense.** Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 3, n. 2, p. 218–225, 2018.

COSTA, J. da S. **Impactos sociocambientais causados pelos resíduos sólidos lançados no riacho Caraipeirinhas, localizado em Delmiro Gouveia - Alagoas.** 2019. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) – Unidade Delmiro Gouveia – Campus do Sertão, Curso de Geografia, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2018.

COSTA, L. M. S. (Org). **Rios e Paisagens urbanas em cidades brasileiras.** Rio de Janeiro: Viana Mosley, 2006.

CHAGAS, D. B. **Litoestratigrafia da Bacia do Araripe: reavaliação e propostas para revisão (dissertação).** Rio Claro/SP: Universidade Estadual Paulista, 2006.

DE ALMEIDA FERREIRA, E. *et al.* **Mudanças na diversidade da paisagem de uma Bacia Hidrográfica no Semiárido Nordeste ao longo da seca prolongada de 2012-2017.** 2025. DOI: 10.47242/978-65-87959-54-2-15.

DECRETO N° 23.793, de 23 de janeiro de 1934. **Aprova o Código Florestal.** Brasília, 1934. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1930-1949/D23793impressao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793impressao.htm). Acesso em: 04 ago. 2023.

DE OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FRANÇA, FMC. **Recomposição da mata ciliar e reflorestamento no semiárido do Ceará.** Cartilhas temáticas tecnologias e práticas hidroambientais para convivência com o Semiárido, v. 5, 2010.

DE PAULA FILHO, F. J. **Avaliação integrada da bacia de drenagem do Rio Paraíba através de fatores de emissão de cargas de nitrogênio e fósforo e índices de qualidade de águas.** 193 f. Tese (doutorado) - Curso de Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

DE SOUZA, D. N. Comportamento Temporal do IQA (Índice De Qualidade Da Água) e sua Relação com a Precipitação em um trecho dos Rios Batateiras e Grangeiro - Ceará. 82 p. TCC (Graduação) - Engenharia Ambiental, Instituto Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, 2014.

DI BENEDITTO, A. P.; AWABDI, D. R. **How marine debris ingestion differs among megafauna species in a tropical coastal area.** Marine Pollution Bulletin, v. 88, n. 1-2, p. 86-90, 2014.

DIKAREVA, N.; SIMON, K. S. **Microplastic pollution in streams spanning an urbanisation gradient.** Environmental Pollution, v. 250, p. 292–299, 2019.

DI, M.; WANG, J. **Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China.** Science of the Total Environment, v. 616–617, p. 1620–1627, 2018.

DING, L., MAO R. F., GUO X., YANG X., ZHANG Q., YANG C. **Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China.** Science of the Total Environment, v. 667, p. 427–434, 2019.

DOLLISCHEK, L. B. et al. **Injection molding of post-industrial recycled glass fiber reinforced polyphenylene sulfide (PPS GF40): industrial feasibility and material analysis.** Journal of Cleaner Production, 15 set. 2024. v. 471.

EISHOEELI, E., MIRYAGHOUBZADEH, M., SHAHEDI, K. **A novel knowledge base method in Riparian Buffer Zone (RBZ) delineation with remote sensing imagery.** Ecological Engineering. Volume 184. 2022,106756. ISSN 0925-8574. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106756>.

EMENIKE E. C., OKORIE C. J. , OJEYEMI T., EGBEMHENGHE A., IWUOZOR K. O., SALIU O. D. OKORO H. K., ADENIYI A. G. **From oceans to dinner plates: The impact of microplastics on human health.** Heliyon, v. 9, e. 10, e20440, 2023.

FÁVERO, L.; FÁVERO, P. **Análise de dados: técnicas multivariadas exploratórias com SPSS e STATA.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Elsevier Brasil, 2017.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de Análise de Dados: Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FÁVERO, L. P. L. et al. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Elsevier, 2009.

FDA - Food and Drug Administration. **The Microbead-Free Waters Act: FAQs,** 2017.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. **Vegetação e flora da Caatinga.** Ciência e Cultura. n. november, p. 51–56, 2018.

FERRARO, J. R. **Introductory raman spectroscopy.** [s.l.] Elsevier, 2003.

FERREIRA, M. I. P.; SILVA, J. A. F.; PINHEIRO, M. R. C; **Políticas Públicas e gerenciamento de recursos hídricos**. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v.2, n.2, p.133, 2010.

FERREIRA, N. C. de F.; DUARTE, J. R. de M.; OLIVEIRA, L. A. B. de; SILVA, E. C. da; CARVALHO, I. A. de. **O Papel das Matas Ciliares na Conservação do Solo e Água**. Biodiversidade. v. 18, n. 3 ed. On-line, p. 171–179, 2019.

FERREIRA, R. A. N. et al. (2021). **Parâmetros bióticos e abióticos em mata ciliar em estágio inicial de recuperação em Minas Gerais**. Revista de Ciências Ambientais.

FERREIRA, R. S. **Qualidade da água de um reservatório e do solo da zona ripária sob diferentes usos na região semiárida do Rio Grande do Norte**. 2015. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

FIGUEIREDO, D.; **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Ed. Acadêmica, 2005.

FLEMING, K.; GRAY, D. G.; MATTHEWS, S. **Cellulose crystallites**. Chemistry - A European Journal, 2001. v. 7, n. 9.

FUNCEME. **Zoneamento geoambiental do estado do Ceará: Parte II: Mesorregião do sul cearense**. Fortaleza, 2006.

FREE, C. M., JENSEN, O. P., MASON, S. A., ERIKSEN, M., WILLIAMSON, N. J., BOLDGIV, B. **High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake**. Marine pollution bulletin, v. 85, n. 1, p. 156-163, 2014.

FREIRE, L. L. **Panorama dos sistemas de esgotamento sanitário da Região Metropolitana do Cariri – Ceará**. 2017. 109 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Juazeiro do Norte (CE), 2017.

FRIAS, J. P. G. L.; NASH, R. **Microplastics: Finding a consensus on the definition**. Marine Pollution Bulletin, v. 138, p. 145-147, 2019.

FRITZSONS, E. et al. (2005). **A floresta ciliar e sua influência na temperatura das águas do Rio Capivari (Curitiba, PR)**. Revista Floresta.

FU, W., MIN, J., JIANG, W., LI, Y., & ZHANG, W. (2020). **Separation, characterization and identification of microplastics and nanoplastics in the environment**. Science of the total environment, 721, 137561.

GAO, B. C. **NDWI - A Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space**. Remote Sensing of Environment, v. 58, p.257- 266, 1996.

GALVÃO, L.S; BREUNIG, F.M.; SANTOS, J. R.; TELES, T.S.; GAIDA, M.; MOURA, Y.M. **Uso de imagens Rapideye no estudo das variações sazonais de índices de vegetação no**

**Parque Estadual do Turvo (PET).** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, páginas (p. 1145-1152), 2015.

GANEM, R. S. **Caatinga: Estratégias de Conservação.** (Consultoria Legislativa da Área XI). Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2017.

GARCIA, J. M.; LONGO, R. M. **Análise de impactos ambientais em Área de Preservação Permanente (APP) como instrumento de gestão em rios urbanos.** *Cerrados*. 2020. v 18(1). pag 107-128.

GARCIAS, C. M.; AFONSO, J. A. C. **Revitalização de rios urbanos.** *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 1(1):. 131-144. 2013.

GOOGLE EARTH ENGINE – GEE. **Google Earth Engine.** Disponível em: <https://code.earthengine.google.com/>. Acesso em: 09 set. 2024.

GIL, A. P.; PADOVANI, C. R.; COELHO, A. L. N. **Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no Pantanal do Taquari.** In: Embrapa Pantanal- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2019.

GOH, P. S.; KANG, H. S.; ISMAIL, A. F.; KHOR, W. H.; QUEN, L. K.; HIGGINS, D. **Nanomaterials for microplastic remediation from aquatic environment: Why nano matters?** *Chemosphere*, v. 299, 2022, ISSN 0045-6535, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134418>.

GOMES, R. C.; ZANELLA, M. E.; OLIVEIRA, V. P. V. de. **Análise das características climáticas do município de Tauá-CE/Brasil.** *Boletim de Geografia, Maringá (PR)*, v. 35, n. 2, p. 83-98, 2017. DOI 10.4025/bolgeogr.v35i2.31677.

GONZÁLEZ, M. et al. **The cellulose industry and its impact on the population: From the social to the biochemical.** *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 2021. v. 17, n. 2.

GOPINATH, K., SESHACHALAM, S., NEELAVANNAN, K. **Quantification of microplastic in Red Hills Lake of Chennai city, Tamil Nadu, India.** *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-10, 2020.

GRIGORIEVA, N. A. et al. **Scandium extraction from sulfate media with di-(2-ethylhexyl) phosphoric acid in decane or toluene mixed with proton-donor additives.** *Hydrometallurgy*, v. 232, n. 106435, p. 106435, 2025.

GUERRA, M. D. F., SOUZA M. J. N. de, SILVA E. V. da. **Veredas da chapada do Araripe: contexto ecogeográfico de subespaços de exceção no Semiárido do estado do Ceará, Brasil.** (Tese de doutorado em Geografia) Universidade Estadual do Ceará, 2020, p. 46 – 101.

GREGORY, S. **The definition of wet and dry periods for discrete regional units.** Weather, [S. l.], v. 34, n. 9, p. 363-369, 1 set. 1979.

HAHLADAKIS J. N., VELIS C. A., WEBER, R., IACOVIDOU, E., PURNELL, P. **An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling.** Journal of Hazardous Materials, Volume 344, 2018, Pages 179-199, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>.

HAMILTON, K. (1996). **Policy-Driven Indicators for Sustainable Development.** Mediterranean Blue Plan Environmental Performance Indicators workshop. Damasco: Banco Mundial, 1996.54p.

HOU, J., LIANG, Q., ZHANG, H., HINKELMANN, R. **An efficient unstructured MUSCL scheme for solving shallow water equations.** Environ. Model. Softw. 66, 131–152, 2015.

HUANG, W., SONG, B., LIANG, J., NIU, Q., ZENG, G., SHEN, M., ZHANG, Y. (2021). **Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health.** Journal of Hazardous Materials, 405, 124187.

IBGE Cidades. **Brasil/ Ceará/ Crato.** Disponível em: [cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/crato/panorama](http://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/crato/panorama). Acesso em: 02 out 2023.

IBGE Cidades. **Brasil/ Ceará/ Juazeiro do Norte.** Disponível em: [cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama](http://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama). Acesso em: 31 jul 2023.

IBGE Cidades. **Brasil/ Ceará/ Missão Velha.** Disponível em: [cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/missao-velha/panorama](http://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/missao-velha/panorama). Acesso em: 02 out 2023.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Landsat.** Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 01 set. 2023.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e SOS Mata Atlântica. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2019-2020.** Fundação SOS Mata Atlântica e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2021. Disponível em: [SOSMA Atlas-da-Mata-Atlantica 2019-2020.pdf](http://sosma.inpe.br/atlas-da-mata-atlantica-2019-2020.pdf). Acesso em: 01 set. 2023.

KLEIN, S., DIMZON, I. K., EUBELER, J., KNEPPER, T. P. (2018). **Analysis, occurrence, and degradation of microplastics in the aqueous environment.** Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants?, 51-67.

KONG, X., JIN, D., JIN, S., WANG, Z., YIN, H., XU, M., DENG, Y. **Responses of bacterial community to dibutyl phthalate pollution in a soilvegetable ecosystem.** Journal of

Hazardous Materials, v. 353, Pages 142-150, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.04.015>.

JAIME-AZUARA, A. et al. **Continuous hydrothermal processing of poly(ethylene terephthalate) (PET) under subcritical water conditions: A proof-of-principle closed-loop study.** Chemical Engineering Journal, 1 set. 2024. v. 495, p. 153223. Acesso em: 13 out. 2024.

JARDIM, P. B. **Qualidade de água de nascentes como reflexo do manejo do uso e ocupação do solo e conservação da mata ciliar, no município de Ouro Branco, MG.** 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

JESUS, J. B. de, FERREIRA, R. A., GAMA, D. C., & OLIVEIRA, A. M. S. de. **Sobrevivência de plântulas de espécies florestais nativas, em mata ciliar no estado de Sergipe.** Pesquisa Florestal Brasileira, [S. l.], v. 40, 2020. Doi: 10.4336/2020.pfb.40e201801734. Acesso em: 11 jun. 2024.

KALPANA, D. et al. **Biodecolorization and biodegradation of reactive Levafix Blue E-RA granulate dye by the white rot fungus *Irpex lacteus*.** Journal of environmental management, v. 111, p. 142–149, 2012.

KANDARI, D.; PANDEY, S. **Comparative study of photo catalytic activity of *Tinospora Cordifolia* derived nanoparticles for degradation of indigo carmine.** Desalination and water treatment, v. 320, n. 100870, p. 100870, 2024.

KARTHICK, V. et al. **Incorporation of 5-nitroisatin for tailored hydroxyapatite nanorods and its effect on cervical cancer cells: A nanoarchitectonics approach.** Journal of inorganic and organometallic polymers and materials, v. 31, n. 5, p. 1946–1953, 2021.

KIM, Hyunwoo et al. **Comparative life cycle assessment for the sustainable production of fermentation-based L-methionine.** Journal of Cleaner Production, 10 jul. 2024. v. 462.

KIM, J. et al. **One-step synthesis of magnetic biochar via co-pyrolysis of walnut shells and Fe-rich mine tails for adsorption capacity improvement of polystyrene sulfonate microplastics: Role of microplastic size.** Environmental Technology and Innovation, 1 maio. 2024. v. 34.

KIM, S.; CHENG, T.; CHEN, J. **National Center for Biotechnology Information (2024).** PubChem Compound Summary for CID 15569, Bindone. PubChem, 2024. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Bindone#section=Wikipedia>>. Acesso em: 31 out. 2024.

LACERDA, A. V.; BARBOSA, F. M. **Riparian Vegetation Structure in a Conservation Unit in the Semi-Arid Region of Paraíba, Brazil.** *Floresta e Ambiente*, v. 27, e20180159, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.024018>

LACERDA, A. V. de; DORNELAS, C. S. M.; SILVA, A. G. F. da. **Potencialidades do Bioma Caatinga: marcas sobre convivência e resistência**. Ituiutaba: Barlavento, 2016. v. II.

LACERDA, A. V. **Os cílios das águas: espaços plurais no contexto do Semiárido brasileiro**. Color E-book, 1 ed. Campina Grande: EDUFCG, 2016. p.221. Disponível: [https://editora.ufcg.edu.br/ebooks/151/view\\_bl/53/publicacoes2016/42/os-cilios-dasaguas-espacos-plurais-no-contexto-do-semiarido-brasileiro.html](https://editora.ufcg.edu.br/ebooks/151/view_bl/53/publicacoes2016/42/os-cilios-dasaguas-espacos-plurais-no-contexto-do-semiarido-brasileiro.html) Acesso: 04 ago. 2023.

