



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

**EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA E PRESENÇA DE
CONTAMINANTES NOS CANAIS FLUVIAIS NA UNIDADE DE
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS 22, PONTAL DO
PARANAPANEMA**

Aluna: Sinthia Silvestre Gonçalves

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha

Linha de pesquisa: Trabalho, saúde ambiental e movimentos socioterritoriais

Presidente Prudente/São Paulo

2021

**EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA E PRESENÇA DE
CONTAMINANTES NOS CANAIS FLUVIAIS NA UNIDADE DE
GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS 22, PONTAL DO
PARANAPANEMA**

Dissertação de Mestrado Acadêmico apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho FCT/UNESP – Presidente Prudente,
como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha.

Presidente Prudente/São Paulo

2021

G635e

Gonçalves, Sinthia Silvestre

Evolução do uso e cobertura da terra e presença de contaminantes nos canais fluviais na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 22, Pontal do Paranapanema / Sinthia Silvestre Gonçalves. -- Presidente Prudente, 2022

115 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Paulo César Rocha

1. Geografia. 2. Geomorfologia. 3. Sedimentos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Evolução do uso e cobertura da terra e presença de contaminantes nos canais fluviais na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 22, Pontal do Paranapanema

AUTORA: SINTHIA SILVESTRE GONÇALVES

ORIENTADOR: PAULO CESAR ROCHA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Geografia, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. PAULO CESAR ROCHA (Participação Virtual)
Departamento de Geografia / Unesp/FCT - Câmpus de Presidente Prudente



Profa. Dra. RENATA RIBEIRO DE ARAÚJO (Participação Virtual)
Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / Unesp/FCT - Câmpus de Presidente Prudente



Prof. Dr. JOSÉ PAULO PECCININI PINESE (Participação Virtual)
Universidade Estadual de Londrina/Londrina (PR)

Presidente Prudente, 16 de dezembro de 2021

AGRADECIMENTOS

De uma forma acalentada, agradeço à Deus por permitir que minha trajetória de vida pudesse chegar a esse momento em meio a tantos acontecimentos pessoais e de força maior.

À minha mãe, Amarilda, por ser tão única e potente em minha vida, fornecendo todo amor e cuidado para que eu concluísse esse processo com saúde mental.

Ao meu padraсто, Marcelo, à sua maneira, sempre solícito e fraterno quando precisei.

Aos meus avós, Maria e Antônio, os quais juntos de sua simplicidade, sempre torceram para o meu sucesso.

Ao meu companheiro, Gustavo, sendo um dos responsáveis para que eu estivesse nessa jornada, além de todas as outras formas de amor que demonstrou durante o mestrado.

Ao meu orientador, Paulo César, por toda confiança que se estabeleceu por anos à minha pessoa, por toda sua paciência e compreensão nesses anos de orientação.

Aos meus amigos de graduação e pós graduação, Maria, Lucas, Gleice, Daiara, Mateus, Bruno, Victoria, Bruna e Diana, por serem além de um fôlego durante os dias pesados, foram minha família universitária.

Aos colegas de laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos, os quais foram sem dúvidas fundamentais para a conclusão da pesquisa, Aline, Jhonatan, Nayara, João Pimenta, Renata Prates, Edmiler e Beatriz Carmo.

Aos professores e professoras, profissionais do Programa de Pós-Graduação em Geografia da FCT-UNESP que tive contato, por todo convívio, aulas, ensinamentos e discussões que agregaram à minha pesquisa e a mim.

Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela expansão e consolidação da pós-graduação em todo território nacional. Além disso, o presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Brasil) - Código de Financiamento 133603/2019-9.

A todos aqueles que participaram direta e indiretamente desse trajeto, das trocas de experiências, dos debates, dos congressos, dos trabalhos de campo, por todas as contribuições, eterna gratidão!

RESUMO

O objetivo principal da pesquisa é analisar a presença de metais pesados em sedimentos e na água em canais fluviais na região Pontal do Paranapanema. O local de estudo situa-se no oeste do estado de São Paulo, parte do território onde predominantemente se encontra coberto pela monocultura canavieira, pastagens. Para tanto, a pesquisa foi efetuada através de amostragem direta no campo dos sedimentos nos canais, análise laboratorial para identificação das características químicas dos sedimentos através de metodologias como Espectroscopia de Absorção Atômica, entre outras manejadas pela CETESB, assim como a utilização de dados secundários extraídos da mesma. Posteriormente os dados foram relacionados com a identificação e mapeamento do meio físico e dos usos da terra dominantes nas bacias hidrográficas e feitas as articulações entre a condição do meio físico, usos e manejos da terra e a característica química dos sedimentos. Os resultados prévios demonstraram pequenas alterações na quantidade de determinados metais pesados nos três ensaios dos resultados, indicando uma proveniência além do natural para os elementos. Para comparação dos resultados, foi feito uma comparação com os valores de referência do CONAMA para material dragado e água doce, a partir das resoluções nº 454 e 357 respectivamente.

Palavras-chave: Sedimentos; metais pesados; cana-de-açúcar; contaminação.

Evolution of land use and coverage and presence of contaminants in the river channels in the Water Resources Management Unit 22, Pontal do Paranapanema

ABSTRACT

The main objective of the research is to analyze the presence of metals in sediments and waters in river channels in the Pontal do Paranapanema region. The study site is located in the west of the state of São Paulo, part of the territory where it is predominantly covered by sugarcane monoculture, pastures. Therefore, the research was carried out through direct sampling in the field of sediments in the channels, laboratory analysis to identify the chemical characteristics of the sediments through methodologies such as Atomic Absorption Spectroscopy, among others managed by CETESB, as well as the use of secondary data extracted of the same. Subsequently, the data were related to the mapping of the physical environment and the dominant land uses in the hydrographic basins and made as chemical between the condition of the physical environment, the uses and management of the land and the characteristic of the sediments. important results. For comparison, a comparison was made with a CONAMA reference comparison for dredged material and fresh water, from the responses of n° 454 and 357 respectively.

Keywords: Sediments; heavy metals; sugar cane; contamination.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Localização e problemática da área do estudo	11
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Teoria Geral dos Sistemas e Conectividade	17
3.2 Geomorfologia e Geomorfologia Fluvial	18
3.3 Bacia Hidrográfica	20
3.4 A Morfologia dos Sistemas fluviais	23
3.5 Erosão, Transporte e Deposição: O trabalho dos rios	27
3.5.1 O estudo do sedimento no canal fluvial	30
3.6 Contaminação nos sistemas fluviais	31
3.6.1 Metais Pesados no ambiente	32
3.7 Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica e impactos ambientais	36
3.8 Caracterização da área de estudo	37
4 MATERIAL E MÉTODOS	53
4.1 Analisar as condições do meio físico e do uso e cobertura da terra	53
4.2 Avaliar a presença de contaminantes químicos, especificamente concentrações de metais pesados na água e no sedimento em ambientes fluviais	54
4.3 Correlacionar as concentrações de metais pesados às possíveis proveniências seja do meio físico e dos processos apropriativos nas bacias, a montante dos locais de amostragem	64
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
5.1 Análise do meio físico quanto a distribuição espacial de unidades geológicas e possíveis fontes naturais de metais pesados e uso e ocupação	65
5.2 Presença de contaminantes químicos, especificamente concentrações de metais pesados na água e no sedimento em ambientes fluviais	75
5.2.1 Ensaio 1 - Análises dos sedimentos	75
5.2.2 Ensaio 2 - Análise dos sedimentos – CETESB	79
5.2.3 Ensaio 3 - Análise da água – CETESB	81
5.3 – Correlações entre os resultados, meio físico e os processos apropriativos	93
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
7 REFERÊNCIAS	106
8 ANEXOS	114

1 INTRODUÇÃO

Rios, lagos, lagoas, reservatórios, mananciais, todos esses acervos de água doce, são essenciais para o abastecimento e subsistência de vidas tanto animais quanto vidas humanas. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) o Brasil é atualmente o país com maior abundância de água potável no mundo, com a reserva de 12% de toda a água doce mundial (ANA, 2009), a mesma pode ser encontrada tanto na superfície quanto em aquíferos subterrâneos presentes no território nacional. Porém o uso da água ultrapassa a utilização de subsistência, mas também como fonte econômica para exploração em geração de energia, meio de irrigação na agricultura, navegação, pesca, dentre outros diversos meios de sua utilização.

Os sistemas de drenagem são responsáveis pela captação e distribuição da água pela superfície terrestre. Um sistema de drenagem pode ser simples, oferecendo apenas uma forma de escoar a água, como um curso d'água natural, por exemplo, ou complexo, sendo capaz de transportar a água da chuva ou desviar um curso d'água a locais específicos, no qual ela será tratada e depois armazenada e/ou reutilizada como a transposição de um rio por exemplo.

Todavia, a disponibilidade da água está em risco devido ao uso desenfreado para finalidades mercantis, assim como, a intensa utilização de contaminantes na superfície terrestre que são descartados de forma—direta ou indireta nos mananciais hídricos, comprometendo a qualidade do curso d'água.

Dessa forma, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) realiza o monitoramento das águas do estado, mas faz-se necessário uma maior intensidade e frequência desses estudos, viabilizando a análise mais detalhada da qualidade das águas, assim como uma rigidez dos órgãos fiscalizadores, principalmente dos mananciais que servem para o abastecimento público, fomentando o manejo adequado dos corpos hídricos em todos os âmbitos.

Nesse sentido, a pesquisa busca apontar possíveis concentrações de metais pesados nos sedimentos e na água de sistemas fluviais. O monitoramento desses dois elementos (água e sedimentos) é essencial para estabelecer os níveis de qualidade do corpo hídrico.

Devido a sua composição, “os sedimentos possuem altas capacidades de sorção e acumulação associadas, onde as concentrações de poluentes fixados podem tornar-se

várias ordens de grandeza maiores do que nas águas correspondentes” (MESQUITA, 2014, p. 2), o que apresenta um potencial para a análise e monitoramento da contaminação de metais pesados por refletir desde a memória do ambiente quanto o momento da amostragem (POLETO, 2008).

Na água, a contaminação pode ocorrer com a introdução de substâncias que vão modificar o meio aquático, de forma a prejudicar a vida de organismos vivos presentes no ambiente. Os metais pesados em partículas incorporam no corpo hídrico, junto ao trajeto do rio, fazendo parte de um processo chamado amplificação biológica, onde o material em grande quantidade é passado para cadeia alimentar. Portanto, uma das principais preocupações é o modo como o metal pesado se incorpora nos tecidos dos organismos, tendo sua forma mais nociva individualmente (SPERLING, 1996).

Portanto, a perspectiva química da pesquisa abordará a contaminação essencialmente pelos metais pesados, pois

Dentre a classe de contaminantes, os metais, principalmente os metais pesados, merecem maior preocupação, devido à alta toxicidade, mesmo a baixas concentrações, características de acumulação e retenção no corpo humano, por não serem degradáveis a compostos menos tóxicos e a permanência por longos períodos no meio ambiente, principalmente nos sedimentos (MESQUITA, 2014, p. 2).

Desse modo, a carga do material em transporte quando apresenta taxas elevadas de metais pesados compete na contaminação no ambiente, refletindo em alterações prejudiciais aos recursos hídricos. Contudo, metais pesados são naturalmente encontrados no meio ambiente, devido a vários fatores, como intemperismo, lixiviação do solo, processos erosivos, entre outros.

Os metais pesados e contaminantes podem ser provenientes de diversas bases, como dos efluentes em geral, advindos dos resíduos industriais, resíduos sólidos e dos fertilizantes, “a disposição inadequada de efluente no meio ambiente pode propiciar a contaminação do solo e dos recursos hídricos, vinculado a isso, algumas culturas agrícolas, animais e a biota podem vir a ser afetados” (BELTRAME; LHAMBY; BELTRAME, 2016, p. 353), ou seja, os descartes desses resíduos deveriam estar nos padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA quanto ao nível dos metais presentes, pois mesmo não havendo efeito tóxico, os mesmos possuem efeito cumulativo na cadeia trófica (FRANÇOZO; OLIVEIRA; RESSEL, 2014).

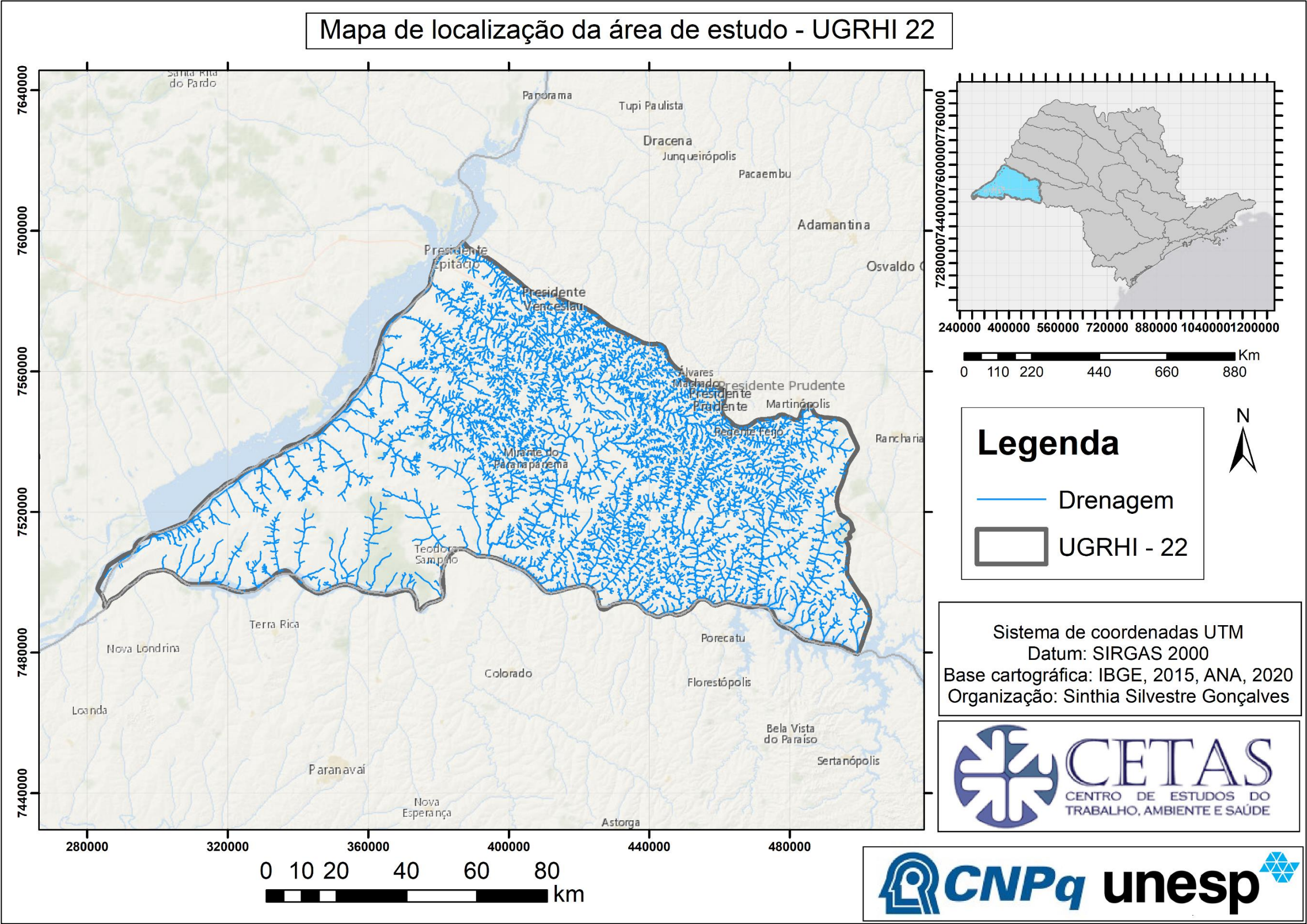
1.1 Localização e problemática da área do estudo

Devido ao modo em que a relação predatória natureza pela sociedade tem sido avançada, principalmente pela exploração exacerbada de recursos naturais sob o modo de produção capitalista, do qual transforma a paisagem natural de forma agressiva, os estudos referentes aos impactos ambientais tornaram-se pautados com maior frequência nas diversas instituições, organizações nacionais e internacionais, a fim da promoção do maior envolvimento e preocupação com o meio ambiente. Como por exemplo, a União das Nações Unidas (ONU) e os seus 193 países membros lançaram em 2015 os chamados Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), projeto que propõe uma agenda de fomentar um desenvolvimento sustentável no mundo, apresentando dessa forma, uma preocupação com o planeta.

No cenário brasileiro, o avanço agropecuário e industrial na paisagem tem adquirido um caráter hegemônico de espacialização, onde grande parte das terras são fontes da renda voltada para os grandes detentores dos meios de produção. Essa apropriação do uso da terra afeta tanto a escala local quanto a escala regional, pois além de alterar dinâmicas sociais e econômicas, atinge o ambiente através da contaminação química por metais pesados lançados pelos resíduos industriais, despejo de esgoto, por empresas mineradoras e lançamento de agroquímicos (MESQUITA, 2014).

Dessa forma, os recursos naturais são alvo de preocupação ao modo que esses fenômenos avançam no espaço geográfico, uma vez que as projeções futuras viabilizam diversos desafios para recuperar os impactos ambientais que ocorrem na atualidade. A área trabalhada neste estudo, acompanha e sofre desses processos de uso e ocupação da terra, localizada no oeste do estado de São Paulo, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 22 - Pontal do Paranapanema, de acordo com a **figura 1**.

Figura 1: Localização da área de estudo – Pontal do Paranapanema – UGRHI 22



Fonte: IBGE (2015); ANA (2020).

De acordo com o histórico de ocupação, a região do Pontal do Paranapanema reproduziu os diversos ciclos econômicos mais recorrentes, desde a inserção das lavouras de café, assim como a implantação ferrovias, no início do século XX, viabilizando a ocupação em massa do território. Desde então a ocupação foi sendo transformada para uma área agrícola e urbana, com a formação dos primeiros centros urbanos. (LEITE, 1998).

Desde o início do século XXI, a monocultura da cana-de-açúcar tornou-se presente em todo estado de São Paulo, ganhando forças com a demanda de exportação do etanol, onde o Brasil opera como precursor, comercializando milhões de litros mensalmente. (NOVACANA, 2020)

Com a intensificação do cultivo da cana-de-açúcar no estado, o Pontal do Paranapanema também acompanhou o processo em decorrência do financiamento da implantação dessa monocultura, onde os proprietários dessas agroindústrias fazem o manejo não só das terras, mas também incluem os cursos d'água presentes no território no próprio processo produtivo, denominado o agrohidronegócio, o qual abrange a água como parte dos recursos naturais depreciados pelo agronegócio (THOMAZ, 2010).

Além disso, o agrohidronegócio também conta com o apoio assíduo do Estado na distribuição de terras e insumos para a produção agrícola, fortalecendo os laços com o capital privado, somando as áreas plantadas do Pontal do Paranapanema e Nova Alta Paulista são no total 340.425ha em 2007, com apenas 41.000ha de soja, sendo grande parte cana-de-açúcar, monocultura predominante na UGRHI 22 (EIA, 2007; THOMAZ, 2010).

O uso de agrotóxicos vem sendo utilizada no Brasil, principalmente para elevar a produtividade, excede padrões internacionais, muitas vezes, criando barreiras sanitárias para exportação, sendo alvo de diferentes notícias que relatam o alto consumo de agrotóxicos no país (ARIAS, 2007).

A forma como os agrotóxicos são manuseados também implica em diversas consequências, quando feito de maneira direta pelo indivíduo, há todo um preparo a ser feito, Equipamento de Proteção Individual - EPI, entre outros, porém, são poucos os trabalhadores que tem acesso às orientações devidas. Ainda, quando é feito a pulverização aérea, a área que será atingida pelo agrotóxico é muito ampla, não se limitando apenas à plantação, mas atingindo toda a vegetação e corpos hídricos aos arredores, tornando todo local de abrangência suscetível à contaminação.

Dessa forma, as problemáticas acerca do avanço do agrohidronegócio são inúmeras, desde o processo de desmatamento, interferência nos habitats de diversas espécies, constitui-se também, pelo de uso fertilizantes, os quais possuem em sua composição elevados teores de metais pesados (ARIAS, 2007).

Foi elaborado um relatório pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos apontando quais são os principais metais pesados que são encontrados em fertilizantes: cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni), zinco Zn, arsênico (As), mercúrio (Hg), selênio (Se), vanádio (V) e rádio 266 (Ra) (SANTOS, 2019).

Os metais pesados são encontrados naturalmente no ambiente por conta das formações rochosas e pedogenéticas, porém as atividades antrópicas realçam suas concentrações nos ambientes e diferentemente dos materiais orgânicos, os metais pesados não se degradam, portanto, conseguem permanecer por muito tempo no ambiente (LOPÉZ, 2015).

Esses metais podem ser adsorvidos nos sedimentos, incorporados em algas ou até mesmo ingeridos, dessa forma, permeiam por toda cadeia alimentar, originando a bioacumulação, iniciando um processo de intoxicação, trazendo riscos à saúde das vidas em contato com este elemento (ARIAS, 2007).

Para exercer um controle sobre os recursos hídricos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, criou classificações para os rios de acordo com suas finalidades, além disso, estabeleceu valores orientados para cada metal pesado encontrado em ambientes aquáticos.

Todavia, além de trabalhar com os valores de metais pesados estabelecidos pelo CONAMA nos ambientes aquáticos, o ideal é investigar qual seria a quantificação dos metais pesados de origem natural na região a partir das características do meio físico, dessa forma, os processos apropriativos terão maior ou menor impacto sobre o meio, de acordo com o resultado da análise.

Dessa forma, esse estudo busca compreender o estado dos canais de drenagem da UGRHI 22, utilizando como parâmetro os metais pesados a partir do uso e ocupação da terra, principalmente pelo plantio da cana-de-açúcar a qual se faz presente por toda região.

Para tanto, foi feito uma busca para identificar a presença de contaminantes em sedimentos e na água provenientes do uso intenso de fertilizantes e agroquímicos na monocultura canavieira, que chegam nos canais que drenam na região Pontal do Paranapanema – UGRHI 22.