LI, Y. et al. **Comparative study of the foaming behavior of ethylene–vinyl acetate copolymer foams fabricated using chemical and physical foaming processes**. *Materials*, v. 17, n. 15, p. 3719, 2024.

LIMA, A. R. de; ARAÚJO, A. G.; SILVA, A. L. da. **Degradação ambiental da microbacia hidrográfica do São José no Cariri cearense: análise da cobertura vegetal e uso do solo**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO, 5., 2022. Anais.

LIN, A. Y. C.; LEE, W. N.; WANG, X. H. **Ketamine and the metabolite norketamine: Persistence and phototransformation toxicity in hospital wastewater and surface water**. *Water Research*, 15 abr. 2014. v. 53, p. 351–360.

LIN L, ZUO LZ, PENG JP, CAI LQ, FOK L, YAN Y, LI HX, XU XR. **Occurrence and distribution of microplastics in an urban river: A case study in the Pearl River along Guangzhou City, China**. *Science of the Total Environment*, v. 644, p. 375–381, 2018.

LIU, D. et al. **Selective Synthesis of Diverse Spiro-oxindole-fluorene Derivatives via a DABCO-Promoted Annulation Reaction of Bindone and 3-Methyleneoxindoles**. *Journal of Organic Chemistry*, 2021. v. 86, n. 21.

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R. G. **Aplicações do sensoriamento remoto na geografia**. In: VENTURI, L. A.B. (org). *Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.p. 33 -54.

LUO, W., SU, L., CRAIG, N. J., DU, F., WU, C., SHI, H. **Comparison of microplastic pollution in different water bodies from urban creeks to coastal waters**. *Environmental Pollution*, v. 246, p. 174-182, 2019.

MAO Y, AI H, CHEN Y, ZHANG Z, ZENG P, KANG L, LI W, GU W, HE Q, LI H. . **Phytoplankton response to polystyrene microplastics: Perspective from an entire growth period**. *Chemosphere*, Volume 208, 2018, Pages 59-68, ISSN 0045-6535. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.170>.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. **Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar**. *Floresta e Ambiente*. v. 22, n. 2, p. 171–181, 2015.

MARTINS, L. D. **Influência Do Lançamento Do Efluente Final Da Ete Malvas Nas Concentrações De Nitrogênio Amoniacal Total Em Um Trecho Do Rio Salgadinho**. 2018. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *Campus* Juazeiro do Norte, 2018.

MARTINS, M. F. M.; GONÇALVES, G. J.; LIMA, V. T. A.; SILVA, P. T. de S.; AMORIM, M. C. C. **Qualidade da água do Rio São Francisco em canais de irrigação utilizados para abastecimento público**. Embrapa Semiárido, 2020.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. Viçosa: Aprenda fácil, 2017.

MARTINS, S. V. **Recuperação de Matas Ciliares**. 2 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2007. 255 p.

MEDEIROS, C. E. B. F. de S. **Os impactos na qualidade da água e do solo de um manancial tropical do semiárido devido ao uso e ocupação e evento de seca extrema**. 2016. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MELO, A. C. G.; MIRANDA, D. L. C.; DURIGAN, G. **Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no médio vale do Paranapanema, SP, Brasil**. Revista *Árvore*, Viçosa, v.31, n.2, p.321-328, 2007.

MELO, M. F. et al. **Importância da vegetação ciliar na proteção de corpos d'água**. Revista Verde, v. 13, n. 2, p. 356-364, 2018.

MONTAGNER, C. C.; DIAS, M. A.; PAIVA, E. M.; VIDAL, C. **Microplásticos: Ocorrência Ambiental e desafios analíticos**. Química Nova, v. 44, n. 10, p. 1328-1352, 2021.

MOURA DE OLIVEIRA, R., AQUINO, G. M. , DO CARMO H. P., G., DOS SANTOS, J. de P. **Avaliação do sucesso da restauração florestal de matas ciliares na transição amazônia-cerrado em Mato Grosso**. *Nativa*, 10(3), 356–365. 2024. <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i3.13659> (Original work published 26º de agosto de 2022)

NASCIMENTO, C. E. de S. **A importância das matas ciliares: rio São Francisco**. 1. ed. v. 1, (Embrapa Semiárido. Documentos; 179). Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2001.

NUNES, L. M.; MONTEIRO, M. de F. G.; SOUSA JÚNIOR, D. L. de; AQUINO, P. Ev. A. de; SARAIVA, C. R. N.; LEANDRO, M. K. do N. S.; MARQUES, A. E.F.; SILVA, R. O. M. da; LEANDRO, L. M. G. **Pesquisa de coliformes totais e termotolerantes no rio Salgadinho no município de Juazeiro do Norte, CE**. Revista Eletrônica Acervo Científico, [S. l.], v. 7, 2019. ISSN 2595-7899. DOI 10.25248/reac.e2273.2019.

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

PALÁCIO, O. D. **Análise da Susceptibilidade a Alagamento do Município de Juazeiro do Norte-CE**. 2020. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável, Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade, Universidade Federal do Cariri, Crato, 2020.

PANIZZA, A. de C. **A importância da mata ciliar**. Carta Capital, São Paulo. 2016. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/educacao/a-importancia-da-mataciliar/>. Acesso em: 04 ago. 2023.

PEREIRA, V.P. **Solo: manejo e controle de erosão hídrica**. Jaboticabal: FCAV, 1997. 56 p.

PINÉO, T. R. G., PALHETA, E. S. de M. **Mapa geológico e de recurso minerais do estado do Ceará**. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Ceará – Brasil, 2020.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176p.

PUBCHEM. **National Center for Biotechnology Information (2024)**. PubChem Compound Summary for CID 10014403 (2-Hydroxy-3-methacryloxypropyl)trimethylammonium chloride. PubChem, 2004b.

PUBCHEM. **National Center for Biotechnology Information (2024)**. PubChem Compound Summary for CID 12888 2,5-Diphenyl-1,3,4-oxadiazole. PubChem, 2004a.

PULITANO, F. M. **Análise da estrutura e funcionamento de reflorestamento de mata ciliar aos 18 e 28 anos após o plantio, no município de Cândido Mota - SP** [doi:10.11606/T.18.2016.tde-18112016-162032]. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003. Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental. [acesso 2023-08-30].

PUNTENNEY-DESMOND, K. C., BLADON, K. D., SILINS, U. **Runoff and sediment production from harvested hillslopes and the riparian area during high intensity rainfall events**, *Journal of Hydrology*, Volume 582,2020,124452,ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124452>.

PRH Salgado. **Diagnóstico Da Região Hidrográfica Do Rio Salgado**. 2022. Ceará. 280 pág. Disponível em: [CAPA DIAGNÓSTICO SALGADO \(cogeh.com.br\)](https://cogeh.com.br/CAPA_DIAGNOSTICO_SALGADO). Acesso em: 28. jul. 2023

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: [Plataforma - MapBiomias Brasil](https://mapbiomas.org.br/). Acesso em: 05 abr. 2025.

QUESADA, D. M. et al. **Análise da influência da vegetação ripária na qualidade da água urbana.** Geo UERJ, n. 31, p. 355-370, 2017.

RAMIRES, J; BERAYARMOND, N; SALGADO, C. M. **A variabilidade pluviométrica no Cariri Cearense e a influência das teleconexões ENOS e ODP.** In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Anais. Campinas, 2017.

RANGEL JÚNIOR, A. **Fatores ambientais que direcionam as respostas ecológicas da comunidade fitoplanctônica em reservatórios de uma região semiárida tropical brasileira.** 2022. 198f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

RASKING, L. et al. **Ambient black carbon reaches the kidneys.** Environment international, v. 177, n. 107997, p. 107997, 2023.

RIBEIRO, A. M.; PASQUALETTO, A.; GARÇÃO, A. L. **Proposta de Plano de Recuperação da Mata Ciliar do Rio do Peixe – Município de Santa Cruz de Goiás - GO.** Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis - SC, v. 7, n. 4, p. 761-781, 2018.

RIBEIRO, C. R. **Planejamento ambiental e gestão de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica da Represa de Chapéu D’Uvas – Zona da Mata e Campo das Vertentes/MG.** 2012. 525f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

RIBEIRO, F. G., & PINTO, J. A. (2016). **A importância da vegetação ciliar na proteção dos recursos hídricos.** Ciência Florestal, 26(3), 773–783.

RIBEIRO, S. C.; LIMA, G. G.; MARÇAL, M. S. **Relevo e dinâmica geomorfológica do Cariri Cearense.** In: SEEMANN, J.; RIBEIRO, S. C.; SOARES, R. C. (Org.). Geografias do Cariri Cearense. 2015, p. 89 – 102.

ROCHA, B.F., et al. **Floristic composition and similarity of a conservation area in the semiarid region of Paraíba State, Northeastern Brazil.** Biota Neotropica 2024.

<https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2024-1667>

RODRIGUES, A. Diário do Nordeste. **Situação do Rio Salgado pode impactar na recarga do Castanhão.** 2020. Disponível em: [Situação do Rio Salgado pode impactar na recarga do Castanhão - Região - Diário do Nordeste \(verdesmares.com.br\)](#). Acesso em: 09 out. 2023.

RODRIGUES, R.R. **Análise Estrutural de Formações Florestais Ripárias.** In: BARBOSA, L.M. Simpósio sobre mata ciliar: Anais. Campinas: Fundação Cargil. p.99-119, 1989.

ROUSE, J. W; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.** In: FREDEN, S. C.; MERCANTI, E. P.; BECKER,

M. (Eds). Third Earth Resources Technology Satellite – 1 Symposium. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351. Washington, D.C.: 1974. p. 309–317.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia, 2013. Disponível em: [cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/33/2016/12/Introdução-ao-Geoprocessamento-Roberto-Rosa.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/33/2016/12/Introdução-ao-Geoprocessamento-Roberto-Rosa.pdf). Acesso em: 10 set. 2023.

ROSSATTO, A., ARLINDO, M. Z. F., DE MORAIS, M. S., DE SOUZA, T. D., OGRODOWSKI, C. S. **Microplastics in aquatic systems: A review of occurrence, monitoring and potential environmental risks**. Environmental Advances, v. 13, 100396, 2023.

SABIÁ, R. J. **Estudo do padrão de emissão de poluentes para o enquadramento de rios intermitentes: estudo de caso do rio Salgado, Ce**. 2008. 111 f. Tese (Doutor em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Fortaleza (CE), 2008.

SANTOS, G. P. dos., MORTATI, A. F., CANANI, L. G. de C., OLIVEIRA, L. L. **Efeitos da integridade ambiental da zona ciliar e sua influência na qualidade da água de igarapés urbanos em Santarém-PA, Amazônia, Brasil**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 7, p. 4035-4055, 2022.

SANTOS, I., FILL, H.D., SUGAI, M.R.V.B., BUBA, H., KISHI, R.T., LAUTERT, L.F. 2001. **Hidrometria Aplicada**. LACTEC- Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, PR. 372p.:1-9.

SANTOS, J. A.; SILVA, E. V.; COSTA, J. L. de S.; LIMA, J. A. **Análise da capacidade de autodepuração do riacho Caraibeirinhas em Delmiro Gouveia-AL**. Universidade Federal de Alagoas (UFAL), 2019.

SARAIVA, M. da G. A. N. **O rio como paisagem: gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território**. Lisboa: Dinalivro, 1999.

SEMA. Secretaria de Meio Ambiente e Mudança do Clima do Estado do Ceará. **Atos Administrativos e Instrumentos Legais**. 2023. Disponível em [Atos Administrativos e Instrumentos Legais - Secretaria do Meio Ambiente \(sema.ce.gov.br\)](https://sema.ce.gov.br/atos-administrativos-e-instrumentos-legais-secretaria-do-meio-ambiente). Acesso em: 04. ago. 2023.

SEMA. Secretaria de Meio Ambiente e Mudança do Clima do Estado do Ceará. **Atos Administrativos e Instrumentos Legais**. 2023. Disponível em: [IN\\_06-2020\\_doacao\\_de\\_mudas1.pdf \(sema.ce.gov.br\)](https://sema.ce.gov.br/atos-administrativos-e-instrumentos-legais-secretaria-do-meio-ambiente). Acesso em: 04 ago. 2023.

SEMA. Secretaria de Meio Ambiente e Mudança do Clima do Estado do Ceará. 2021. **Instrução Normativa N° 05/2021**. Disponível em: [Instrucao-Normativa-no-05-de-12-de-](https://sema.ce.gov.br/instrucao-normativa-no-05-de-12-de-2021)

[agosto-de-2021-Lista-de-Especies-Nativas-recomendadas-para-acoes-de-florestamento-e-reflorestamento-no-Estado-do-Ceara.pdf \(sema.ce.gov.br\)](#). Acesso em: 04 ago. 2023.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Comportamento das Bacias Sedimentares da região semiárida do nordeste brasileiro- HIDROGEOLOGIA DA PORÇÃO ORIENTAL DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**. 2005. Acesso em: 28 jul. 2023

SERVILHERI, J. G. *et al.* (2021). **Use of artificial perches in the restoration of the seed bank in an area of riparian forest**. *Uningá Review*, 36, eURJ3713. <https://doi.org/10.46311/2178-2571.36.eURJ3713>.

SHI, B.; ZHU, G.; LI, N. **Does economic growth targets setting lead to carbon emissions? An empirical study from China**. *Journal of Environmental Management*, 1 set. 2024. v. 368, p. 122084. Acesso em: 13 out. 2024.

SILVA, A. H. da; SILVA, C. S. P.; ARAÚJO, S. E. de; LIMA, T. B. B. de; DANTAS, I. M. **Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água em um trecho do rio Apodi-Mossoró**. *HOLOS*, v. 32, n. 7, p. 121–130, 2016.

SILVA, D. C.; VIEIRA, H. A. G.; ROLIM, V. S.; SILVA, W. F.; SOUSA, M. G.; PAULINO, M. G.; MARIANO, W. S. **Contaminantes ambientais: efeitos dos microplásticos em organismos aquáticos e terrestres**. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 10, n. 7, p. e54310716761, 2021.

SILVA, D. P. da. **Análise geoambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Batateiras no município de Crato – Ceará**. 2019. 160 f. Dissertação (Mestre em Geografia) – Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), Centro de Ciências Humanas (CCH), Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG), Sobral (CE), 2019.

SILVA, J. J. F. da. **Uso de geotecnologias no diagnóstico da mata ciliar do reservatório engenheiro Francisco Sabóia, Ibimirim-PE**. 2023. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.