A pesquisa em tela parte de uma continuação da iniciação científica executada junto ao coletivo de pesquisadores CETAS – Centro de Estudos e Pesquisas do Trabalho, Ambiente e Saúde, vinculada ao processo 2012/23959-9 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) com o tema: Mapeamento e análise do território do agrohidronegócio canavieiro no Pontal do Paranapanema – São Paulo, Brasil, dessa forma, surgiram novas demandas e questionamentos para uma nova pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal da pesquisa foi analisar a presença de metais pesados em sedimentos e na água, em ambientes fluviais, assim como a análise dos meio físico e relações antrópicas na UGRHI 22 - Pontal do Paranapanema.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as condições do meio físico e do uso e cobertura da terra;
- Avaliar a presença de contaminantes químicos, especificamente concentrações de metais pesados na água e no sedimento em ambientes fluviais;
- Utilizar o banco de dados da CETESB para ampliar a análise e complementar a análise temporal e espacial;
- Correlacionar as concentrações de metais pesados às possíveis fontes provenientes seja do meio físico e dos processos apropriativos ligados ao uso e cobertura da terra nas bacias, a montante dos locais de amostragem.
- Comparar as concentrações de metais pesados obtidos na água e no sedimento aos valores orientados pelo CONAMA.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Teoria Geral dos Sistemas e Conectividade

Para fundamentar teoricamente a pesquisa, a abordagem sistêmica foi imprescindível para a compreensão dos elementos físicos do sistema fluvial. No Brasil, o conceito foi pioneiramente tratado por Christofolletti, na década de 70.

A Teoria Geral dos Sistemas aborda três componentes, os elementos, estados e as relações entre eles. Além das trocas existentes no sistema, há duas variações de sistemas, o sistema aberto e o sistema fechado. O sistema aberto apresenta uma troca de energia e massa com o exterior. O sistema fechado possui somente troca de energia, ambos os tipos, iniciados pelo input, ou seja, entrada de massa e/ou energia no sistema, através de processos (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017).

Nesse sentido, a entrada de energia e matéria no sistema, fornecerá subsídios para o transporte dos elementos (sedimentos) e os processos de deposição da carga sedimentar, “a estrutura do sistema é constituída pelos elementos e suas relações, expressando-se através do arranjo básico de seus componentes. O elemento é a unidade básica do sistema” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 2).

Além disso, o conceito de conectividade servirá como uma das ferramentas para o entendimento das interações entre as condições físicas dos corpos hídricos, o sistema fluvial no geral e o transporte de sedimentos, a partir da conectividade hidrológica (HOOKE, 2003). O conceito foi definido em dinâmicas geomorfológicas como o processo de transporte sedimentar viabilizado pela água entre duas seções em uma bacia hidrográfica, de acordo com FRYRIS (2013). A partir do avanço conceitual, foram identificadas uma variação entre os tipos de conectividade, considerando os aspectos físicos do meio: a conectividade da paisagem, a conectividade hidrológica, o escoamento fluvial e a conectividade sedimentológica, classificadas por Bracken e Croke (2007), respectivamente compreenderiam, as conexões das formas da superfície, o processo de acesso das águas pela bacia hidrográfica e o transporte de sedimentos.

Nesse sentido, o tema vem sendo amplamente discutido por ambientalistas e demais profissionais, enaltecendo a importância do estudo em longo prazo da ocorrência de metais pesados e sua implicação no ambiente. Então, de acordo com esse embasamento, a finalidade da pesquisa foi analisar as amostras coletadas, afim de realizar

um estudo sedimentológico e químico do cenário encontrado no Pontal do Paranapanema, tanto para agregar os estudos e pluralidade dos sistemas fluviais do Pontal do Paranapanema, quanto para apontar quaisquer alterações em relação aos agentes químicos.

3.2 Geomorfologia e Geomorfologia Fluvial

Ao considerar as especificidades de todas as ciências, a Geografia possui o privilégio de abarcar um leque de temas e conceitos que percorrem as diversas disciplinas, além de lidar com a dicotomia entre os estudos físicos e humanos. Inserido ao afunilamento da análise física, a Geomorfologia possui um papel fundamental para embasar diversas pesquisas acerca do relevo, formas e processos da superfície terrestre.

Dessa forma, “geomorfologia é uma ciência que tem por objetivo analisar as formas do relevo, buscando compreender as relações processuais pretéritas e atuais” (CASSETI, 2001, p. 11), tornando-se importante subsídio para a compreensão de fatores ocorrentes no relevo.

Então, “as formas de relevo constituem o objeto da Geomorfologia. Mas se as formas existem, é porque elas foram esculpidas pela ação de determinado processo” (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 1), denota-se assim, uma relação entre as formas e processos, para esta compreensão, busca-se em processos endógenos e exógenos a resposta para sua formação. Assim,

partindo do princípio de que tanto os fatores endógenos como os exógenos são “forças vivas”, cujas evidências demonstram grandes transformações ao longo do tempo geológico, necessário se faz entender que o relevo terrestre não foi sempre o mesmo e que continuará evoluindo (CASSETI, 2001, p. 11)

Os fatores endógenos e exógenos tratam-se de processos que atuam dentro do globo, de modo interno e fora. As forças endógenas têm como ações resultantes a elevação do relevo a partir de movimentações internas da Terra, assim como sua energia que advém do calor interno ou da compensação isostática, ou seja, “quando se faz uma

sobrecarga numa região a massa de sial¹ é obrigada a penetrar no sima². Como compensação outras regiões próximas sofrem, necessariamente, uma elevação” (GUERRA, 1993, p. 239), movimentando a dinâmica de formas e processos da Terra (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017).

Os processos endógenos podem ser classificados em três; O primeiro refere-se ao processo magmático, este ocasionado pela dinâmica extrusiva ou intrusiva do magma. O segundo é o processo orogênico, o qual se entende pela criação das cadeias montanhosas, incluindo a dinâmica estrutural como dobras e falhas. Por final, os processos epirogênicos, estes são gerados pelo levantamento progressivo de áreas da crosta pela isostasia, como exemplo, as chapadas existentes no Brasil, as quais não possuem nem dobras ou falhas (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017).

Por outro lado, os processos exógenos são ocasionados pelas dinâmicas advindas da atmosfera, como a radiação solar, precipitação, ventos, mas também pelos agentes biológicos e suas derivações. Os principais agentes deste processo são o intemperismo (físico e químico), ou seja, a partir de uma destas ações, a rocha é transformada em solo e a denudação, resultante também do processo fluvial, a denudação tem por objetivo transferir material de um local à determinada altitude para localidades mais baixas (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017).

Nesse contexto, a Geomorfologia Fluvial, contribui para o entendimento dos processos exógenos, endossando os estudos dos corpos hídricos, bacias hidrográficas entre outros elementos dessa análise sistêmica.

A Geomorfologia Ambiental possui uma abrangência englobadora dentro da própria Geomorfologia, inserida dentro deste leque, a Geomorfologia Fluvial é responsável em estabelecer as relações dos processos dos corpos hídricos, como a erosão e deposição, ambos resultados do escoamento de águas pluviais em canais fluviais, assim como o relevo formado nesse processo (FLORENZANO, 2008). Dessa forma, “a geomorfologia fluvial interessa-se pelo estudo dos processos e das formas relacionadas com o escoamento dos rios” (CHRISTOFOLETTI, 1972, p. 52).

¹ Sial: combinação de sílica e alumina (silicatos aluminosos) que constitui a crosta sólida do globo terrestre – segundo denominação de Suess. É a capa de material Solidificado que repousa sobre o sima ou magma existente logo abaixo (GUERRA, 1993, p. 392).

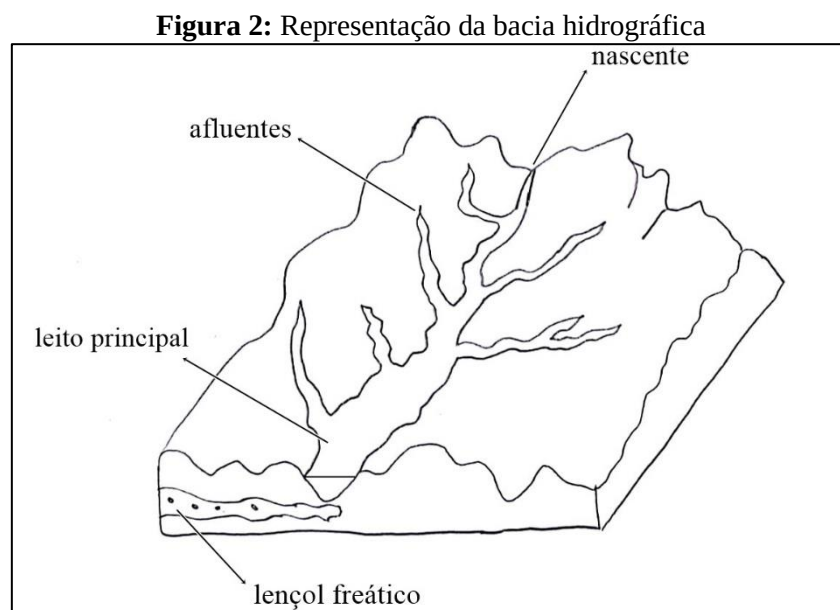
² Sima: zona que vem abaixo do sial formada na maior parte de silicatos, predominando os de magnésio e ferro, com peso específico próximo de 3,4. O sima aflora em grande parte dos fundos oceânicos (GUERRA, 1993, p. 394).

A partir das formações geomorfológicas do relevo e junto a esses processos, os corpos hídricos incorporam suas configurações e dinâmicas na superfície terrestre, formando os ambientes fluviais, de maneira que as águas compõem os canais fluviais através do escoamento das águas superficiais em grande quantidade, advindas das precipitações. “A esse escoamento dá-se o nome de vazão, cujo volume depende do regime hidrológico da bacia hidrográfica onde os canais estão inseridos” (FLORENZANO, 2008, p. 218).

3.3 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica como parte da Geomorfologia Fluvial apresenta uma série de dinâmicas e relações dentro do seu sistema, nesse sentido “a bacia hidrográfica ou de drenagem é a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários” (FLORENZANO, 2008, p. 24), a qual pode ser dividida em sub-bacias e microbacias.

As características da bacia variam de acordo com o clima, relevo, vegetação e topografia local, e ainda “a quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração” (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 81). Abaixo, **figura 2** traz uma representação da bacia hidrográfica:



Fonte: CHRISTOFOLETTI (1974) adaptado pela autora

A bacia hidrográfica abrange também toda água pluvial, seu processo de drenagem pode ser nas formas de fluxo acanalado, não acanalado (hortoniano e hipodérmico) e fluxo subterrâneo (água do lençol freático). Do ponto de vista topográfico, a delimitação da bacia hidrográfica é definida por uma linha que vai fazer a divisão dos canais de primeira ordem, que irão drenar as águas para as áreas de vale, essa linha imaginária é denominada divisor de água, após essa delimitação, os cursos fluviais à montante são chamados áreas de drenagem. A drenagem dos sistemas de canais executa o transporte de água e sedimentos, exercendo sua dinâmica pelo fator gravitacional e de declividade (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

No entanto, a conceitualização de bacias hidrográficas abrange além da delimitação fluvial, sua definição incluem unidades hidrográficas, bacias ambientais, inserindo além de características físicas, mas conotações sociais, econômicas, culturais, políticas e etc. (AMÉRICO-PINHEIRO; BENINI, 2019).

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como um conjunto de ramificações dinâmicas do sistema fluvial, abrangendo uma extensão bem maior do que apenas um curso d'água, mas também abarca nascente, foz, leito, planície de inundação, o relevo, as vertentes, os topos divisores de águas, a vegetação, entre outros, dessa forma, toda sua movimentação e acontecimentos repercutem diretamente ou indiretamente nos rios, como as condições climáticas, litologia, a situação da cobertura vegetal, estes são cruciais para determinar a quantidade de carga detrítica que chegará ao rio, variando entre mais e menos material de acordo com a morfogênese da vertente (CHRISTOFOLETTI, 1974).

A bacia hidrográfica também é fundamental para explicar a situação ambiental da região a qual se encontra, uma vez que a mesma envolve diversas variáveis passíveis de quantificação, portanto, de acordo com o artigo 1º, no inciso V, da Lei Federal 9.433/1997 (BRASIL, 1997), baseado na (PNRH) Política Nacional de Recursos Hídricos, as bacias hidrográficas podem fornecer subsídios para o planejamento ambiental enquanto uma unidade territorial.

A bacia como unidade de planejamento ambiental, características de um sistema natural delimitado, de regiões altas, onde se encontram nascentes dos rios, córregos, áreas de encostas e de baixadas e problemas com a água, a solução está diretamente relacionada ao manejo e manutenção (SANTOS, 2004, p. 74).

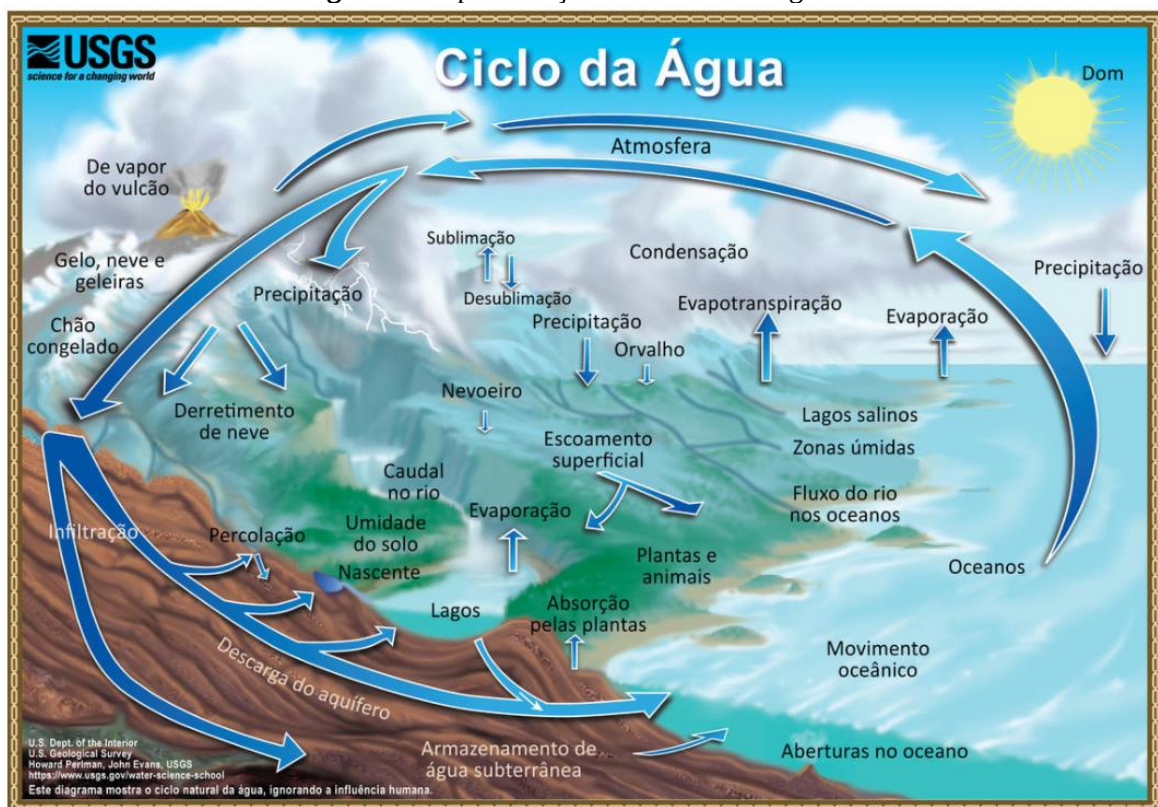
Ela também atua enquanto um receptor das ações antrópicas, sofre as alterações do uso e cobertura da terra direta e indiretamente, na sua dinâmica e qualidade ambiental, desse modo, é cada vez mais necessária a realização de estudos em bacias hidrográficas para que possa avaliar as transformações existentes nos vários cenários do meio ambiente (LOLLO et al, 2018).

Atualmente, os estudos apontam uma preocupação para toda bacia hidrográfica, não somente o curso d'água, mediante diversos ataques ao meio ambiente de várias formas, a bacia hidrográfica tornou-se alvo de investigação da pesquisa mundial (FERNANDES; SILVA, 1994).

Na dinâmica da bacia hidrográfica existem diversos outros processos que fazem parte da sua magnitude, como os processos de escoamento, a configuração do relevo, a erosão, o sedimento, o transporte, a deposição, entre outros, os quais cada um cumpre sua função para o completo trajeto dos corpos hídricos na bacia de drenagem.

O ciclo hidrológico é essencial para o abastecimento das nascentes e consequentemente da bacia hidrográfica. Seu processo possui algumas etapas, como a precipitação, a interceptação, a evaporação e a infiltração, conforme a **figura 3**:

Figura 3: Representação do ciclo hidrológico



Fonte: USGS (United States Geological Survey)

A precipitação é definida como toda água que chega da atmosfera à superfície, em seus três estados físicos. (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017). Desse modo, a água que entra no continente é exclusivamente pela precipitação, assim como o abastecimento da bacia hidrográfica.

Por outro lado, a interceptação é parte da precipitação que ficou interrompida na cobertura vegetal e acaba sendo evaporada para a atmosfera. Esse processo também atenua a degradação física do solo e a ruptura do solo pela força das gotas da água da chuva – efeito splash (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017).

A evaporação é um dos principais componentes do ciclo hidrológico, “esse fenômeno consiste na difusão de vapor de água na atmosfera advindo da água livre dos mares, lagos, reservatórios e rios, da umidade do solo, da água de interceptação e da água biológica das plantas liberadas pelos estômatos (transpiração)” (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017, p. 46). A quantidade de água evaporada é calculada pelo fator da energia solar, sendo essencial para aquecer os ambientes e permitir que a água se evapore.

A infiltração da água no solo é responsável pelo abastecimento das águas subterrâneas e aquíferos. Porém, para que o processo ocorra diretamente, é necessário que o solo esteja no nível de capacidade de campo, ou seja, o solo tem que estar saturado, pois quando a água fica retida na cobertura vegetal e nas camadas da superfície, ela pertence à umidade do solo, não infiltrando de forma subterrânea. (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017).

O ciclo hidrológico é essencial para a manutenção da captação de água da bacia hidrográfica, assim como o escoamento superficial. Após a precipitação, a água faz o processo de escoamento, que pode ser na superfície, na subsuperfície ou de forma subterrânea. O escoamento superficial ocorre quando a água percorre a superfície de maneira livre, já o escoamento subsuperficial procede entre partes do solo abaixo da superfície (BIGARELLA, 2003).

A forma em que se dá o escoamento varia de acordo com as condições do meio, a cobertura vegetal, o relevo, o nível de antropização, entre outros. Dessa forma, o escoamento é essencial para a distribuição de águas na superfície terrestre, ainda que a água não se infiltre, ela continua a escoar pela vertente, até atingir algum corpo hídrico. (BIGARELLA, 2003).

3.4 A Morfologia dos Sistemas fluviais

Como parte dos sistemas fluviais, os canais fluviais são subdivididos, de acordo com sua declividade, que parte da nascente a foz, formando uma hierarquização entre os rios, conhecida como a hierarquia fluvial, trabalhada inicialmente por Horton (1945) e depois por Strahler (1952), mantendo o conceito de classificação das bacias hidrográficas, afluentes e rios tributários (FLORENZANO, 2008).

Em geomorfologia, o termo rio é definido como qualquer canal com fluxo ou canais que possuem água, porém, há algumas exceções, como canais que possuem água apenas após um período concentrado de chuva e após esse período, tornam-se secos, este tipo de canal é classificado como rios efêmeros. Em contrapartida, os canais fluviais que permanecem com fluxo anual frequente, são chamados de rios perenes. Ainda, existem canais fluviais que apesar de possuírem determinado fluxo, durante alguma época do ano por alguns fatores determinantes, tornam-se secos, estes são chamados de rios intermitentes (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Dessa forma, a funcionalidade dos rios é a de escoamento fluvial, alimentando-se das águas superficiais e subterrâneas, compondo por final o ciclo hidrológico, ou seja, “escoamento fluvial compreende, portanto, a quantidade total de água que alcança os cursos de água, incluindo o escoamento pluvial, que é imediato, e a parcela das águas precipitadas que só posteriormente, e de modo lento, vai se juntar a eles através da infiltração” (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 52), excluindo dessa soma, a parte da água anulada pela evapotranspiração. Além disso, “da precipitação média anual de 1000 mm, sobre a superfície terrestre, calcula-se que somente 20% atingem o mar através do fluxo pelos rios” (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 53).

O escoamento fluvial permite analisar algumas variáveis do curso hídrico, como a vazão, ou seja, um modo de avaliar a quantidade de água ou volume que alterna no mesmo regime hídrico, resultando em dados em metros cúbicos por segundo. Nesse mesmo contexto, podemos também inserir como análise a geometria hidráulica, a qual apresenta outras variáveis inter-relacionando-se, como forma do canal, velocidade, declividade e carga sedimentar, através de estudos feitos na própria área do canal (CHRISTOFOLETTI, 1974).

O fluxo do canal pode ser tanto laminar quanto turbulento, o primeiro ocorre quando a água escoar ao longo de um canal reto, com baixa velocidade, fluindo suavemente em camadas paralelas as outras. O rio torna-se turbulento quando a velocidade atinge valores bem superiores, possui movimentos desordenados, com correntes secundárias e de modo heterogêneo (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Além disso, o próprio canal turbulento possui a variação entre encachoeirado e corrente, o primeiro ocorre em parte do rio cuja velocidade é mais alta, como cachoeiras, intensificando a erosão, por outro lado, um canal turbulento corrente tem ocorrência habitualmente nos cursos fluviais. Portanto, a relação entre a turbulência e a velocidade é intrínseca e diretamente ligada ao produto do canal, ou seja, a erosão, transporte e deposição, os quais dependem da sua energia (potencial e cinética) (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Inserido no ambiente fluvial, além do próprio curso d'água, seus arredores também pertencem a uma dinâmica, como o leito fluvial, “os leitos fluviais correspondem aos espaços que podem ser ocupados pelo escoamento das águas e, no que tange ao perfil transversal nas planícies de inundação” (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 64). Dentro do leito fluvial, existe o leito de vazante, leito menor, leito maior periódico e leito maior excepcional, a relação entre eles variam de setor e curso d'água para outro, assim,

a) leito de vazante, que está incluído no leito menor e é utilizado para o escoamento das águas baixas. Constantemente, ele serpenteia entre as margens do leito menor, acompanhando o tavelgue, que é a linha de maior profundidade ao longo do leito; b) leito menor, que é bem delimitado, encaixado entre margens geralmente bem definidas. O escoamento das águas nesse leito tem a frequência suficiente para impedir o crescimento da vegetação (...); c) leito maior periódico ou sazonal é regularmente ocupado pelas cheias, pelo menos uma vez cada ano; e d) leito maior excepcional por onde correm as cheias mais elevadas, as enchentes (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 65).