SILVA JUNIOR, U. J. da, *et al.* **Variações sazonais Intra e Interanual da Cobertura Vegetal (NDVI e SAVI) na mata ciliar do bioma Caatinga associada ao reservatório de Serrinha II, PE, Brasil e sua correlação com o SPI e o volume hídrico acumulado**. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 25, n. 99, p. 224–242, 2024. DOI: 10.14393/RCG259970639.

SILVA, J. V. M. da. **Análise Ambiental Das Nascentes Da Cidade De Crato - Ceará: Subsídios Para O Desenvolvimento Regional Sustentável**. 2022. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável – Proder, Universidade Federal do Cariri, Crato, 2022.

SILVA, J. V. M. da; MOURA FÉ, M. M. de; COSTA, C. T. F. da. **Caracterização Geoambiental das Nascentes D'água na Cidade de Crato – Ceará.** Caderno Prudentino de Geografia, v. 3, n. 46, p. 28–55, 2024.

SILVA, L. F. da, & OLIVEIRA, M. F. de. (2023). **Urbanização e impactos ambientais: análise da bacia hidrográfica urbana em Anápolis-GO.** Espaço em Revista, 25(2).

SILVA, L. F. de M. **Desempenho de estações de tratamento de esgoto e impactos de seus efluentes em corpos de água receptores em Minas Gerais.** 2020. 158 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

SILVA, R. B.; ANDRADE, M. L.; MEDEIROS, A. P. R. Análises físico-químicas de autodepuração de um rio no semiárido do Rio Grande do Norte. Atena Editora, 2021.

SILVA, T. & COSTA, C. 2019. **Aspectos da gestão dos recursos hídricos na sub-bacia hidrográfica do Rio Salgado.** ISBN: 978-85-67915-39-5. Juazeiro do Norte – CE.

SILVA, T. T. S. **Estimativa Da Evapotranspiração Em Regiões Do Semiárido Brasileiro Utilizando O Algoritmo Sebal.** 2019. 92 f. Tese (Doutorado) - Curso de Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

SILVEIRA, J. A. et al. **Relação entre NDVI e a qualidade da água na Bacia do Rio Terra Nova – PE.** Revista Brasileira de Sustentabilidade e Recursos Naturais, v. 12, n. 1, p. 88-102, 2022.

SMITH, E.; DENT, G. **Modern Raman spectroscopy: a practical approach.** [s.l.] John Wiley & Sons, 2019

SOARES, F. M. COSTA, L. L., CUNHA S. A. da. **Direito à Alimentação e Microplásticos: por que precisamos legislar?** 2021. Disponível em Acesso em janeiro de 2024.

SONODA, K. C. **Efeito da vegetação ripária na qualidade do recurso hídrico no Distrito Federal.** Embrapa Cerrados - Comunicado Técnico, n. 174, 2010.

SOUSA, B. I., XAVIER R. A., QUEIROZ R. **Actividade de campo, paisagem e interdisciplinaridade, na Chapada do Araripe, semiárido brasileiro.** In: JACINTO, R. (Org.) As novas Geografias dos países de língua portuguesa: cooperação e desenvolvimento Lisboa: Ancora Editora, v. 38, p. 51 – 75, 2020.

SOUZA, C. F; CRUZ, M. A. S. e TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 17 n.2 - Abr/Jun 2012.

SOUZA, G. R. **Avaliação da poluição por microplásticos nas águas do igarapé do Mindu, no ambiente urbano de Manaus.** Dissertação de Mestrado, Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Centro de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, 2020.

SOUZA, M. C. B. de. **Influência da mata ciliar na qualidade da água de trecho do Rio Jacarecica – Maceió/AL.** 2012. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – Ppgrhs, Centro de Tecnologia – Ctec, Universidade Federal de Alagoas – Ufal, Maceió, 2012.

SOUZA, M. C. de. **Algumas Considerações sobre Vegetação Ripária.** Cadernos da Biodiversidade, v. 2, n. 1, p. 4 -9, jul. 1999.

STARK, M., 2019. **Letter to the Editor regarding ‘Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris’.** Environmental Science and Technology, v. 53, n. 9, art.4677, 2019.

TANIA, A.H., GAZI, M.Y. & MIA, M.B. **Evaluation of water quantity–quality, floodplain landuse, and land surface temperature (LST) of Turag River in Bangladesh: an integrated approach of geospatial, field, and laboratory analyses.** SN Appl. Sci. 3, 63 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04011-3>.

TAVEIRA, B. D. de A. **Hidrogeografia e gestão de bacias.** Curitiba: Intersaberes, 2018. ISBN 978-85-5972-763-0.

THOMPSON, R. C.; OLSEN Y.; MITCHELL R. P.; DAVIS A.; ROWLAND S. J.; JOHN A. W.; MCGONIGLE D.; RUSSELL A. E. **Lost at sea: Where is all the plastic?.** 2004. Science (New York, N.Y.). 304. 838. Doi: 10.1126/science.1094559.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e o Uso do solo sobre os recursos hídricos.** In: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – Câmara Temática de Recursos Hídricos, Brasília, p.150. 2002.

TUNDISI, J. G.; et al. Urban Waters in Brazil. In: Ianas – Interamerican Network of Academies of Sciences. **Urban water challenges in the Americas: a perspective from the Academies of Sciences.** México: IANAS / UNESCO, 2015. p. 86-111.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

UICN – União Internacional Para A Conservação Da Natureza. **América do sul, escritório regional:** relatório anual: 2019.

UOL. **Paris-2024:** Prova pode ser cancelada por qualidade da água do rio Sena. Disponível em: Paris-2024: Prova pode ser cancelada por qualidade da água do rio Sena (uol.com.br). Acesso em: 11 jun. 2024.

USGS. (2023) UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Image download**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 19 out. 2023.

VAID, M. SARMA, K. GUPTA A. **Microplastic pollution in aquatic environments with special emphasis on riverine systems: Current understanding and way forward**. Journal of Environmental Management, v. 293, 112860, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112860>

VALERA, C. A. **Avaliação do Novo Código Florestal: As Áreas De Preservação Permanente – Apps, E A Conservação Da Qualidade Do Solo E Da Água Superficial**. 2018. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2018.

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, p.55-64, 2010.

VIEIRA, A. P. **Influência da vegetação ripária na qualidade da água na bacia do Rio Araçuaí – MG**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2021.

VIEIRA V. C.; COSTA, C. T. F. da; TAVARES P. R. L.; SOUZA R. de B. **Investigação da qualidade das águas situadas nas nascentes da Chapada do Araripe através da análise de correlação entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos**. Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 4, n. 9, p. e494118, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v4i9.4118.

VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: DESA/UFMG. 2014b. 2º edição. p. 588.

WAGNER, M.; SCHERER, C.; ALVAREZ-MUÑOZ, BRENNHOLT, N.; BOURRAIN, X.; BUCHINGER, S.; FRIES, E.; GROSBOIS, C.; KLASMEIER, J.; MARTI, T.; RODRIGUEZMOZAZ, S.; URBATZKA, R.; VETHAAK, A D.; WINTHER-NIELSEN, M.; REIFFERSCHIED, G. **Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know**. Environmental Sciences Europe, v. 26, n. 12, 2014.

WANG, J., DA, L., SONG, K., & LI, B. L. (2008). **Temporal variations of surface water quality in urban, suburban and rural areas during rapid urbanization in Shanghai, China**. Environmental Pollution, 152(2), 387-393.

YANG, N.; SUN, H. **Bismuth: Environmental Pollution and Health Effects**. Encyclopedia of Environmental Health, Volume 1-5. [S.l.]: [s.n.], 2011, V. 1.

YUAN T, *et al.* **Urbanization Impacts the Physicochemical Characteristics and Abundance of Fecal Markers and Bacterial Pathogens in Surface Water.** International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019; DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16101739>.

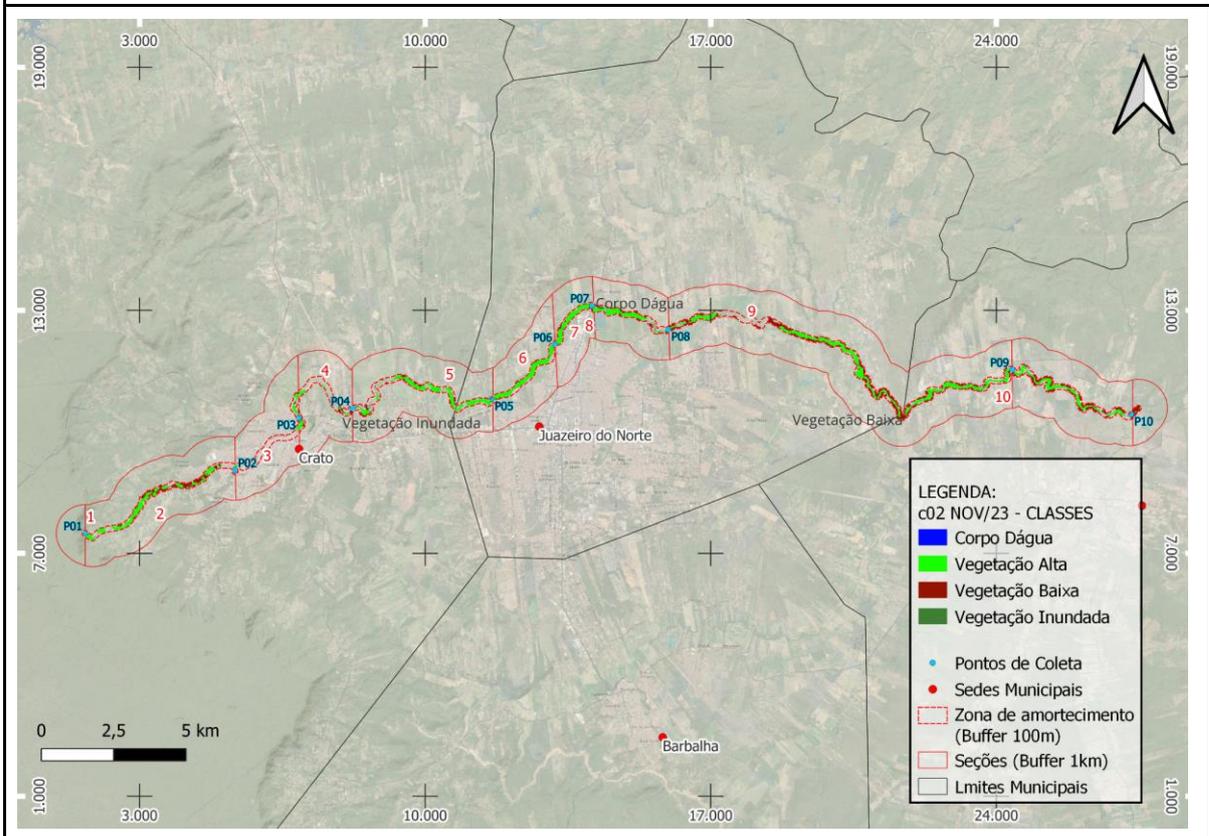
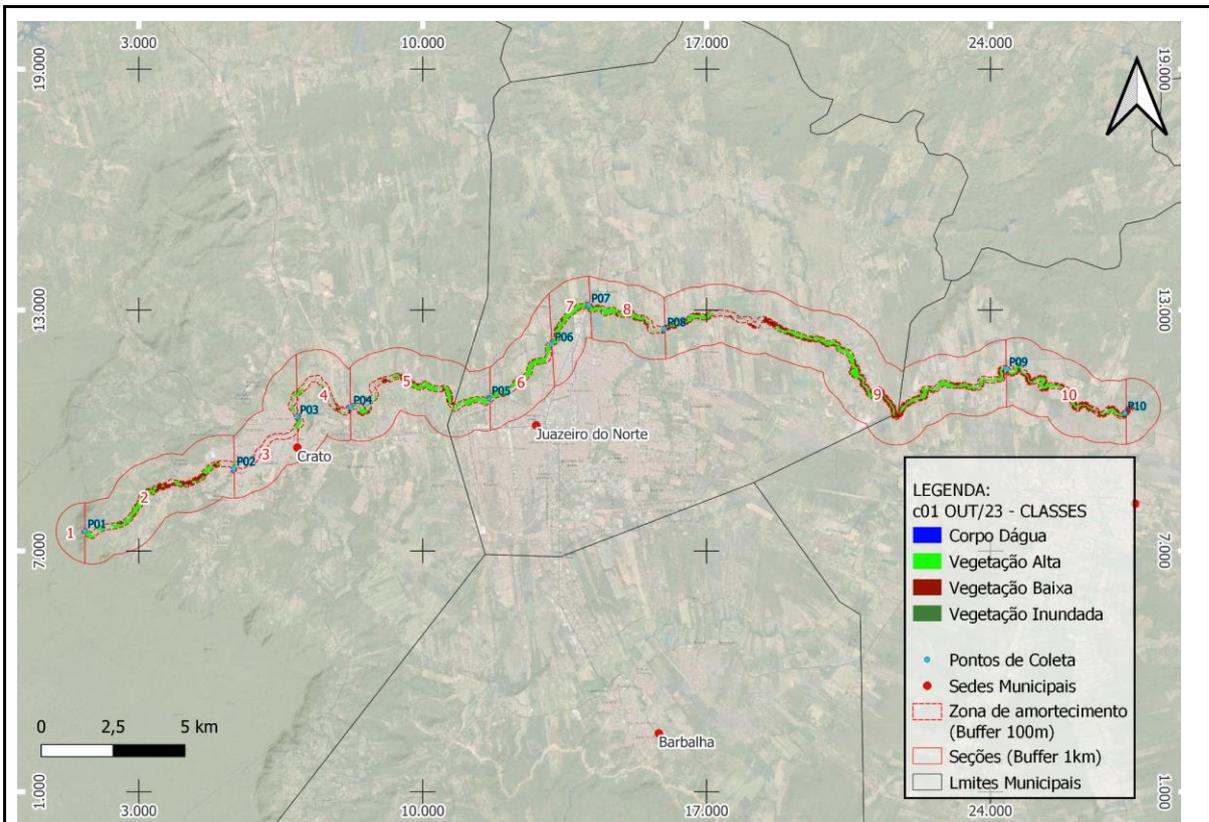
ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento conceitos e definições.** Revista de geografia – PP GEO - UFJF. Juiz de Fora, v.7, n.2, p.195-20, 2017.