A **figura 4** traz os diferentes tipos de leitos existentes:

Figura 4: Representação dos diferentes tipos de leitos fluviais

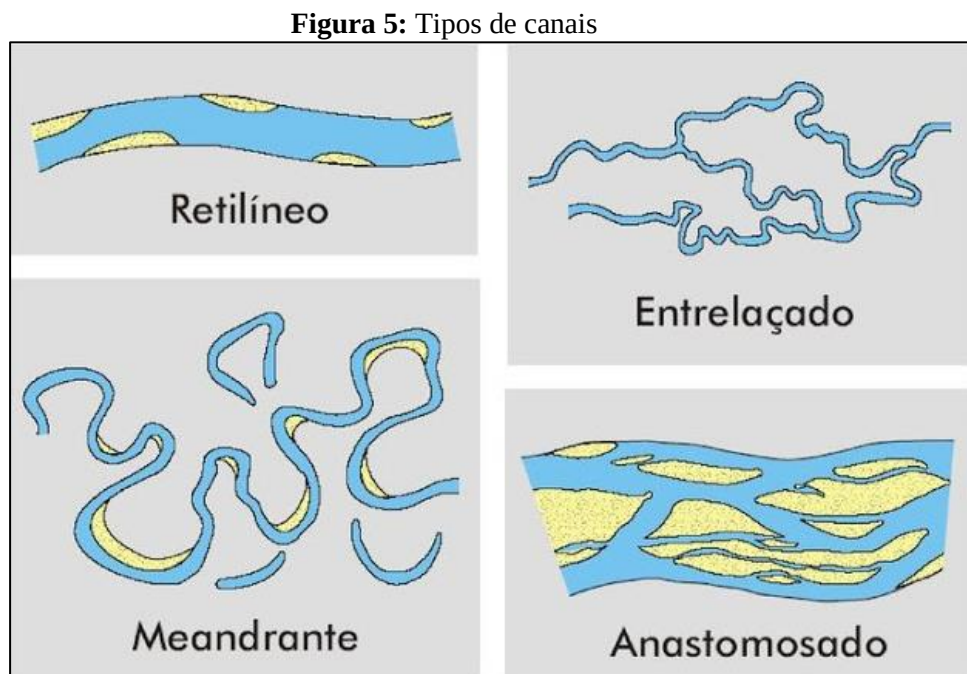


Fonte: CHRISTOFOLETTI (1981).

Na formação dos ambientes fluviais, também fazem parte o terraço fluvial, o qual é uma planície de inundação antiga abandonada há um determinado período, configurado

morfologicamente aplainado paralelo ao curso do rio e quando apresentam materiais pertencentes à fase de planície de inundação é denominado terraço aluvial. Nesse sentido, a planície de inundação “(...) são áreas adjacentes ao canal do rio inundadas, ao menos parcialmente, pelas cheias ordinárias e que mantêm relações hidrológicas, sedimentológicas e ecológicas com a dinâmica fluvial” (STEVAUX, LATRUBESSE, 2017, p. 197).

Além disso, os canais tendem a apresentar uma configuração fisionômica que acompanha espacialmente o leito dos rios, como canais anastomosados, retilíneos, ramificados e meândricos, representados na **figura 5**:



Fonte: TEIXEIRA, TOLEDO, FAICHILD E TAIOLI (2000).

Os canais anastomosados são formados com alta carga sedimentar do leito, pois o corpo d'água não possui força suficiente para transportar a matéria existente, forçando a deposição no leito do próprio, constituindo ilhas e canais ramificados em seu corpo (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Os canais retilíneos são rios que percorre o trajeto todo em linha reta até a foz, sem fazer desvios consideráveis durante o curso, normalmente são bem definidos e com margens estabilizadas. (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Os rios entrelaçados são canais únicos, mas dividem-se em vários cursos d'água por conta da declividade que contribui para perda de energia do transporte da carga de

materiais do rio. Por outro lado, os canais meândricos são rios que possuem uma formação sinuosa, exercem um trabalho de escavação na margem côncava e deposição na margem convexa, de acordo com a maior e menor velocidade respectivamente. (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Para visualizar as denominações dos tipos de canais, é preciso entender que a visualização é possível pelo perfil longitudinal dos rios, ou também conhecido como perfil de equilíbrio, pois os rios com estas características são conhecidos como equilibrados. Dessa forma,

O perfil longitudinal de um rio mostra a sua declividade, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água. O perfil característico é côncavo para o céu, com declividades maiores em direção da nascente e com valores cada vez mais suaves em direção ao nível de base. (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 76).

Portanto, os ambientes fluviais constituem diversos processos da geomorfologia fluvial, como as redes de drenagem que atuam como canal de escoamento, estes que abarcam águas provenientes da superfície e subterrâneas, compondo o ciclo hidrológico, além da dinâmica do transporte de água, sedimento e outros tipos de escoamento: subterrâneo e laminar de vertente, eventos estes que ocorrem em uma bacia hidrográfica (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

3.5 Erosão, Transporte e Deposição: O trabalho dos rios

Na dinâmica hídrica, faz parte também os processos coexistentes de erosão, transporte e deposição das partículas sedimentares no sistema fluvial. Para abordar estes três processos é preciso entender o fornecimento da energia para que seja realizado, “todo trabalho realizado por um rio provem da transformação da energia potencial (EP) em energia cinética (EC) ao longo do perfil longitudinal, de modo que a energia total do sistema seja constante ($ET = EP + EC = \text{constante}$)” (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 103).

De modo geral, os processos terrestres que fazem remoção e transporte de materiais são denominados de erosão, porém em corpos hídricos a erosão fluvial é parte da dinâmica que compõe também o transporte e deposição (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

A erosão fluvial ocorre de duas formas, erosão química e erosão física. A erosão química pode ser sucedida próxima ou na superfície, ocasionadas por vários agentes, porém um dos principais é a água. Um dos processos de erosão química é a ruptura da rocha pela água, também chamada de corrosão. Neste procedimento, a partir da desfragmentação química do material, este é incorporado ao fluxo d'água na forma dissolvida, variando a intensidade de acordo com as condições climáticas e da água. (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

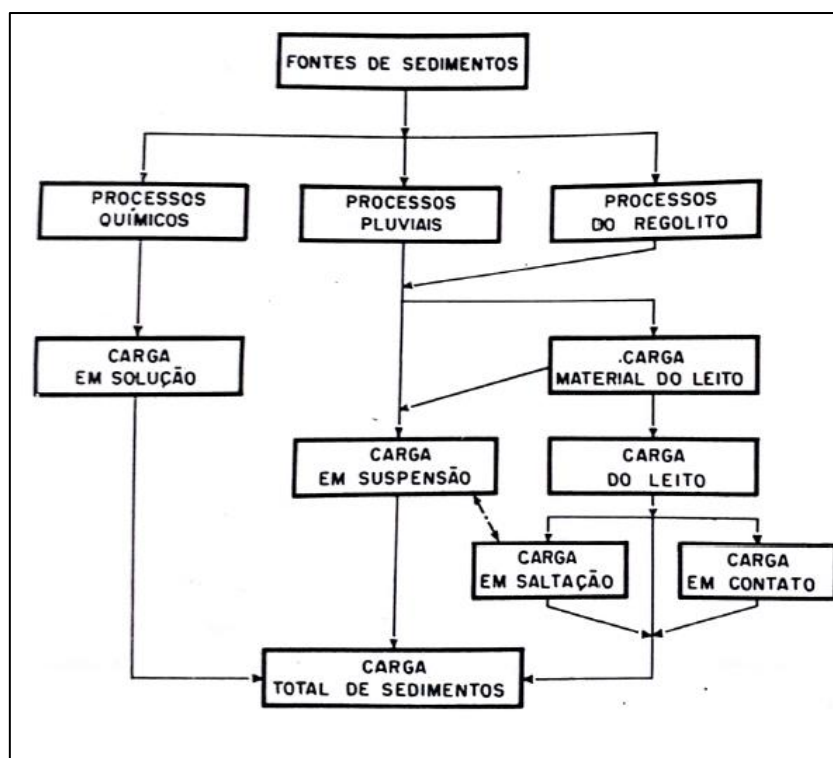
A erosão física é quando ocorre a retirada de matéria da superfície pelo impacto da água, considerando as variáveis da erosividade do fluxo da corrente e da erodibilidade do material, porém o processo de transporte será influenciado pelas suas características físicas, tamanho, densidade, forma, etc (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Para realizar o processo erosivo e de transporte, a energia será proveniente a da fricção das paredes do canal e da turbulência das águas. O transporte de matéria na rede de drenagem é frequente, de modo que mesma pode ser realocada várias vezes. A particularidade para que o transporte e deposição no componente líquido sejam ativos pertence aos fatores físicos da partícula, tamanho, densidade e formato (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

O material transportado pode ser em dois estados: dissolvido e suspenso. Portanto, “a carga dissolvida é composta de material em solução transportado pelo rio, inclui substâncias inorgânicas e orgânicas” (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017, p. 120), este contribui diretamente para a carga total do rio, além de ser um parâmetro de avaliação da qualidade da água.

Por outro lado, a carga suspensa varia de acordo com a vazão do rio, esta é constituída por uma matéria inferior à areia fina, transportada junto ao fluxo d'água e a uma velocidade semelhante. Materiais que fazem parte desta carga são de origem orgânica, como plânctons, algas e pequenos fragmentos vegetais. Esta dinâmica em suspensão ocorre por conta dos vórtices que ascendem e predominam sob o fluxo turbulento do corpo d'água. (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). A **figura 6**, apresenta os processos atuantes no transporte de sedimentos:

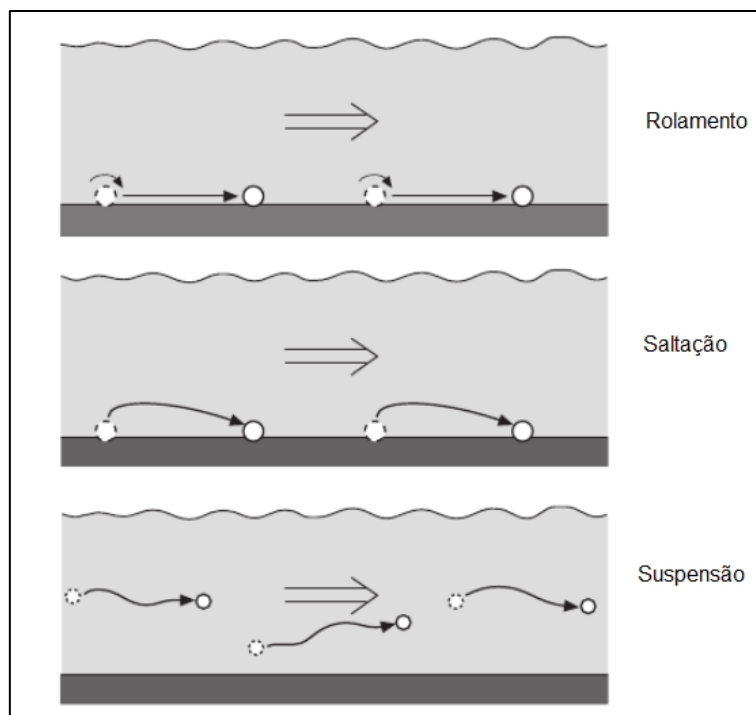
Figura 6: Processos atuantes nos transportes de sedimentos



Fonte: CHRISTOFOLETTI (1981).

O transporte de sedimentos depende das características da carga, como exemplo, a areia e cascalho que possuem uma massa superior em relação aos demais são transportados por rolamento, arrastamento ou saltação, constituindo o material de fundo, porém pode haver fragmentação dessas partículas por colisão entre elas. Os materiais mais finos, silte e argila fazem parte da carga em suspensão, quando o fluxo do corpo hídrico tem capacidade energética de manter partículas em suspensão, tanto pela densidade da carga, quanto pela característica do meio aquático (SUGUIO, 2003). Abaixo, a **figura 7** traz a representação dos tipos de transporte do sedimento:

Figura 7: Tipos de transporte de sedimentos



Fonte: Adaptado de SUGUIO (2003).