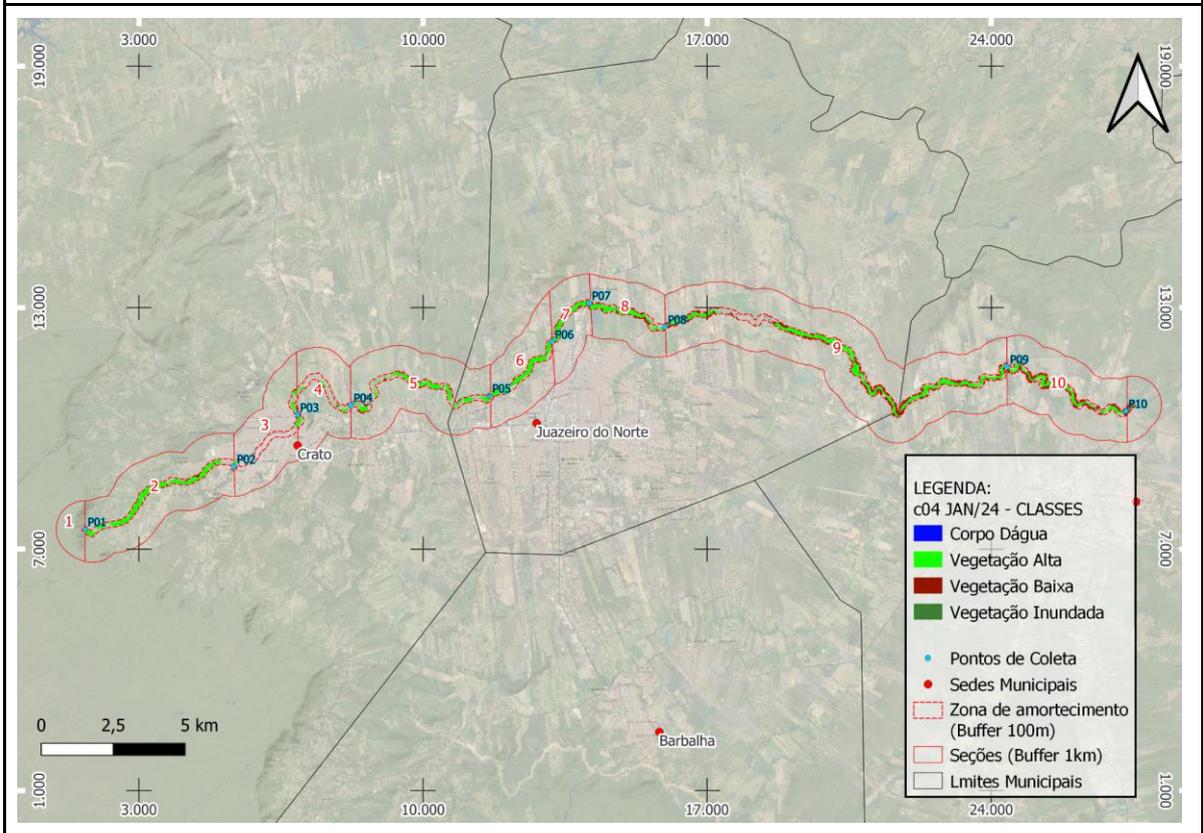
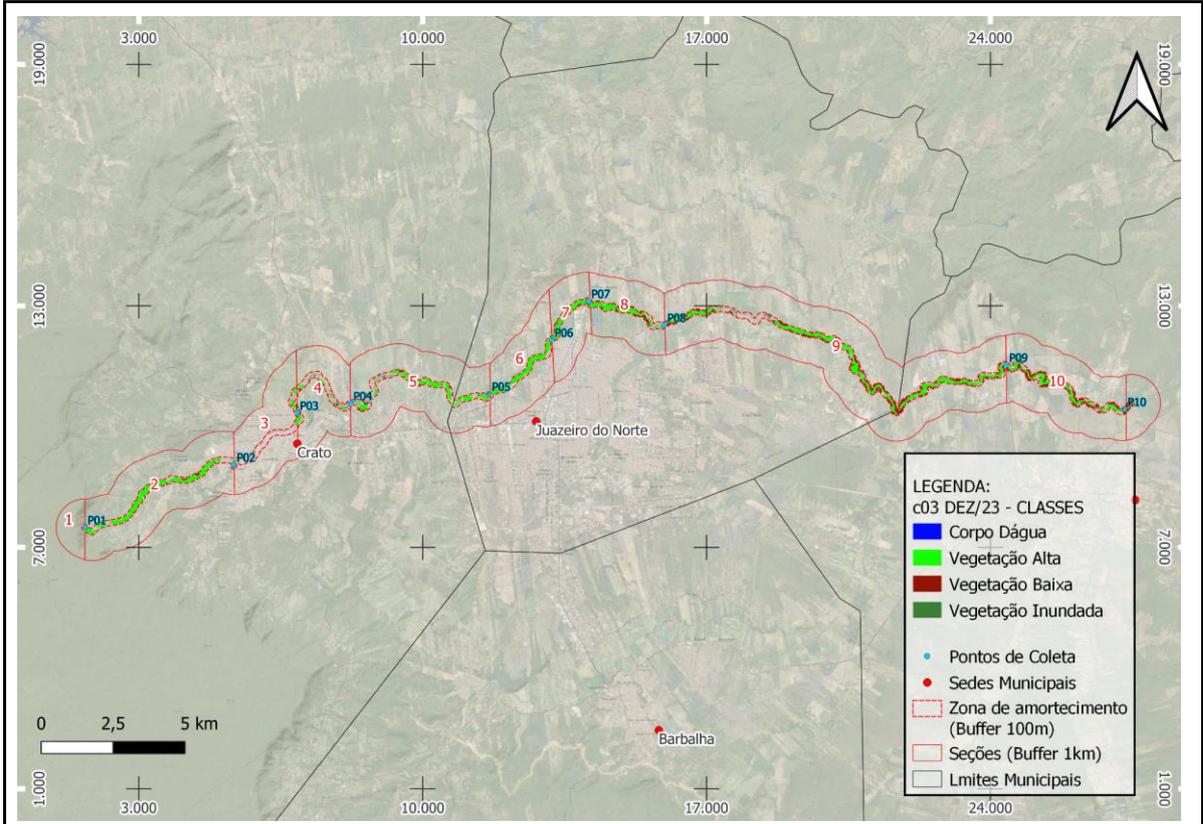
ZHANG, J.; LI, S.; DONG, R.; JIANG, C.; NI, M. **Influences of land use metrics at multi-spatial scales on seasonal water quality: A case study of river systems in the Three Gorges Reservoir Area, China.** Journal of Cleaner Production, [s.l.], v.206, n.1, p.76–85, Jan 2019. DOI. 10.1016/j.jclepro.2018.09.179.

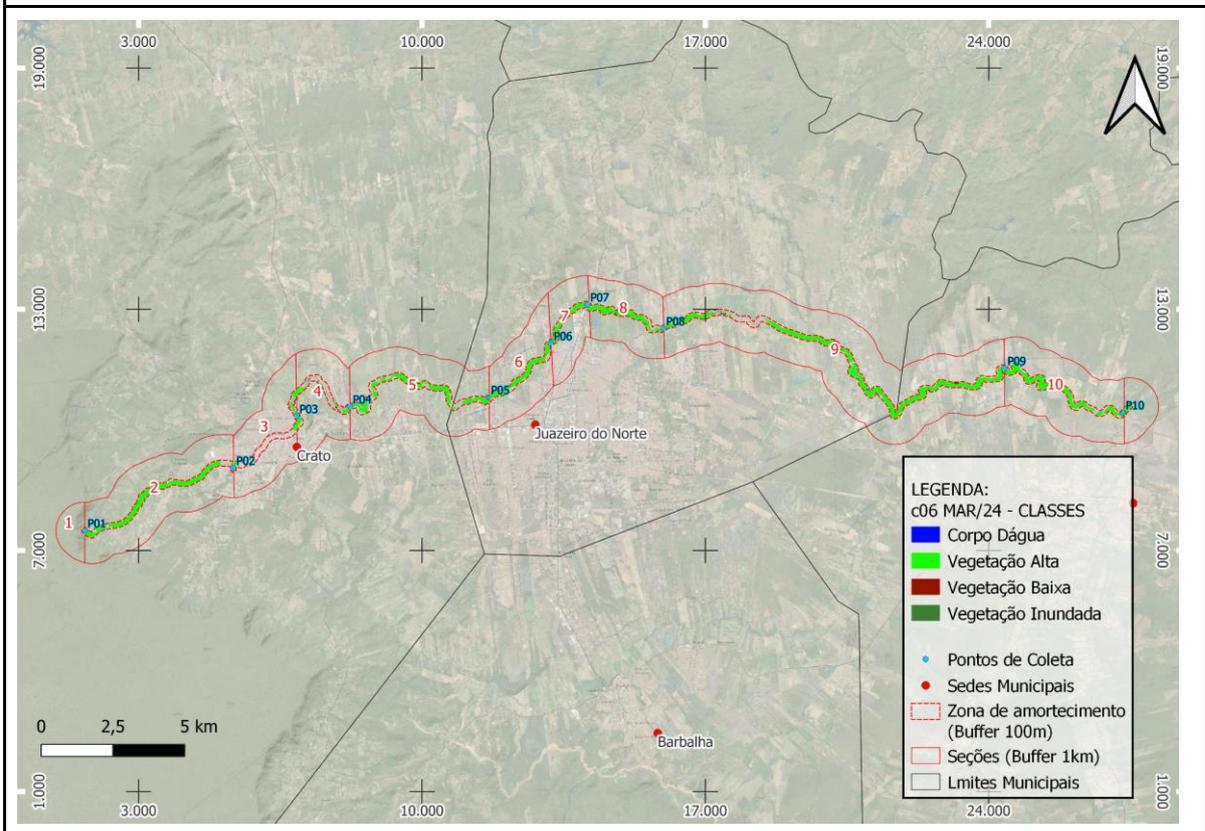
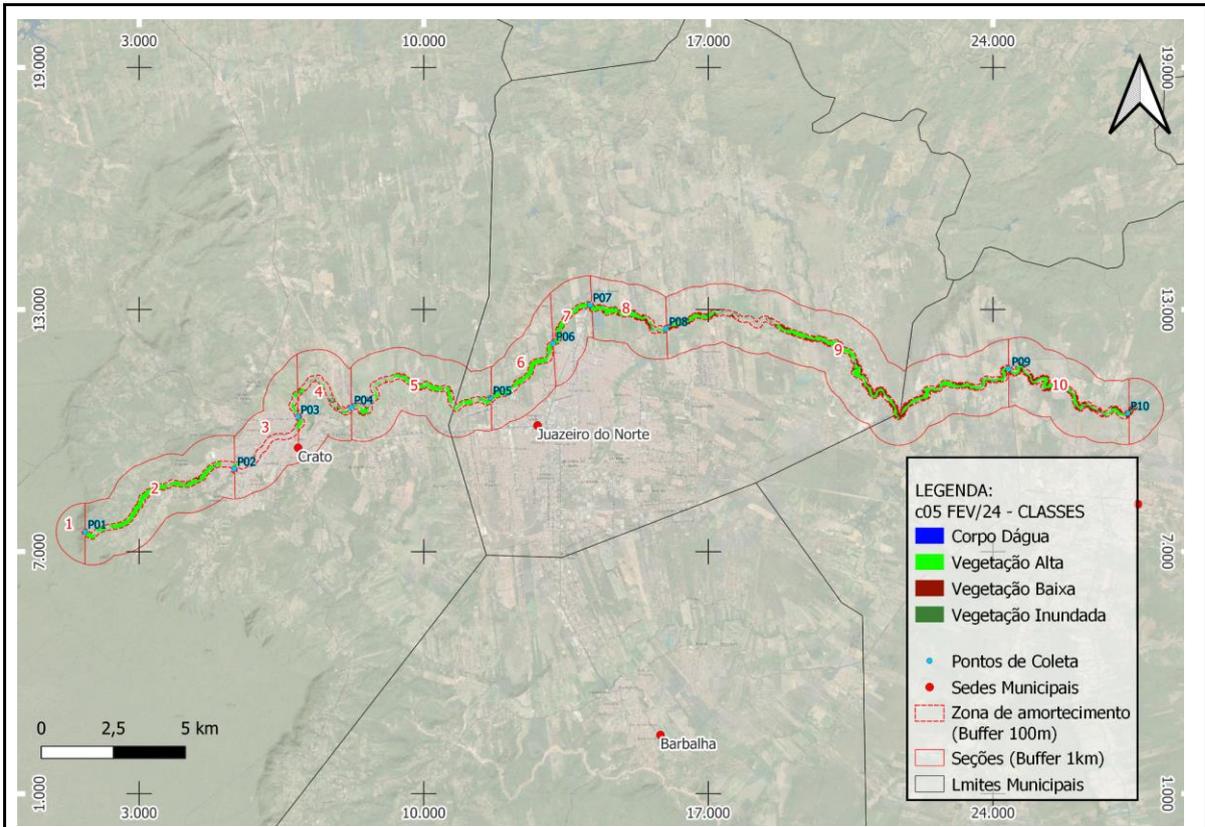
Zhang L, Liu J, Xie Y, Zhong S, Yang B, Lu D, Zhong Q. **Distribution of microplastics in surface water and sediments of Qin river in Beibu Gulf, China.** Science of the Total Environment, v. 708, p. 135176, 2020.