Por fim ocorre a deposição, esta ocorre pelos seguintes fatores: força gravitacional, pelo peso das partículas, supersaturação em solutos na água (químicos), mortandade de organismos ou mediante barramentos, foz de rios, onde tem uma diminuição energética da velocidade hídrica, o sedimento vai ser depositado e formando uma carga de fundo (CHRISTOFOLETTI, 1981), (SUGUIO, 2003).

3.5.1 O estudo do sedimento no canal fluvial

Os sedimentos integram parte da sedimentologia, a qual realiza “(...)os estudos da desintegração e/ou decomposição, a erosão e o transporte, o mecanismo de sedimentação o tectonismo do ambiente deposicional, além das relações entre as condições de sedimentação e os processos diagenéticos (SUGUIO, 2003, p. 4). O sedimento, enquanto agente de transporte das interações do sistema, apresenta um acervo de características físicas que agregam a importância de sua atuação, sua composição pode ser proveniente de rochas grosseiras, arenosas e argilosas.

Sua composição é proveniente de uma partícula ou fragmento de uma rocha ou material do solo transportado a partir de alguma ação mecânica (ou química), no caso, pelas redes de drenagem e movimento das águas, o que permite uma caracterização por

sua forma, considerando o arredondamento, esfericidade, textura, estrutura etc, além de sua composição química, o que pode variar do material orgânico, inorgânico e/ou de origem antrópica (SUGUIO, 1973).

Após a fragmentação, o sedimento pode ser depositado próximo de sua gênese ou ser transportado em uma extensa relação de espaço-tempo, variando de acordo com suas características físicas e com o meio físico da dinâmica. O processo de transporte procede pela capacidade de carga energética do sistema hídrico, mantendo-o nesta categoria, sendo os fragmentos finos (silte/argila) que são caracterizados por esse fenômeno (CHRISTOFOLETTI, 1981). Os materiais pertencentes à carga dissolvida permanecem intemperizados e podem atuar como solução química, juntamente com os elementos químicos existentes nas águas, influenciados pelos minerais, pedologia, geologia e vegetação, transportados juntamente com o curso d'água.

O sedimento argiloso possui uma dimensão menor, pertencendo à escala dos minerais finos, essa característica é primordial no âmbito dessa análise, pois ele é capaz de reter contaminantes em sua composição devido à sua formação oriunda de reações químicas. Portanto,

Partículas mais finas como silte e argila ($<0,06\text{mm}$) têm maior capacidade específica e possuem maior área superficial. Essas propriedades tornam as partículas mais interativas com os contaminantes e são esses os sedimentos que devem ser amostrados para análises. Esses tipos de sedimentos são localizados em águas calmas no fundo da área de amostragem, nas margens, obstruções e curvas dos rios (FILIZOLA; GOMES; SOUZA, 2006, p. 129).

O sedimento pode apresentar uma variação granulométrica, sendo uma especificação dos diâmetros da carga material, diversificando pelas características adquiridas em seu percurso nas águas até a sua deposição (SUGUIO, 1980).

A pesquisa abordará os materiais de fundo, devido ao modo em que ele compõe o processo de transporte a partir do fluxo turbulento, enquanto houver energia para sua movimentação, “A deposição corresponde à fase da sedimentação e/ou acumulação de partículas essencialmente minerais, em meio subaquoso ou subaéreo móveis, sob condições físicas e químicas normais (SUGUIO, 2003, p. 37)”.

3.6 Contaminação nos sistemas fluviais

As fontes que levam à degradação da qualidade da água podem ser classificadas em pontuais, que são aquelas caracterizadas pelos efluentes domésticos e industriais, e em difusas, que são os resíduos provenientes da agricultura (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros), o escoamento superficial (urbano e rural), (CETESB, 2009).

O processo de contaminação também é proveniente da reação química que ocorre nos sistemas fluviais, ao modo que “a concentração de contaminantes nos ecossistemas aquáticos é altamente influenciada pela diluição, já que a água se constitui num solvente universal” (GONÇALVES, 2007, p. 3), ou seja, a presença de resíduos sólidos ou líquidos como o chorume, esgoto e despejos industriais depositados no ambiente aquático são irreversíveis à maneira que sua capacidade de dispersão é de alta grandeza, comprometendo todo o curso d’água que carrega estes materiais, assim,

O transporte de sedimentos afeta a qualidade da água e a possibilidade para o consumo humano ou seu uso para outras finalidades. Numerosos processos industriais não toleram mesmo pequenas porções de sedimentos em suspensão na água. Esse fato envolve muitas vezes enormes gastos públicos para a solução do problema. (CARVALHO *et al.*, 2000, p. 7).

Segundo a CETESB, uma área definida como contaminada seria um local, apresentando evidências comprovadas de contaminação ou poluição, ocasionada por determinado resíduo ou elemento de origem tóxica, que de algum modo transitou até a área, seja de forma antrópica ou natural, (CETESB, 1999).

Portanto, o sistema fluvial encontra-se suscetível à contaminação química, principalmente aos metais pesados, pois são de fácil acesso ao ambiente devido ao avanço industrial e agropecuário, além disso, ao expor fauna e flora a tais toxinas, o homem também se encontra afetado nesse processo direta ou indiretamente. Portanto, “desse modo, parte-se do princípio de que toda ação humana no ambiente natural ou alterado causa algum impacto em diferentes níveis, gerando alterações com graus diversos de agressão” (ROSS, 2014, p. 16).

3.6.1 Metais Pesados no ambiente

Espacializados por toda a superfície terrestre, os metais pesados estão presentes no meio natural mesmo que não exista perturbação humana, quando encontrados de forma natural, sua concentração não apresenta níveis tóxicos aos organismos, no geral, os solos, as rochas, apresentam metais pesados que são essenciais para o meio, como o arsênio, o cobalto, o cromo, o cobre, o selênio e o zinco (TSUTIYA, 1999); (GUILHERME *et al.*, 2005).

A toxicidade dos metais pesados apresenta risco principalmente por sua capacidade de residência no meio natural, permanecendo por muitos anos devido ao fato de não se degradarem a partir dos processos químicos e físicos, dessa forma, acabam acumulando-se (KASASSI, *et al.*, 2008).

Os metais pesados são elementos químicos com número atômico maior que 20 e o peso acima de 5 g/cm³, este termo é muito empregado pelos efeitos nocivos dos metais nos organismos (TSUTIYA, 1999). No geral, os metais pesados encontrados nos ambientes são Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cromo, Manganês e Níquel, considerados tóxicos de acordo com a sua curva de dose resposta (MESQUITA, 2014), “estes metais possuem alto índice de toxicidade e podem provocar inúmeras doenças e causar até a morte, se introduzidos nos organismos em concentrações elevadas” (MESQUITA, 2014, p. 7).

No solo, os metais pesados vão sendo liberados a partir dos processos pedogenéticos e pelo intemperismo químico de rochas que possuem grande quantidade desses materiais (PIRES, 2004).

As rochas são os elementos naturais que possuem metais pesados em sua composição, os quais através do intemperismo são liberados ao ambiente:

Rochas ígneas ultrabásicas (como peridotitas e serpentinas) têm o maior teor de metais pesados, seguido por ígneos básicos (como gabros e basaltos). As concentrações mais baixas são encontradas em rochas ígneas ácidas (como granito) e em rochas sedimentares (como arenitos e calcários) (BASCONES, 2003, p. 9).

A quantidade de metais pesados no solo varia de acordo com o material de origem, a formação e composição da rocha intemperizada. Para a identificação da origem, torna-se mais fácil quando o solo é formado sobre a rocha, pois a partir dessa informação, é possível relacionar os metais traços às formações geológicas, diferentemente do que ocorre em solos formados sobre sedimentos (OLIVEIRA, 1996).

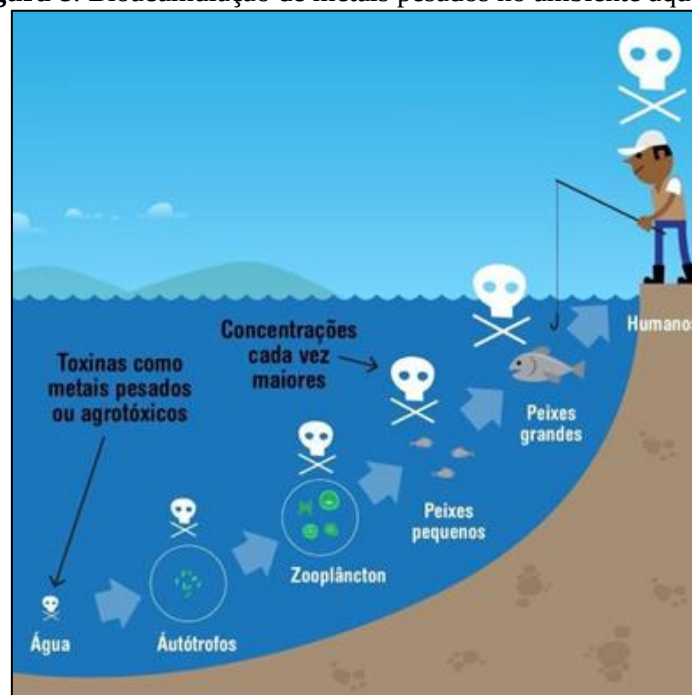
No entanto, além da origem natural dos metais pesados, esses elementos surgem nos ambientes de maneira mais expressiva a partir das ações antrópicas. As altas taxas de metais pesados podem ser provenientes principalmente por efluentes, como rejeições de origem doméstica, ou seja, aquelas usadas para limpeza e higiene, resíduos industriais, águas utilizadas na atividade industrial, junto aos óleos e solventes e efluente de atividade hospitalar, o qual pode conter inúmeras bactérias, restos de produtos químicos, biológicos, etc, (HOAG, 2008); (MESQUITA, 2014).

Nos sedimentos os metais pesados estão presentes em quantidades traço, mas essa pequena porcentagem pode ser acumulada na presença de ação antrópica, assim como, aumentar expressivamente com atividades desde a mineração, lançamento de esgoto, uso de fertilizantes, adubo, entre outros. Além disso, há ainda a possibilidade deste mesmo material adsorvido no sedimento, voltar ao seu estado líquido por outras reações químicas que estão sujeitas nos corpos d'água (MESQUITA, 2014).

O tempo de residência do metal pesado no ambiente aquático depende de vários fatores. A forma como o metal prende-se ao sedimento, por exemplo, pode evidenciar se este será acumulado (adsorvido) ou liberado para o corpo hídrico e esta característica (fixar ou desprender) que irá definir sua permanência no ambiente. Além disso, outros processos como coprecipitação/floculação, complexação também podem influenciar no desprendimento ou adsorção das frações metálicas dos sedimentos (FORSTNER, 1984).

Além das reações e acumulações nos ambientes aquáticos, parte dos metais têm um comportamento tóxico em relação aos seres humanos quando atingido direta e indiretamente, sendo nocivo ao organismo do homem, principalmente ao potencial deles se bioacumularem, ou seja, permanecerem na cadeia predatória do corpo d'água (HOAG, 2008), representado pela **figura 8**:

Figura 8: Bioacumulação de metais pesados no ambiente aquático



Fonte: adaptado de FENAE

Na água, os metais pesados se encontram em diversas maneiras: dissolvidos no corpo d'água, nos sedimentos em geral, em suspensão e no material de fundo. O principal agravante é a capacidade de esses elementos incorporarem nos organismos, pois são carregados ao longo da cadeia alimentar (LOREIRO *et al*, 2012).