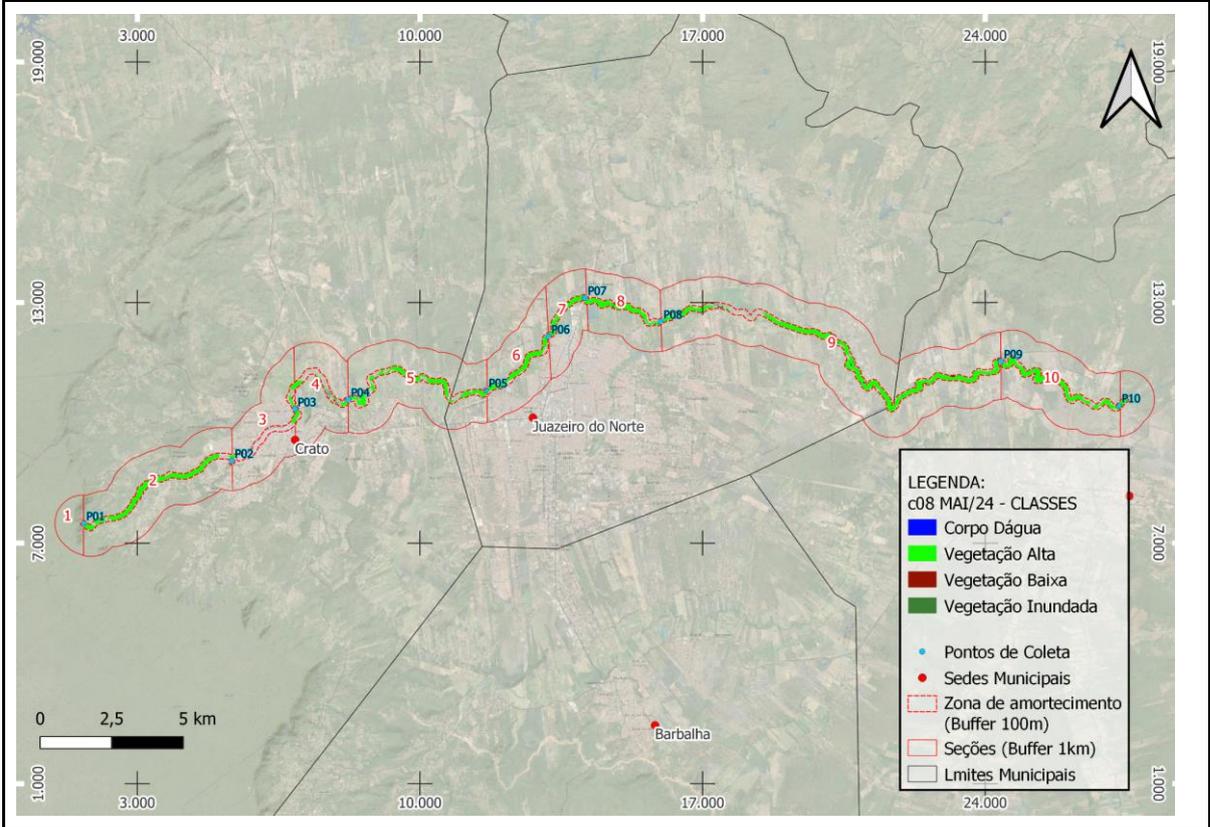
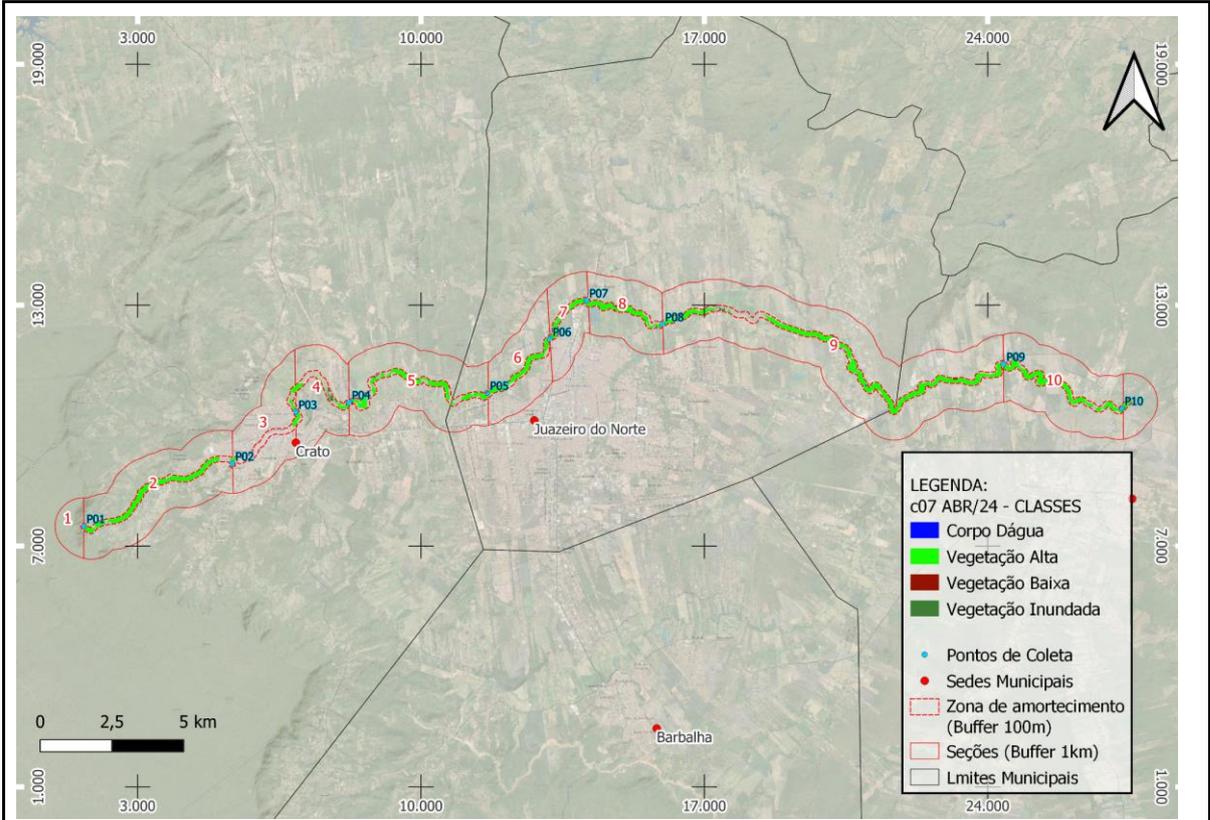
ZHOU, F.; ZHONG, D. **Kalman filter method for generating time-series synthetic Landsat images and their uncertainty from Landsat and MODIS observations.** Remote Sensing of Environment. [s.l.], v. 239, p. 111628-111653, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111628.

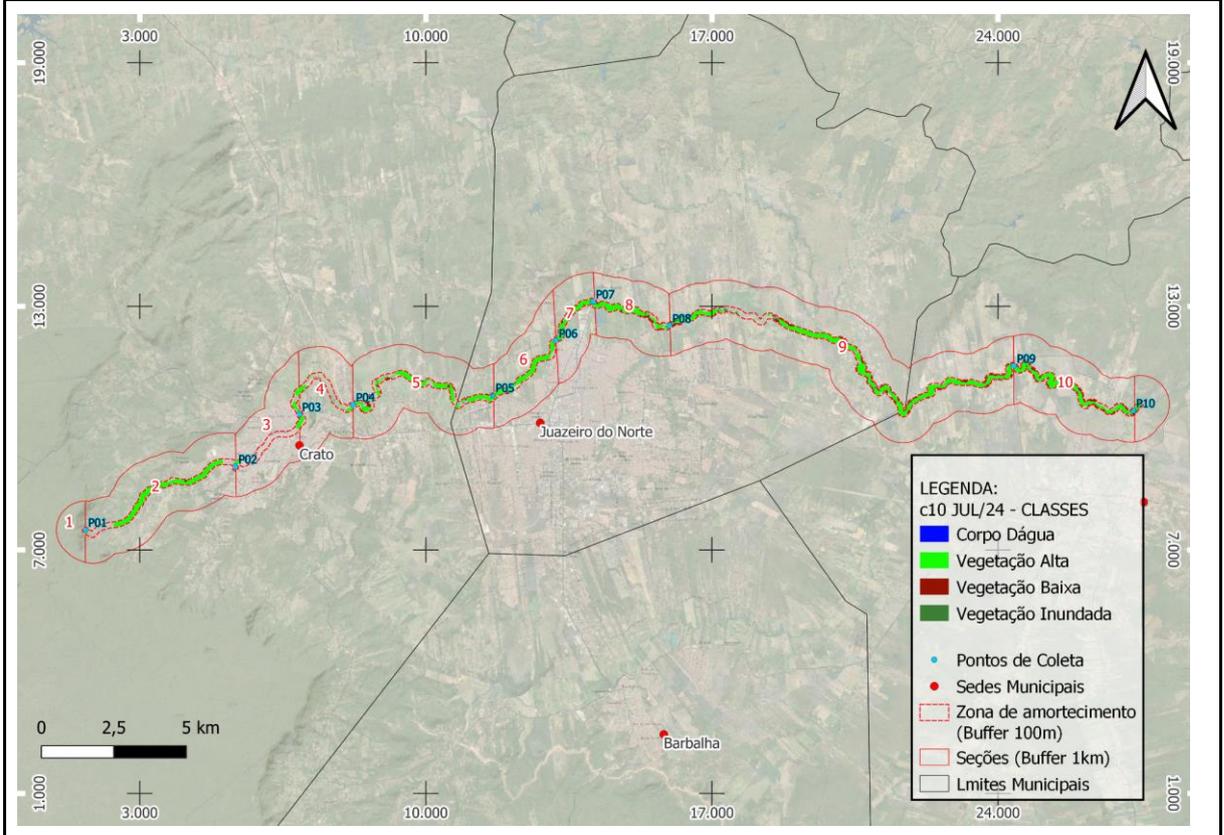
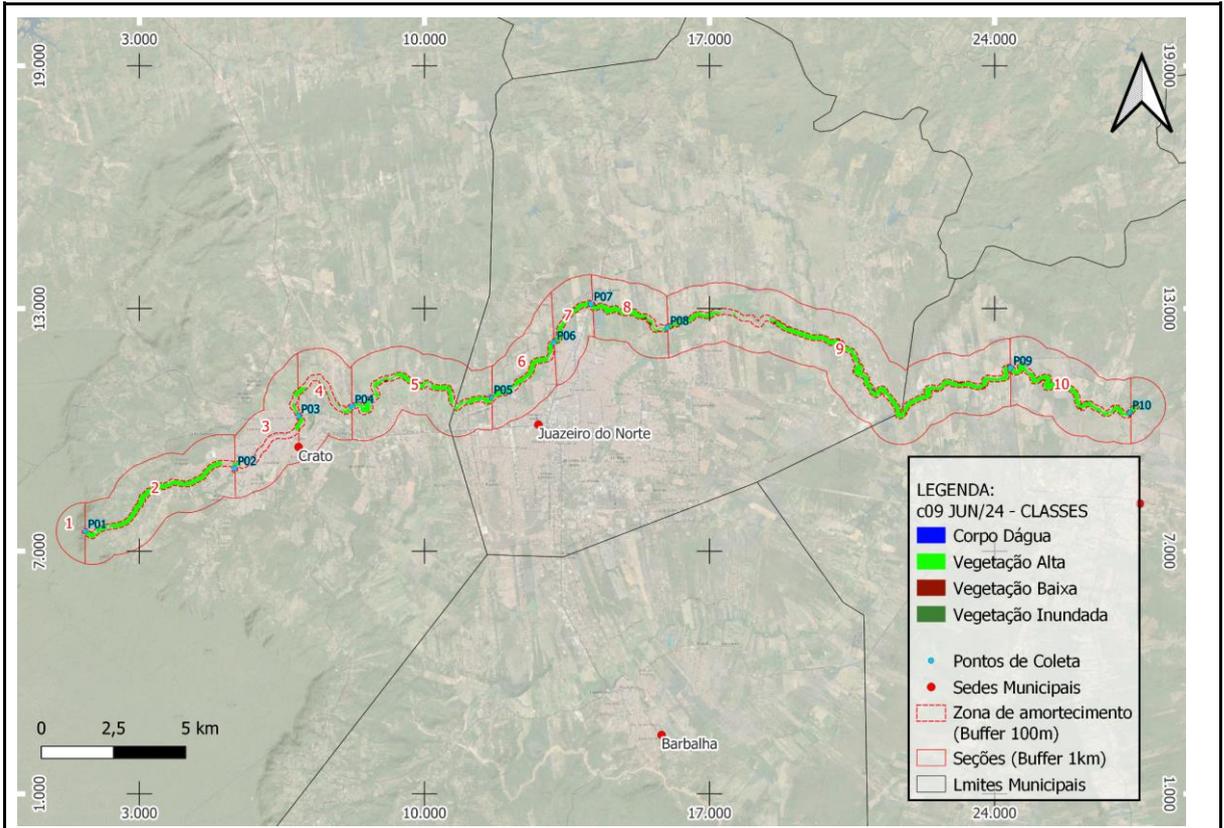
**APÊNDICE I - Mapas ressaltando a presença e tipologia da cobertura vegetal, em todos o trecho estudado, durante todo o período amostral considerando N° coleta / mês e ano.**

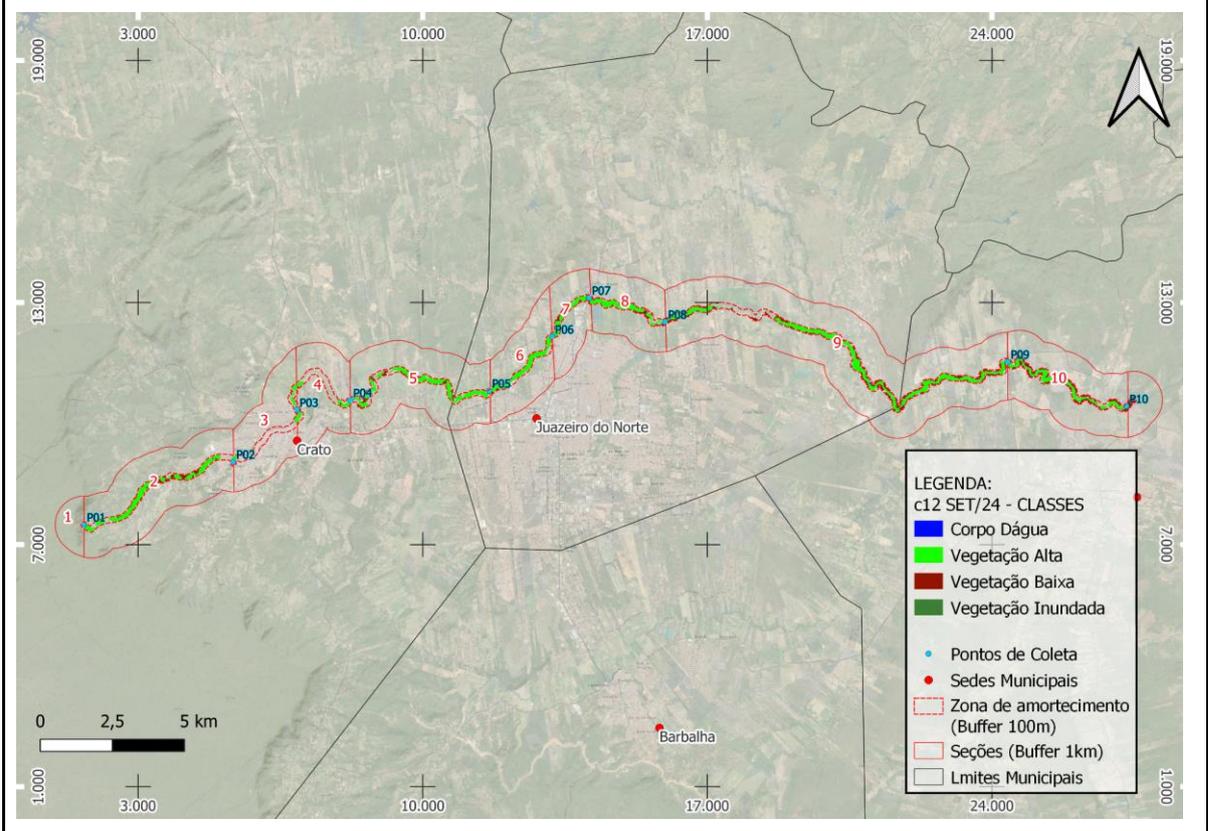
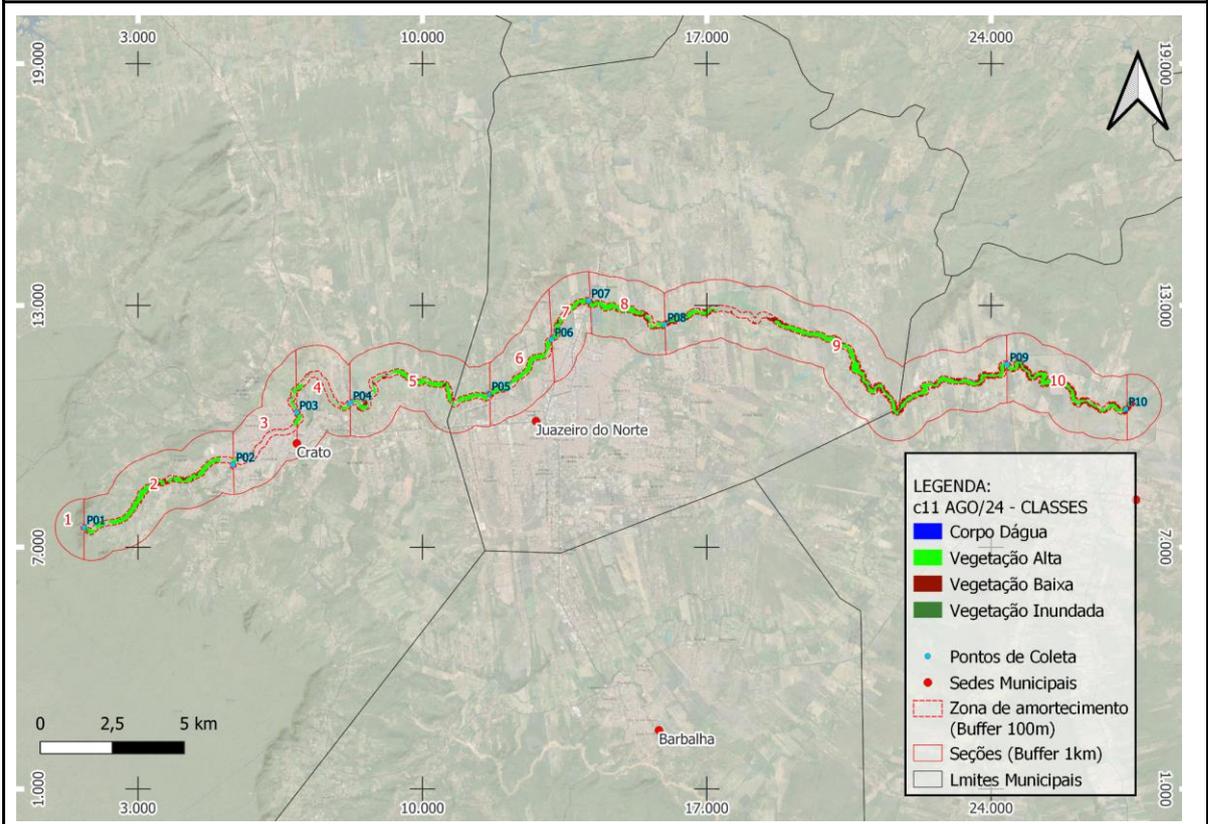