O tempo de residência dos metais dissolvidos no corpo d'água é curto, principalmente em condições pluviométricas consideráveis, onde o transporte e a vazão do rio ocorrem em uma velocidade maior pela movimentação das águas, por outro lado, durante a seca, a concentração de metais é menor, porém a permanência no ambiente é maior devido ao baixo movimento aquático (SILVA, 2008).

Em ambientes aquáticos os metais pesados também podem sofrer reações químicas, potencializando sua capacidade tóxica, uma vez que essa característica varia de acordo com o estado do pH, carbono dissolvido e em suspensão de alguns metais (DORNFELD, 2002).

Os processos de adsorção, precipitação, sedimentação e difusão irão influenciar na dispersão e características dos metais pesados, os quais definirão sua capacidade de ligação ao ambiente aquático (DORNFELD, 2002).

O comportamento dos metais pesados no ambiente depende de vários fatores do meio físico, pois

A mobilidade e disponibilidade dos metais-traços estão relacionadas com a forma de retenção em solos e sedimentos e são afetadas por parâmetros como pH³, CTC⁴, teor de matéria orgânica, constituição mineralógica. Esses parâmetros, por sua vez, são controladores dos equilíbrios físico-químicos, como precipitação-dissolução, adsorção-dessorção e complexação (LÓPEZ, 2015, p. 9).

Portanto, os metais pesados em grandes quantidades podem contaminar o meio físico, principalmente em áreas agrícolas, por conta dos adubos minerais e os corretivos, quando o uso desses elementos pode aumentar os índices de metal pesado presente, comprometendo o ecossistema da região, pois a aplicação não permanecerá no mesmo local, considerando os processos de escoamento superficial das águas pluviais, ou a infiltração, ou o contato direto com os rios (TSUTIYA, 1999).

Os fertilizantes, definidos de acordo com a legislação brasileira como “substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas” (Decreto 86.955, de 18 de fevereiro de 1982), dessa forma, irão auxiliar no processo produtivo com a finalidade de repor nutrientes necessários para a produção. São divididos em macronutrientes (carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, sódio, silício e cobalto). Portanto, apresenta em sua composição metais pesados (DIAS, FERNANDES, 2006)

3.7 Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica e impactos ambientais

Através das transformações na paisagem impostas pelo modo de produção capitalista, o sistema hidrográfico é um dos componentes afetados direta e indiretamente pelos processos apropriativos do uso e ocupação de terras, tanto na agricultura quanto no meio industrial, os quais espacializam seus impactos sejam na deposição de resíduos, sólidos, industriais ou pela contaminação de ambientes pelo manejo de agroquímicos.

Quando falamos do uso e cobertura da terra, diz respeito aos atributos e tipos de ocupações antrópicas de um determinado território, como o solo, a drenagem, o tipo de

³ pH: potencial hidrogeniônico

⁴ CTC: capacidade de troca de cátions

plantio, a urbanização, a finalidade que a terra é utilizada pelo homem e pela natureza local. (LAMBIN *et al.*, 2000)

O processo natural de transporte de sedimentos no curso d'água diversas vezes é intensificado por atividades antrópicas mediante o uso e ocupação da terra, seja na remoção da vegetação nativa para plantio ou pastagem, desrespeito às áreas de preservação permanente, as quais atuam como meio de reduzir a locomoção sedimentológica até o sistema fluvial (GUERRA, 1995).

Ainda, intensificam-se processos erosivos e escoamento superficial, além de alterações na infiltração de águas pluviais, perde-se material orgânico que oferece suporte para manutenção da qualidade do solo, entre outros impactos prejudiciais ao ambiente. Dessa forma, a falta de vegetação que atua como contenção de águas pluviais e de escoamento, acarreta na fragilidade dos leitos menores no recebimento energia e matéria superior ao que estavam habituados, acentuando a deposição sedimentar. Portanto,

Torna-se de grande importância o entendimento funcional dos sistemas fluviais, dos aspectos hidrodinâmicos e das variáveis que mantêm o equilíbrio dinâmico, como as que se relacionam com o trabalho que o rio executa em cada trecho, principalmente em ambientes tropicais, ainda pouco estudados. (ROCHA, 2010, p. 2).

Dessa forma, os sistemas aquáticos encontram-se em situação de vulnerabilidade mediante esses agravantes, assim como toda a bacia hidrográfica, desde sua nascente à foz em risco. É fundamental levantar debates acerca do modo de uso e ocupação da terra devido às intensas transformações das paisagens pelas ações antrópicas, as quais afetam diariamente gestão das bacias hidrográficas e a qualidade das águas.

3.8 Caracterização da área de estudo

Distribuição das litologias presentes na região

A região está situada na bacia sedimentar do Paraná, caracterizada pelos terrenos sedimentares de datações dos períodos geológicos Devoniano ao Cretáceo, com o substrato geológico do Grupo Bauru (Formação Adamantina e Formação Santo Anastácio), Grupo Caiuá (rochas sedimentares cretáceas), aluviões atuais e uma pequena parte do Grupo São Bento com a Grupo Serra Geral (FULFARO *et al.*, 1999).

A **figura 9** apresenta o mapa geológico da UGRHI 22:

Mapa Geológico - UGRHI 22



As formações Adamantina e Santo Anastácio, pertencentes a Bacia Bauru, apresentam-se em grande parte do Pontal do Paranapanema, principalmente a formação Adamantina, esta tem por característica bancos de arenitos com a granulometria variando de fina a muito fina, com uma coloração que varia da rosada ao marrom. A Formação Santo Anastácio tem ocorrência em localidades com baixadas de vales, próximos aos afluentes do Rio Paraná. Sua formação rochosa é configurada por arenitos, desde os mais finos aos médios. O Grupo Caiuá localiza-se na porção do extremo oeste da região, na convergência entre os grandes corpos hídricos Rio Paranapanema e Rio Paraná, como característico de toda a área, novamente é presente nesta formação os arenitos, variando dos finos aos médios. (FERNANDES, 1998); (CPTI, 1999).

É possível observar rochas vulcânicas, formando a estrutura geomorfológica do Planalto Ocidental, com característica arenítica em sua maior parte. Próximo ao Rio Paranapanema, é possível observar basaltos aflorados pertencentes ao Grupo Serra Geral (ERNESTO *et al.*, 2006).

Pertencente ao período Cenozóico, os aluviões atuais estão concentrados próximos ao rio Paraná e Paranapanema, sua constituição é partir de areia com uma variedade granulométrica, assim como seu arredondamento. Possui também argila, trazendo uma coloração mais clara (ALMEIDA *et al.*, 1980).

Aspectos Climáticos Regionais

O clima do Pontal do Paranapanema provém de um regime de clima Tropical, em uma faixa de transição entre os climas zonais contidos pelos sistemas tropicais, o que gera uma alternância de períodos chuvosos e quentes e outros secos e frios, quando os sistemas extratropicais causam a vinda de frentes frias e ar polar, causando uma diminuição da temperatura (SANT'ANNA NETO, 2009).

As massas de ar que atuam na região são as Tropical Atlântica, Tropical Continental e Polar Atlântica, onde as mesmas se chocam nessa transição de uma para outra. Ainda, a massa de ar Equatorial Continental possui uma sutil parcela no clima do oeste paulista (BOIN, 2000).

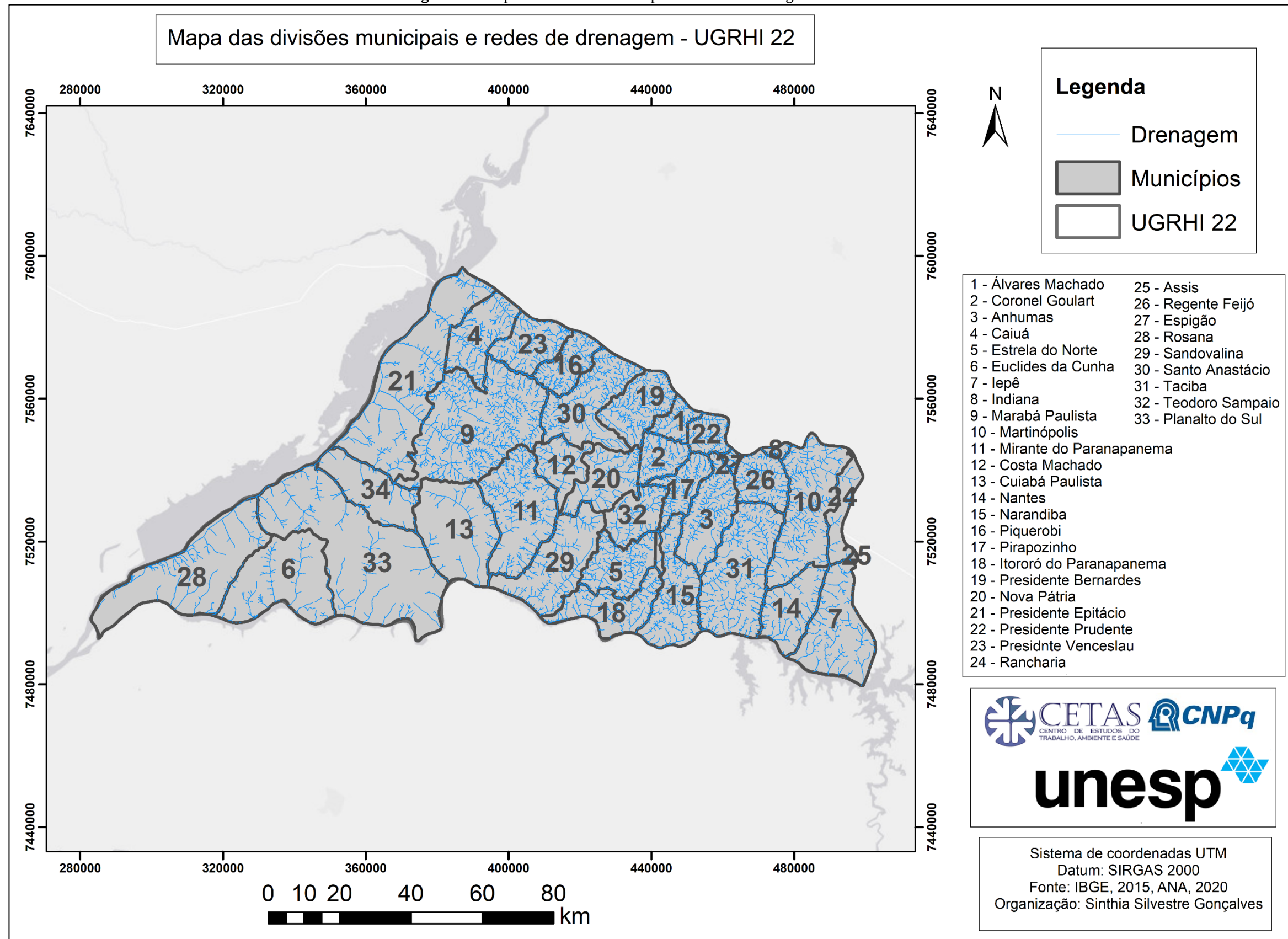
Rede Hidrográfica Regional

O Estado de São Paulo possui como um dos responsáveis do gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SIGRH), este opera com base no manejo sustentável dos recursos hídricos com base na Lei de Águas Paulista, a Lei 7.663/1991. Além disso, o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) viabiliza fundos financeiros para realização de projetos voltados para os corpos hídricos estaduais. São no total três órgãos que compõem esse sistema: o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH); os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) e o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI). Vale ressaltar que cada região possui uma Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) e um Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), estes auxiliam a gestão e planejamento das águas locais (SIGRH, 2020).

A hidrografia da região está inserida na Bacia Hidrográfica do Paraná, a qual integra os estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná, quando dentro da área do Pontal do Paranapanema, as águas drenam para os Rios Paraná e Paranapanema.