**APÊNDICE II- Substâncias encontradas no Ponto 3 - Município de Crato - Ceará.**

<b>Identificação</b>	<b>CAS</b>	<b>Classe da Substância</b>	<b>Origem</b>	<b>Impacto</b>
1,3,7-Trimethylxanthine	58-08-2	Substância orgânica	É encontrada naturalmente em grãos de café, cacau, nozes de cola, bagas de guaraná e folhas de chá, incluindo erva-mate (Li <i>et al.</i> 2020).	Considerada um poluente de composto farmacologicamente ativo (PhAC) mais representativo, possui alta abundância no ambiente e sua propriedade indicadora de entradas antropogênicas de PhACs em corpos d'água (Li <i>et al.</i> 2020).
2-Hydroxy-3-methacryloxy propyltrimethylammonium chloride	13052-11-4	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais origens.	Possui efeitos agudos de toxicidade em ratos (PubChem, 2004).
3,7,8,2'-Tetrahydroxyflavone	438001-91-3	Substância orgânica	Um produto natural considerado um potente inibidor seletivo do bromodomínio 2 do BRD4 (Li <i>et al.</i> 2021).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
4-Chloro-3-iodophenol	202982-72-7	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
5-Vinyl-2-norbornene	3048-64-4	Polímero não plástico	Presentes em borrachas sintéticas, resinas epóxi, produtos farmacêuticos, fragrâncias e como componentes de alta densidade em propulsores de	Irritante para a pele dos coelhos, causando eritema e edema, leve hiperemia conjuntival e quemose. (Ballantyne; Myers; Klönne, 1997).

			foguetes e combustíveis para motores. (Shorunov et al. 2018).	
6-Amino-3-bromo-2-methyl pyridine	42753-71-9	Medicamento	Derivado da piridina, utilizado em produtos farmacêuticos, ainda não teve seu alvo específico identificado por experimentos de encaixe ou análises quânticas, conforme revisão (Stankevičiūtė et al. 2016).	Pode causar sintomas neurológicos, efeitos renais, inflamação da pele e dos olhos, tumores, defeitos congênitos ou complicações de fertilidade em humanos (Tarannum; Kumar, 2025).
Acetamide	60-35-5	Medicamento	Solubilizante, estabilizante e plastificante, tendo também aplicações na indústria têxtil, metabólito dos medicamentos antiprotozoários, metronidazol e ornidazol (Kennedy, 2012; Mohammadi; Foroumadi, 2023).	A acetamida foi classificada pela Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (IARC) como um possível carcinógeno humano do Grupo 2B (Moore <i>et al.</i> 2019) apud IARC, 1999.
all-trans-Retinoic acid	302-79-4	Medicamento	É um metabólito da vitamina A (Hatake, 1997).	Sua utilização pode causar efeitos colaterais como hipercalcemia, infertilidade masculina, necrose da medula óssea, fibrose e pancreatite aguda (Hatake, 1997).
Astra Blue Base	99130-19-5	Corante	Originalmente utilizado para colorir e permitir a diferenciação entre as paredes celulares celulósicas de lignificadas (Kraus, 1998).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Bindone	1707-95-5	Corante	Estrutural para vários materiais poliméricos (materiais ópticos não lineares, fotovoltaicos orgânicos e semicondutores). É um corante doador-aceitador dipolar potencial de células solares (Liu <i>et al.</i> 2021).	Possui efeitos agudos de toxicidade em ratos (PubChem, 2024).

Bismuth(III) oxide	1304-76-3	Corante	Material semiconductor com propriedades catalíticas, capaz de absorver luz visível para aplicação em desinfecção fotocatalítica e eliminação de bactérias (Keshava <i>et al.</i> 2024).	Considerado tóxico para organismos aquáticos e pode afetar a qualidade da água e do solo, além de resultar em bioacumulação (Yang; Sun, 2011).
Boric Acid	10043-35-3	Substância orgânica	Nutriente mineral encontrado na natureza e em salmoras, utilizado na indústria de fertilizantes, adubos foliares, herbicidas, inseticidas e produtos farmacêuticos (Li <i>et al.</i> 2023).	Essa substância pode ser tóxica para algumas espécies de plantas e animais aquáticos (Li <i>et al.</i> 2023).
Carbon	7440-44-0	Substância orgânica	Elemento base da química orgânica e atua como a espinha dorsal de moléculas como proteínas, carboidratos, lípidos e ácidos nucleicos (Shi; Zhu; Li, 2024).	Componente chave nas mudanças climáticas, especialmente na forma de dióxido de carbono, sendo um dos principais gases do efeito estufa (Shi; Zhu; Li, 2024).
Cellulose	9004-34-6	Polímero não plástico	Polímero natural obtido de plantas e microrganismos, é utilizado como ligante e enchimento em formulações sólidas, e aplicado na indústria alimentícia (sobremesas congeladas e produtos de panificação) (Fleming <i>et al.</i> 2001).	A geração de compostos orgânicos policíclicos na produção de celulose é um poluente. Produz efeitos endócrinos e alteração do DNA, afetando o funcionamento dos organismos (González <i>et al.</i> 2021).
Ethylhydroxy	2348-46-1	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características
Gamma-Phenyl-Gamma-butyrolactone;	1008-76-0	Substância orgânica	Lactonas conhecidas como sabores naturais e compostos aromáticos, componentes de feromônios e blocos de construção úteis para a síntese de medicamentos (Lu <i>et al.</i> 2023)	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

Gatifloxacin	112811-59-3	Medicamento	Antibiótico amplamente utilizado no tratamento de diversas infecções devido à sua baixa toxicidade, alta potência e baixa concentração inibitória mínima (Li <i>et al.</i> 2024).	Os resíduos de GAT se acumulam em alimentos de origem animal e no ambiente, e ameaça a saúde humana podendo causar anormalidades na glicose em pacientes (Li <i>et al.</i> 2024).
Graphene	1034343-98-0	Substância orgânica	Um material cristalino bidimensional composto de átomos de carbono, exibindo inúmeras propriedades físicas e químicas únicas (Patel <i>et al.</i> 2020).	Sua toxicidade no sistema do organismo após ingestão pode causar o acúmulo de nanopartículas no pulmão, baço, fígado e danos hepáticos e inflamação crônica (Patel <i>et al.</i> 2020).
Hostasol Green G-K;	1328-53-6	Corante	Pigmento amplamente utilizado para colorir plásticos (Melville <i>et al.</i> 2018).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais origens.
Indigo	482-89-3	Corante	Corante amplamente utilizado na indústria têxtil para tingir, principalmente, fibras celulósicas, como o algodão (Balan; Monteiro, 2001).	Resistentes à degradação biológica, o que torna sua remoção após o contato com o meio aquático bastante difícil (Mendes <i>et al.</i> [S.d.]).
Indigo Carmine	860-22-0	Corante	Corante sintético comumente usado para uma variedade de propósitos industriais, incluindo têxteis, impressão e produção de alimentos (Kandari; Pandey, 2024).	Pode colorir a água reduzindo a quantidade de luz, diminuindo a eficiência de plantas e animais aquáticos em realizar seus processos normais de vida. Pode ser tóxico para organismos aquáticos em altas concentrações (Kandari; Pandey, 2024).
L-Methionine	63-68-3	Substância orgânica	Composto utilizado na ração animal como fonte de proteína, que pode ser produzido por síntese química a partir de petróleo ou através de fermentação de base biológica (Kim <i>et al.</i> 2024) .	Sua utilização contribui para as emissões de gases de efeito estufa e o esgotamento dos recursos fósseis (Kim <i>et al.</i> 2024).
Malonyl chloride	1663-67-8	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

Methyl cellulose	9004-67-5	Polímero Plástico	Material já empregado na fabricação de filmes para embalagens de alimentos (Campos <i>et al.</i> 2014).	Dificulta a lipólise e reduz a absorção de nutrientes (Pabois <i>et al.</i> 2020).
Modal	308083-78-5	Polímero plástico	É um tecido semi sintético utilizado na produção de roupas e é um derivado do rayon, um tecido de base vegetal (Jiang <i>et al.</i> 2024).	Pode causar estresse oxidativo aumentado, desempenho digestivo intestinal prejudicado e distúrbio da homeostase do microbioma relacionado à imunidade e absorção de nutrientes nos mexilhões (Jiang <i>et al.</i> 2024).
Norketamine HCl	79499-59-5	Medicamento	É um dos principais metabólitos da cetamina, um anestésico dissociativo utilizado na medicina por suas propriedades anestésicas e antidepressivas (Wang <i>et al.</i> 2021).	Contaminantes que representam um risco potencial para a vida aquática e para os seres humanos (Lin; Lee; Wang, 2014).
p-(2,5-Diphenyl-1,3,4-oxadiazole)	725-12-2	Medicamento	Um fluoróforo utilizado como base para a produção de quimiossensores fluorescentes, capazes de detectar de forma seletiva e sensível íons de metais pesados e de transição, essenciais em contextos biológicos e ambientais (Tang <i>et al.</i> 2014).	Possui efeitos agudos de toxicidade em ratos (PubChem, 2004)
Poly (propyleneimine) - PP	115-07-1	Polímero plástico	É o dendrímero mais antigo conhecido comercialmente usado para administração de medicamentos (Zhu; Liu; Pang, [S.D.]).	Dendrímeros carregados positivamente podem gerar grupos de superfície amino catiônicos propensos a desestabilizar as membranas celulares e causar lise da célula (Pedziwiatr-Werbicka <i>et al.</i> 2019).
Poly(ethyleneter phthalate) – PET	25038-59-9	Polímero Plástico	Polímero amplamente utilizado no setor de embalagens. (Jaime-Azuara <i>et al.</i> 2024).	Atuam como concentradores de poluentes moleculares e transportadores de poluentes orgânicos persistentes (Castelvetto <i>et al.</i> 2020)

Poly(isobutyl vinyl ether)	9003-44-5	Polímero plástico	Utilizada em adesivos, lubrificantes e agentes anticorrosivos devido às suas propriedades elásticas e quimicamente inertes (Langer; Oh; Stache, 2023).	Muito inerte, resultando em uma persistência ambiental como poluente por várias décadas (Langer; Oh; Stache, 2023).
Polyacrylonitrile	25014-41-9	Polímero plástico	É um polímero multiuso utilizado para fabricar vários produtos, incluindo membranas de ultrafiltração, hidrogéis, fibras ocas para osmose reversa, fibras para têxteis, fibras de poliacrilonitrila oxidadas, etc. (Gupta <i>et al</i> , 2022).	Quando presentes no meio ambiente, a poliacrilonitrila pode causar impactos nos atributos físicos, químicos e microbianos do solo, seja na porosidade ou na condutividade hidráulica (Miranda <i>et al</i> , 2024).
Polymer 1180	79499-59-5	Polímero plástico	Utilizado em produtos absorventes, produtos de higiene, não-tecidos, filtragem, malha de prata, tecidos microdenier, tecidos e lenços umedecidos de camurça sintética, forros de teto de automóveis (MatWeb, [s.d.]).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais origens.
Polymide (PTFE)	9002-84-0	Polímero plástico	Eles podem ser aplicados como filmes, fibras, pós de moldagem, revestimentos e compósitos (Vanherck; Koeckelberghs; Vankelecom, 2013).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Polyphenylene sulfide - PPS	25212-74-2	Polímero plástico	Utilizado em moldagem por injeção, peças mecânicas de precisão, componentes elétricos e ambientes severos. Ele também pode ser aplicado em processos de revestimento (Rahate; Nemade; Waghuley, 2013).	Resistente à degradação e sua persistência pode levar a formação de resíduos duradouros que podem se acumular nos ecossistemas (Dollischek <i>et al</i> . 2024).
Polystyrene Sulfonate	9080-79-9	Polímero plástico	Essa substância é promissora como superplastificante (Kim <i>et al</i> . 2024).	Os microplásticos de poliestireno sulfonado (PSMPs) são altamente móveis em ecossistemas aquáticos e podem causar efeitos adversos à saúde humana devido à bioacumulação (Kim <i>et al</i> . 2024)

Potassium indigo tetrasulfonate	67627-19-4	Corante	Corante orgânico usado para colorir tecidos, papel, couro e plásticos, e em áreas especializadas como alimentos, medicamentos, cosméticos e fotoquímicos (Fallah <i>et al.</i> 2024).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais origens.
Tetraethylsilane	631-36-7	Substância orgânica	Pertencente à classe dos organossilanos, é utilizada na produção de polímeros e revestimentos. Precursor na deposição de filmes finos de silício em tecnologias como a Decomposição Química de Vapor (CVD) (Asahina <i>et al.</i> 2003).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características
Tetrahydroxyflavone	3440-24-2	Medicamento	Derivado das flavonas hidroxiladas. Muito utilizados nas áreas clínicas devido suas ações antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas, anticâncer e antialérgicas (Manaka <i>et al.</i> 2022)	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

**APÊNDICE III - Substâncias encontradas no Ponto 8 - Município de Juazeiro do Norte - Ceará.**

<b>Identificação</b>	<b>CAS</b>	<b>Classe da Substância</b>	<b>Origem</b>	<b>Impacto</b>
1,3,7-Trimethylxanthine	58-08-2	Substância orgânica	É encontrada naturalmente em grãos de café, cacau, nozes de cola, bagas de guaraná e folhas de chá, incluindo ervamate (Li <i>et al.</i> , 2020).	Considerada um poluente de composto farmacologicamente ativo (PhAC), alta abundância no ambiente e sua propriedade indicadora de entradas antropogênicas de PhACs em corpos d'água (Li <i>et al.</i> , 2020).
2-Acetyl-5-norbornene	5063-03-6	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
3-Bromo-1-propanamine hydrobromide	5003-71-4	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
4,4'-Oxybis(Benzenesulfonylhydrazide)	80-51-3	Substância química	Amplamente utilizado na preparação de espumas de EVA (Li <i>et al.</i> , 2024).	Ao aquecida, esta substância se decompõe para produzir nitrogênio ou outros gases que irão formar as estruturas celulares dentro da matriz de EVA. No entanto, esta decomposição pode liberar substâncias nocivas que representam ameaças potenciais ao meio ambiente e à saúde humana (Li <i>et al.</i> , 2024).
5-Nitroisatin	611-09-6	Medicamento	É um derivado da isatina e está presente em células humanas e de outros mamíferos como resultado da via metabólica do triptofano. Além disso, uma ampla gama	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

			de atividades biológicas, como anticonvulsivantes, antimicrobianos e anticâncer (Karthick <i>et al.</i> 2021).	
AG-494	133550-35-3	Medicamento	É um derivado da tirfostina, amplamente utilizado em pesquisas como potente inibidor de células cancerígenas, como câncer de pulmão, câncer de próstata e câncer cerebral (Bojko <i>et al.</i> 2012).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Allyl iodide	556-56-9	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
alpha-Cyclodextrin	10016-20-3	Medicamento	Compõe o grupo das ciclodextrinas e possui efeitos benéficos à saúde como a redução do peso corporal, das concentrações de glicose pós-prandial e dos níveis de lipídios (Smits <i>et al.</i> 2024).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Ammonium pentaborate tetrahydrate	12046-04-7	Substância química	Pode ser usado na preparação de capacitores eletrolíticos úmidos e secos, na inibição de corrosão e como solvente para óxidos metálicos em altas temperaturas (Balakrishnan; Bhagavannarayana; Ramamurthi, 2008).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Bindone	1707-95-5	Corante	Estrutural para vários materiais poliméricos, (materiais ópticos não lineares, fotovoltaicos orgânicos e semicondutores). É um corante doador-aceitador dipolar potencial de células solares (Liu <i>et al.</i> 2021).	Possui efeitos agudos de toxicidade em ratos (PubChem, 2024).
Brilliant Yellow	3051-11-4	Corante	É um corante azo aniônico usado para tingir materiais como nylon, papel e tecidos. Também é usado como	Contatos com o corante causam irritação nos olhos e na pele. A sua ingestão e inalação podem causar irritação gastrointestinal, náusea,

			indicador fotométrico de magnésio e na preparação de eletrodos (Mittal; Thakur; Gajbe, 2012).	vômito, diarreia e irritação no trato respiratório (Mittal; Thakur; Gajbe, 2012).
Calcein Blue	54375-47-2	Corante	Tem sido empregado como um indicador na titulação de EDTA de cálcio e alguns metais de transição com base em suas propriedades de fluorescência (Leong; Vittal, 2009)	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Carbon	7440-44-0	Substância Orgânica	Elemento base da química orgânica e atua como a espinha dorsal de moléculas como proteínas, carboidratos, lipídios e ácidos nucleicos (Shi; Zhu; Li, 2024).	Componente chave nas mudanças climáticas, especialmente na forma de dióxido de carbono, sendo um dos principais gases do efeito estufa (Shi; Zhu; Li, 2024).
Carbon Black	1333-86-4	Substância Orgânica	É o particulado de reforço mais amplamente utilizado em pneus e na indústria da borracha em geral (Kyei-Manu <i>et al.</i> 2025).	Quando disposto em partículas ultrafinas, são capazes de atingir as regiões mais profundas dos pulmões e podem até atingir o sistema circulatório para se espalhar para órgãos distantes como, por exemplo, a placenta (Rasking <i>et al.</i> 2023).
Cellulose	9004-34-6	Polímero não plástico	Polímero natural obtido de plantas e microrganismos, é utilizado como ligante e enchimento em formulações sólidas, além de ser aplicado na indústria alimentícia (sobremesas congeladas e produtos de panificação) (Fleming <i>et al.</i> 2001).	A geração de compostos orgânicos policíclicos na produção de celulose é um poluente. Produz efeitos endócrinos e alteração do DNA, afetando o funcionamento dos organismos (González <i>et al.</i> 2021).
Chloromethyl 4-chlorophenyl sulfide	25038-59-9	Substância Química	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

Cromophtal Violet B	2092-55-9	Corante	É um pigmento ideal para colorir polímeros que são sensíveis à deformação ou encolhimento induzidos por pigmentos. Pode ser usado para a maioria das poliolefinas, PVC, polímeros estirênicos e elastômeros. É recomendado para recipientes e fechos feitos de polietileno de alta densidade (PEAD) (Pfaff, 2022).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Dichloroacetic anhydride	4124-30-5	Substância química	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Ethyl (E)-3-(1 pyrrolidinyl)crotonate	54716-02-8	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Graphite	7782-42-5	Substância orgânica	É um polimorfo de carbono cristalino de ocorrência natural. Possui propriedades metálicas e não metálicas. Sendo amplamente utilizado em várias indústrias, incluindo moderadores de nêutrons na reação de fissão nuclear, células de combustível, células solares, baterias de íons de lítio e produção de grafeno (Cherakkara <i>et al.</i> 2024).	O material apresenta baixa toxicidade para o meio ambiente e a saúde humana. Podendo apresentar altos índices de poluição ambiental quando está agregado com os demais metais presentes nas baterias de íons de lítio (LIBs) (Zhang <i>et al.</i> 2024)
Graphite Powder	7782-42-5	Substância orgânica	Pode ser utilizado na produção de concreto asfáltico, concreto de fibra de aço (Han <i>et al.</i> , 2014).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Graphite Rod	7782-42-5	Substância orgânica	As hastes de grafite podem ser utilizadas como material ânodo ou eletrodos (Wang <i>et al.</i> , 2023).	Uma das maiores desvantagens da utilização das hastes de grafite como ânodo é que é fácil de ser consumido no processo de eletrólise,

				resultando em efluente turvo (Wang <i>et al.</i> , 2023).
Indian Yellow	846-70-8	Corante	Utilizado para tingir tecidos de algodão, uso em aquarela e pinturas à óleo, tingir móveis e paredes (Ploeger; Shugar, 2017).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Indigo	482-89-3	Corante	Corante amplamente utilizado na indústria têxtil para tingir, principalmente, fibras celulósicas, como o algodão (Balan; Monteiro, 2001).	Resistentes à degradação biológica, o que torna sua remoção após o contato com o meio aquático bastante difícil (Mendes <i>et al.</i> [S.d.]).
Indigo Carmine	860-22-0	Corante	É um corante sintético comumente usado para uma variedade de propósitos industriais, incluindo têxteis, impressão e produção de alimentos (Kandari; Pandey, 2024).	Pode colorir a água em que está presente, reduzindo a quantidade de luz que pode penetrar e diminuindo a eficiência de plantas e animais aquáticos em realizar seus processos normais de vida. Além disso, pode ser tóxico para organismos aquáticos em altas concentrações (Kandari; Pandey, 2024).
Levafix Brown E-2R	61969-04-8	Corante	É um corante azoico sulfonado reativo, amplamente utilizado para tingir tecidos (Kalpana <i>et al.</i> 2012)	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Lyocell	308083-79-6	Polímero não plástico	É categorizado como um tipo relativamente novo de fibra de celulose regenerada. É descrito como uma "fibra verde e ecologicamente correta" devido ao seu processo de fabricação que não envolve o dissulfeto de carbono volátil e odorífero (Edgar; Zhang, 2020).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Magenta I	632-99-5	Corante	É comumente usado em impressão ou display como leitores de e-books, mas seu tom de cor atraente trouxe	Considerado um dos principais componentes das águas residuais de tingimento, podendo

			sua demanda em revestimentos externos também (Thejus; Krishnapriya; Nishanth, 2021).	causar sérios problemas ambientais e de saúde (Hun <i>et al.</i> 2021).
Magneson	74-39-5	Corante	Também conhecido como violeta Azo, foi usado experimentalmente para criar uma ampla gama de cores para a indústria têxtil, bem como para tingir seda, lã e juta. Também foi usado comercialmente como corante violeta (Rabari; Solanki; Prajapati, 2023).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Methyl p-toluenesulfonylaceta te	50397-64-3	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Methyl-3-bromopropionate	3395-91-3	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Poly(ethylene terephthalate) - PET	25038-59-9	Polímero plástico	Polímero amplamente utilizado no setor de embalagens. (Jaime-Azuara <i>et al.</i> 2024).	Atuam como concentradores de poluentes moleculares e transportadores de poluentes orgânicos persistentes (Castelvetto <i>et al.</i> 2020)
Poly(sodium 4-styrenesulfonate)	25704-18-1	Polímero plástico	É um polieletrólito aniônico, solúvel em água, industrial, pode ser usado como flocculante e também é medicamento útil, podendo ser usado no tratamento de hipercalemia (Padmarajan; Kalpathy, 2024).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Polyester Film*		Polímero plástico	É um material fino e transparente, amplamente utilizado em embalagens, eletrônicos e sistemas fotovoltaicos. Pode ser produzido a partir de policaprolactona (PCL), tereftalato de polietileno (PET), polilactato (PLA) e poli-hidroxibutirato/poli-hidroxivalerato (PHB/PHV) (Urbelienė <i>et al.</i> 2025)	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

Polystyrene Sulfonate	9080-79-9	Polímero plástico	Essa substância é promissora como superplastificante (Kim <i>et al.</i> 2024).	Os microplásticos de poliestireno sulfonado (PSMPs) são altamente móveis em ecossistemas aquáticos e podem causar efeitos adversos à saúde humana devido à bioacumulação (Kim <i>et al.</i> 2024)
Polysulfone	25135-51-7	Polímero plástico	É um polímero termoplástico utilizado na fabricação de embalagens, que oferece maior resistência ao calor e melhor estabilidade hidrolítica. Pode ser usado como uma alternativa altamente transparente, esterilizável, lavável em lava-louças de longo prazo e resistente a impactos (Geens; Goeyens; Covaci, 2011)	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Scandium sulfate octahydrate	52788-54-2	Substância Química	Possui aplicações em células de combustível de óxido sólido e na produção de tubos para todos os tipos de sistemas de duto (Grigorieva <i>et al.</i> 2025).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Styrene/Divinylbenzene Copolymer*Oleum Sulfonated	292825-15-1	Substância orgânica	Suas micropartículas são utilizadas na síntese de materiais adsorventes com aplicação na remediação de águas contaminadas (Reis; De Sousa; Batista, 2022).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Tetraethylsilane	631-36-7	Substância orgânica	Pertencente à classe dos organossilanos, é utilizada na produção de polímeros e revestimentos. Serve como precursor na deposição de filmes finos de silício em tecnologias como a Decomposição Química de Vapor (CVD) (Asahina <i>et al.</i> 2003).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

Trenbolone	10161-33-8	Medicamento	É utilizado como esteroide anabólico para melhorar a conversão alimentar e aumentar a massa muscular no gado em algumas partes do mundo. Também é uma droga popular usada ilegalmente por alguns fisiculturistas e atletas (Ankley <i>et al.</i> 2018).	Pode causar efeitos adversos na fauna aquática (Ankely <i>et al.</i> 2018). Em humanos foram documentados efeitos no tecido nervoso, muscular e adiposo, como também no sistema reprodutor masculino, na glândula mamária e no sistema imunológico (Borecki <i>et al.</i> 2024).
Trichlorofluoromethane	75-69-4	Substância orgânica	É um clorofluorcarbono utilizado como solvente, agente de resfriamento, líquido extintor de incêndio e propulsor. Também é liberado em processos de reciclagem de dispositivos de resfriamento de resíduos (Girschikofsky <i>et al.</i> 2019).	Sua utilização em grande escala levou ao afinamento significativo da camada de ozônio e contribuiu para a formação do chamado buraco de ozônio (Girschikofsky <i>et al.</i> 2019).
Viridian	12001-99-9	Corante	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

**Legenda:**

\* A composição deste polímero plástico pode variar dependendo de aditivos ou processos de fabricação. Portanto, não há como especificar um CAS para este material.

**APÊNDICE IV - Substâncias encontradas no Ponto 10 - Município de Missão Velha – Ceará.**

<b>Identificação</b>	<b>CAS</b>	<b>Classe da Substância</b>	<b>Origem</b>	<b>Impacto</b>
1-Pyrrolidinecarbonyl chloride	1192-63-8	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
1,3,7-Trimethylxanthine	58-08-2	Substância orgânica	É encontrada naturalmente em grãos de café, grãos de cacau, nozes de cola, bagas de guaraná e folhas de chá, incluindo erva-mate (Li <i>et al.</i> 2020).	Tem sido considerada um poluente de composto farmacologicamente ativo (PhAC). Possui alta abundância no ambiente e sua propriedade indicadora de entradas antropogênicas de PhACs em corpos d'água (Li <i>et al.</i> 2020).
2-Acetyl-5-norbornene, mixture of endo and exo	5063-03-6	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
2-Amino-4-nitrophenol	99-57-0	Substância química	É geralmente utilizado como ingrediente nos produtos de tintura capilar. Também pode ser usado para tingir náilon, couro, seda, lã e entre outros (Mukhtorov <i>et al.</i> 2019).	Causa dermatite alérgica de contato em porquinhos-da-índia (Mukhtorov <i>et al.</i> 2019).
2,3,4,5,6-Pentafluoroanisole	389-40-2	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
2,4,5,6(1H,3H)-Pyrimidinetetrone 5-oxime, hydrate	50-71-5	Medicamento	É amplamente utilizado em estudos de diabetes experimental, porque este agente destrói células $\beta$	É conhecida por induzir diabetes em animais experimentais por meio da destruição de células

			das ilhotas pancreáticas com uma seletividade específica (Murata <i>et al.</i> 1998).	$\beta$ produtoras de insulina do pâncreas (Murata <i>et al.</i> 1998).
3-Amino-2,7-naphtalenedisulfonic	92-28-4	Substância química	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
3,5-Dinitrosalicylic acid	609-99-4	Substância orgânica	É usado como quantificador de açúcares redutores em produtos da indústria açucareira, como vinhos, etc. (Hernández <i>et al.</i> 2021).	É um composto orgânico aromático com propriedades físico-químicas semelhantes a outros compostos nitroaromáticos e causa vários males, como irritação do trato intestinal, distúrbios metabólicos e danos renais (Hernández <i>et al.</i> 2021).
4-Chloroquinazoline	5190-68-1	Medicamento	Um esqueleto químico com utilidade farmacêutica e fisiológica diversa, incluindo atividades antimicrobianas, anti-hiperlipidêmica, anticonvulsivantes, anti-hipertensivas e anti-inflamatórias (Li <i>et al.</i> 2020).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
4-n-Hexylbiphenyl	41122-70-7	Substância Química	São usadas para a maioria dos displays de matriz ativa e na qualidade da imagem dos displays de cristal líquido (LCDs) (Yakuphanoglu <i>et al.</i> 2007).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
5-Nitroisatin	611-09-6	Medicamento	É um derivado da isatina e está presente em células humanas e de outros mamíferos como resultado da via metabólica do triptofano. Além disso, uma ampla gama de atividades biológicas, como anticonvulsivantes, antimicrobianos e anticâncer (Karthick <i>et al.</i> 2021).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

8-Hydroxy-5-nitroquinoline	4008-48-4	Medicamento	É um agente antimicrobiano, anti-inflamatório e anticâncer, e foi aprovado para uso no tratamento de doenças (Wang <i>et al.</i> 2023).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
AG-494	133550-35-3	Medicamento	É um derivado da tirfostina, amplamente utilizado em pesquisas como potente inibidor de células cancerígenas, como câncer de pulmão, câncer de próstata e câncer cerebral (Bojko <i>et al.</i> 2012).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Aluminum sulfate	10043-01-3	Substância química	O sulfato de alumínio (alúmen) é usado como um agente de sedimentação no tratamento de água potável (Bondy, 2014).	Amplamente presente no ambiente, pode ser absorvido pelo organismo humano e alcançar o cérebro. Exposições ao alumínio podem causar danos ao sistema nervoso central (SNC) (Bondy, 2014).
Bindone	1707-95-5	Corante	Estrutural para vários materiais poliméricos, (materiais ópticos não lineares, fotovoltaicos orgânicos e semicondutores). É um corante doador-aceitador dipolar potencial de células solares (Liu <i>et al.</i> 2021).	Possui efeitos agudos de toxicidade em ratos (PubChem, 2024).
Biphenil-4-carbonyl chloride	14002-51-8	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Calcein Blue	54375-47-2	Corante	Tem sido empregado como um indicador na titulação de EDTA de cálcio e alguns metais de transição com base em suas propriedades de fluorescência (Leong; Vittal, 2009)	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

Carbon	7440-44-0	Substância Orgânica	Elemento base da química orgânica e atua como a espinha dorsal de moléculas como proteínas, carboidratos, lipídios e ácidos nucleicos (Shi; Zhu; Li, 2024).	Componente chave nas mudanças climáticas, especialmente na forma de dióxido de carbono, sendo um dos principais gases do efeito estufa (Shi; Zhu; Li, 2024).
Carbohydrate Polymer**		Polímero plástico	São provenientes das plantas e atuam como potentes agentes redutores e encapsulantes na síntese de nanocompósitos de polímeros metal-óxido e metal-carboidrato (NCs). Suas propriedades físico-químicas e biorrenováveis são ideais para aplicações em setores médicos e industriais (Zahran, 2024).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Cellulose	9004-34-6	Polímero não plástico	Polímero natural obtido de plantas e microrganismos, é utilizado como ligante e enchimento em formulações sólidas, além de ser aplicado na indústria alimentícia (sobremesas congeladas e produtos de panificação) (Fleming <i>et al.</i> 2001).	A geração de compostos orgânicos policíclicos na produção de celulose é um poluente. Produz efeitos endócrinos e alteração do DNA, afetando o funcionamento dos organismos (González <i>et al.</i> 2021).
D-(-)-Ribose	50-69-1	Substância Química	Pode ser sintetizado endogenamente a partir da glicose. Possui várias funções biológicas como a formação do componente de RNA, ou seja, purinas e pirimidinas, cofatores, algumas vitaminas e muito mais (Javed <i>et al.</i> 2020).	Existem evidências que mostram o envolvimento da D-ribose em distúrbios neurodegenerativos relacionados à idade, como Alzheimer (Javed <i>et al.</i> 2020).
D-Ethionine	535-32-0	Substância Química	É um aminoácido não proteinogênico que interfere na incorporação de aminoácidos na proteína e inibe a utilização de ATP celular (Menn, 2014).	Experimentos em animais revelaram consistentemente que a etionina é altamente tóxica e um carcinógeno químico e também pode induzir pancreatite aguda (Wang <i>et al.</i> 2019).

Graphite	7782-42-5	Substância orgânica	É um polimorfo de carbono cristalino de ocorrência natural. Amplamente utilizado em várias indústrias, incluindo moderadores de nêutrons na reação de fissão nuclear, células de combustível, células solares, baterias de íons de lítio e produção de grafeno (Cherakkara <i>et al.</i> 2024).	O material apresenta baixa toxicidade para o meio ambiente e a saúde humana. Podendo apresentar altos índices de poluição ambiental quando está agregado com os demais metais presentes nas baterias de íons de lítio (LIBs) (Zhang <i>et al.</i> 2024)
Graphite Powder	7782-42-5	Substância orgânica	Pode ser utilizado na produção de concreto asfáltico, concreto de fibra de aço (Han <i>et al.</i> , 2014).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Hydrazine Monohydrochloride	2644-70-4	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Indigo Carmine	860-22-0	Corante	É um corante sintético comumente usado para uma variedade de propósitos industriais, incluindo têxteis, impressão e produção de alimentos (Kandari; Pandey, 2024).	Pode colorir a água em que está presente, reduzindo a quantidade de luz que pode penetrar e diminuindo a eficiência de plantas e animais aquáticos em realizar seus processos normais de vida. Além disso, pode ser tóxico para organismos aquáticos em altas concentrações (Kandari; Pandey, 2024).
Levafix Brown E-2R	61969-04-8	Corante	É um corante azoico sulfonado reativo, amplamente utilizado para tingir tecidos (Kalpana <i>et al.</i> 2012)	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Malonyl chloride	1663-67-8	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

Naphthol Yellow S	846-70-8	Corante	É um corante nitro e é comumente usado como um agente de coloração direta em medicamentos, dispositivos médicos e cosméticos (Asemi-Esfahani <i>et al.</i> 2021).	Não é biodegradável e pode se acumular no meio ambiente (Ayu; Kasiamdari, 2023).
Neolan Green BL	10241-21-1	Corante	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Nylon 1 + B6	25038-54-4	Polímero Plástico	Uma poliamida linear termoplástica sintética. Sendo amplamente utilizado em áreas como têxteis, eletrônicos e eletrodomésticos, fabricação de automóveis e produtos domésticos (Guo <i>et al.</i> 2023).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
O-(Carboxymethyl)hydroxylamine hemihydrochloride	2921-14-4	Substância orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
p-(Propylene)	115-07-1	Substância orgânica	É um dos maiores petroquímicos produzidos hoje depois do etileno, com muitas aplicações na produção de polipropileno, acrilonitrila, ácido acrílico, acroleína, óxido de propileno e glicóis, oxo álcoois plastificantes, cumeno, álcool isopropílico e acetona (Phung <i>et al.</i> 2021).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Pigment yellow 108	<u>4216-01-7</u>	Corante	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

Polyacrylonitrile	25014-41-9	Polímero plástico	É um polímero multiuso utilizado para fabricar vários produtos, incluindo membranas de ultrafiltração, hidrogéis, fibras ocas para osmose reversa, fibras para têxteis, fibras de poliácrlonitrila oxidadas, etc. (Gupta <i>et al.</i> , 2022).	Quando presentes no meio ambiente, a poliácrlonitrila pode causar impactos nos atributos físicos, químicos e microbianos do solo, seja na porosidade ou na condutividade hidráulica (Miranda <i>et al.</i> , 2024).
Poly(ethylene terephthalate) - PET	25038-59-9	Polímero plástico	Polímero amplamente utilizado no setor de embalagens. (Jaime-Azuara <i>et al.</i> 2024).	Atuam como concentradores de poluentes moleculares e transportadores de poluentes orgânicos persistentes (Castelvetto <i>et al.</i> 2020)
Polyester	862993-96-2	Polímero plástico	Fibra sintética produzida a partir do petróleo. É amplamente usado em roupas, pneus, tintas em pó, em telas de LED e nas garrafas PET (Razzaq <i>et al.</i> 2024).	A exposição prolongada a quantidades crescentes de microfibras de poliéster causou anemia em um modelo de camundongo e doses mais altas de microfibras de poliéster resultaram em alterações mais significativas e danos aos tecidos, particularmente no fígado e no trato gastrointestinal, indicando danos potenciais (Razzaq <i>et al.</i> 2024).
Polyester Film*		Polímero plástico	É um material fino e transparente, amplamente utilizado em embalagens, eletrônicos e sistemas fotovoltaicos. Pode ser produzido a partir de policaprolactona (PCL), tereftalato de polietileno (PET), polilactato (PLA) e poli-hidroxibutirato/poli-hidroxivalerato (PHB/PHV) (Urbeliené <i>et al.</i> 2025)	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Polyphenylene sulfide - PPS	25212-74-2	Polímero Plástico	Utilizado em moldagem por injeção, peças mecânicas de precisão, componentes elétricos e ambientes severos. Ele também pode ser aplicado em processos de revestimento (Rahate; Nemade; Waghuley, 2013)	Resistente à degradação e sua persistência pode levar a formação de resíduos duradouros que podem se acumular nos ecossistemas (Dollischek <i>et al.</i> 2024).

Polypropylene	9003-07-0	Polímero Plástico	Possui inúmeras aplicações na indústria como recipientes de embalagens, sacos plásticos, seringas descartáveis, frascos de espécimes, produtos eletrônicos e produtos pessoais (Jeyavani <i>et al.</i> 2023).	Mostrou-se bioacumulativo e desencadeou toxicidade aguda e crônica, efeitos a níveis tóxicos morfológicos e impactou a reprodução e desenvolvimento embrionário no crustáceo zooplâncton <i>Daphnia sp.</i> (Jeyavani <i>et al.</i> 2023).
Polystyrene Sulfonate	9080-79-9	Polímero plástico	Essa substância é promissora como superplastificante (Kim <i>et al.</i> 2024).	Os microplásticos de poliestireno sulfonado (PSMPs) são altamente móveis em ecossistemas aquáticos e podem causar efeitos adversos à saúde humana devido à bioacumulação (Kim <i>et al.</i> 2024)
Resolin Blau	17418-58-5	Corante	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Sirius Green G	93697-74-6	Corante	É um corante direto comum usado para tingir fibras à base de celulose em brinquedos, roupas de bebê e têxteis (Weng <i>et al.</i> 2015).	Por ser um corante do tipo azo, possui propriedades altamente cancerígenas (Sarikaya; Kopar, 2022).
Tetraethylsilane	631-36-7	Substância orgânica	Pertencente à classe dos organossilanos, é utilizada na produção de polímeros e revestimentos. Serve como precursor na deposição de filmes finos de silício em tecnologias como a Decomposição Química de Vapor (CVD) (Asahina <i>et al.</i> 2003).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Thionin	293-60-7	Substância orgânica	As tioninas são pequenas proteínas contendo cisteínas encontradas apenas em plantas de angiospermas. Elas são utilizadas na defesa da planta contra o ataque de patógenos (Dang; Van Damme, 2025).	Apresentam toxicidade para uma ampla gama de sistemas biológicos, como bactérias, fungos, células de mamíferos cultivadas, larvas de insetos e <i>Leishmania donovani</i> (Dang; Van Damme, 2025).

Triethylgermanium chloride	994-28-5	Substância Orgânica	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Trimethylsilane	993-07-7	Substância orgânica	É um gás organossilício não pirofórico. Este material é facilmente usado para depositar filmes finos dielétricos em sistemas PECVD padrão projetados para SiH <sub>4</sub> (Loboda, 2000).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Tris(trimethylsilyl)silane	1873-77-4	Substância orgânica	É um agente redutor eficaz para haletos orgânicos, selenetos, xantatos e isocianetos, bem como um agente hidrossililante eficaz para dialquil cetonas e alcenos. O silano funciona como um mediador na formação de intermol (Čierna <i>et al.</i> 2024).	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.
Urea-Formaldehyde Resin, alpha	9011-05-6	Polímero plástico	É o maior adesivo de resina termoendurecível do mundo. As resinas UF são amplamente utilizadas na indústria madeireira devido ao seu baixo custo, rápida velocidade de cura e baixa temperatura de cura (Zheng <i>et al.</i> 2024).	A presença de emissões de formaldeído em UF e seus produtos ligados pode ser prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana (Khonakdar <i>et al.</i> 2019).
Viridian	12001-99-9	Corante	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.	A busca bibliográfica desta substância não verificou informações acerca de tais características.

**Legenda:** \*A composição deste polímero plástico pode variar dependendo de aditivos ou processos de fabricação. Portanto, não há como especificar um CAS para este material.

\*\* Não existe um CAS único para os Polímeros de Carboidratos pois ele descreve uma classe de compostos e não um único produto químico específico.