De acordo com o site do Comitê de Bacias Hidrográficas – o escoamento total estimado em termos de vazão média de longo período (QLP) é de 92 m³/s. A vazão mínima média de 7 dias consecutivos em 10 anos de período de (Q7,10) corresponde a 34 m³/s e a vazão mínima de 95% de permanência no tempo (Q95%) é de 47%, resultando em um vasto potencial hídrico com rios em constante atividade fluvial durante os anos, abaixo na **figura 10**, é possível observar a drenagem e os municípios e distritos da UGRHI 22:

Figura 10: Mapa das divisões municipais e redes de drenagem – UGRHI 22



Fonte: IBGE (2010); GEO-SGB.

Características do Relevo na Região

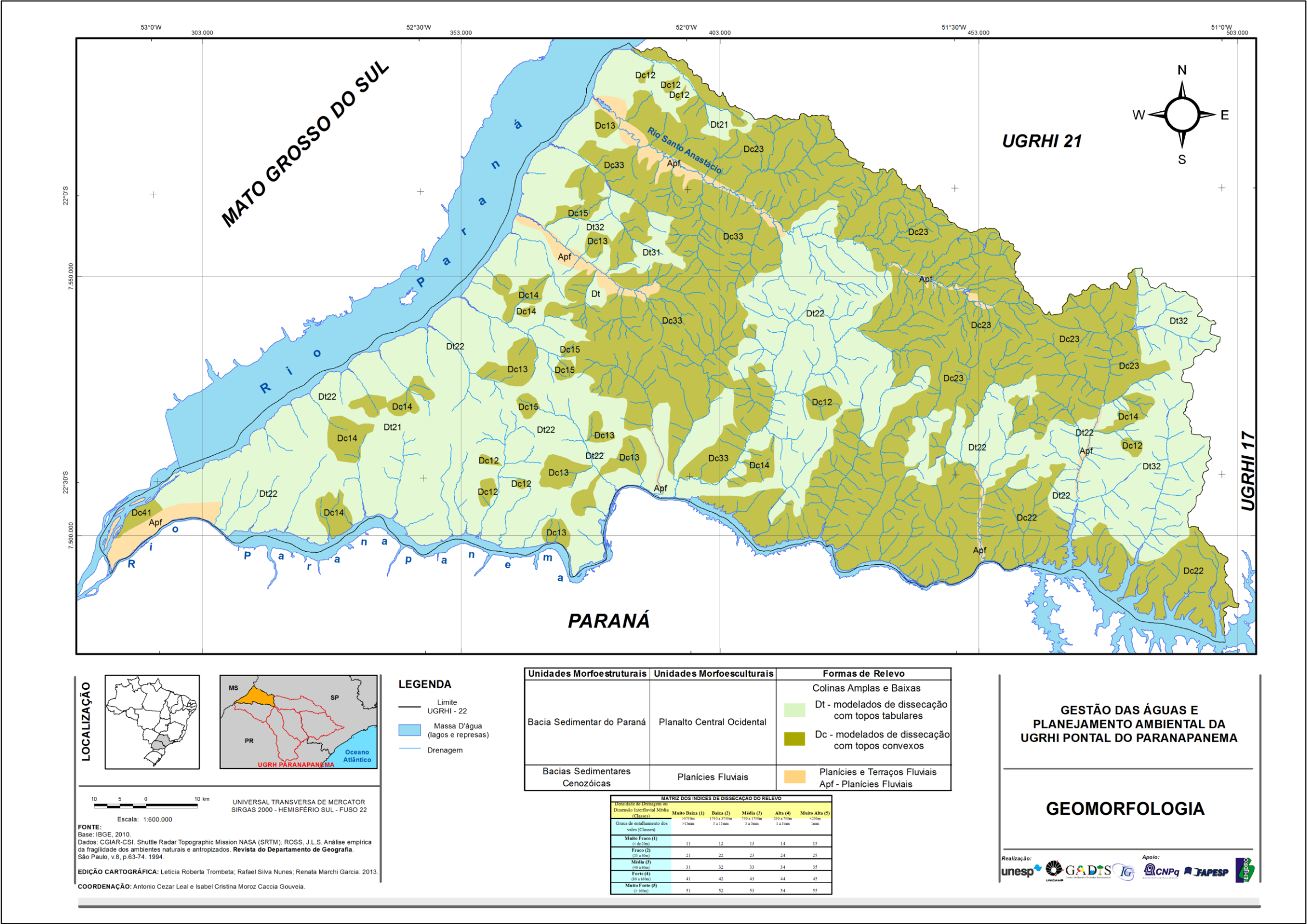
A partir das formações litológicas e a predominância geológica, esta região, o Pontal do Paranapanema, situada no Planalto Ocidental ocupa uma predominância uniforme do relevo, onde podemos observar a sua geomorfologia, variando entre topos tabulares, topos convexos e poucas planícies fluviais, de colinas amplas e médias, de acordo com a **figura 11**, destacando-se o Morro do Diabo pela discrepância do relevo do oeste paulista (ROSS, 1996; CUNHA, GUERRA, 2001).

As colinas amplas estão em quase toda a região, caracterizadas por topos extensos e aplainados, as vertentes possuem perfis convexos, com baixa densidade de drenagem, com pouca presença de lagoas, categorizadas como perenes ou intermitentes, além de planícies aluviais (LEAL, 2000).

Com pouca presença, as colinas médias estão localizadas no alto e médio curso da bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio, assim como em outros corpos hídricos próximos aos municípios de Marabá Paulista, Mirante do Paranapanema, Estrela do norte e Sandovalina. (LEAL, 2000).

Em relação às planícies aluviais, elas encontram-se próximas aos Rios Santo Anastácio, no Rio Paraná e Rio Paranapanema, a maior parte no baixo curso dessas bacias hidrográficas. Além disso, essas formações geomorfológicas são caracterizadas por depósitos quaternários com terrenos baixos ou planos. (LEAL, 2000).

Figura 11: Mapa Geomorfológico – UGRHI 22



Fonte: GARCIA et al. (2013)

Solos Dominantes na Região

Em relação à pedologia, os solos predominantes na área de estudo variam entre Argissolos Vermelhos-Amarelo e Latossolos Vermelhos.

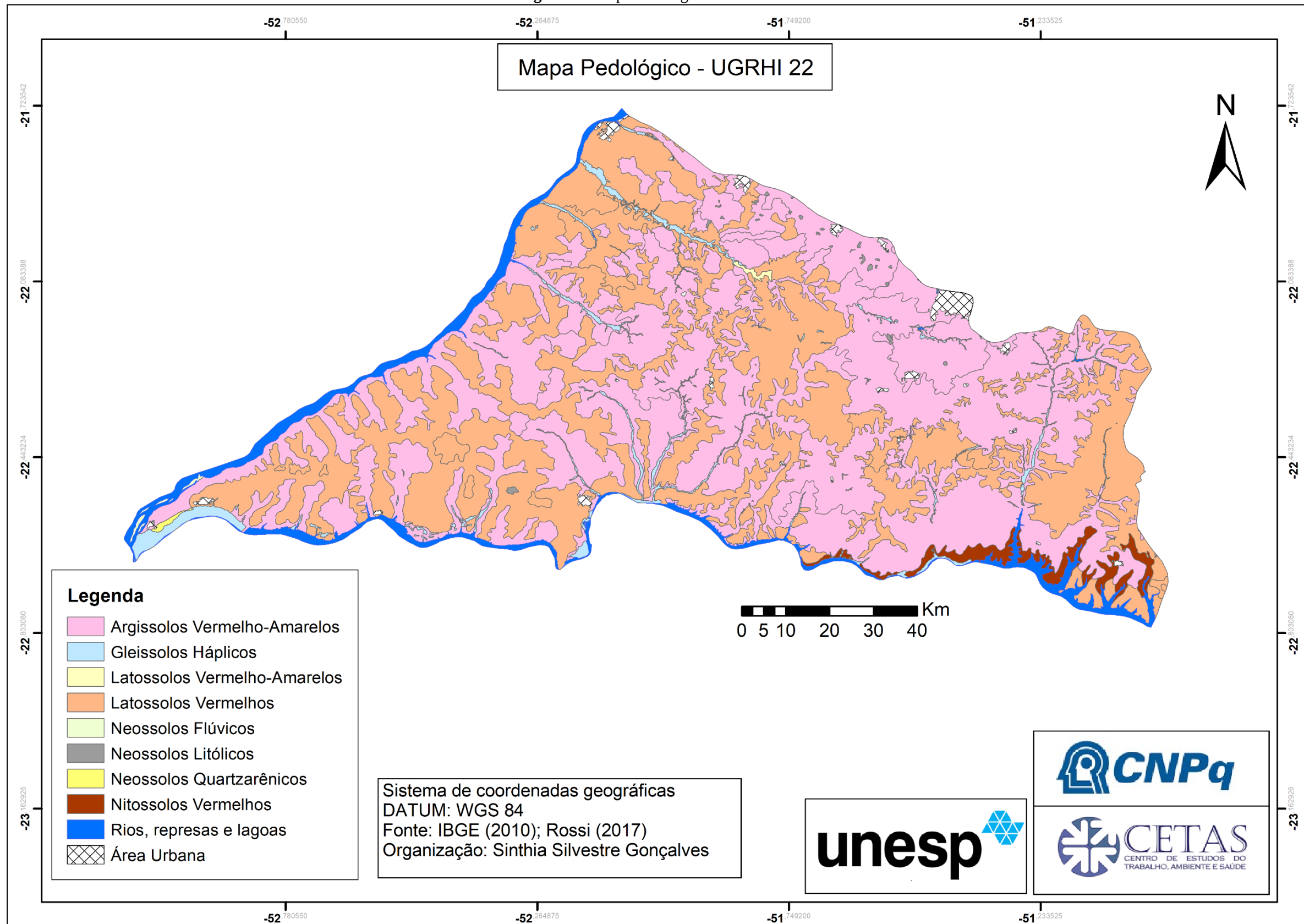
Ambos os solos presentes na UGRHI 22 (latossolo e argissolo) possui uma fertilidade categorizada de média a baixa, com propensão agrícola regular ou restrita e com risco à erosão de alto e muito alto, classificado em dois tipos:

a) solos pedologicamente mais desenvolvidos: são solos caracterizados por grandes alterações sua estrutura, influenciados pelas condições climáticas da região climáticas da região, e mais aptos para o cultivo. São bem drenados e profundos e desenvolvem-se principalmente sobre o relevo das colinas amplas e medias. Estão neste grupo o Podzólico Vermelho-Escuro, Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro e Terra Roxa Estruturada.

b) solos pedologicamente menos desenvolvidos: são solos caracterizados por alterações incompletas do perfil, ou por desenvolvimento pedogenético sob influência da rocha-mãe. Estão neste grupo os solos Glei Pouco Húmico, Areias Quartzosas e Litólicos. São menos aptos para o cultivo em virtude da pequena profundidade (Litólico), ou baixa fertilidade e excessiva drenabilidade (Areias Quartzosas), ou por serem mal drenados e localizarem-se em locais com restrições legais ao uso, como as planícies fluviais (Glei Pouco Húmico) (LEAL, 2000, p. 125).

No mapa da **figura 12**, além da presença visível do Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelhos-Amarelo, há uma pequena porção de Nitossolo Vermelho e Gleissolos Hápicos, o restante dos tipos de solos, são quase inexistentes.

Figura 12: Mapa Pedológico – UGRHI 22



Fonte: IBGE (2010); ROSSI (2017).

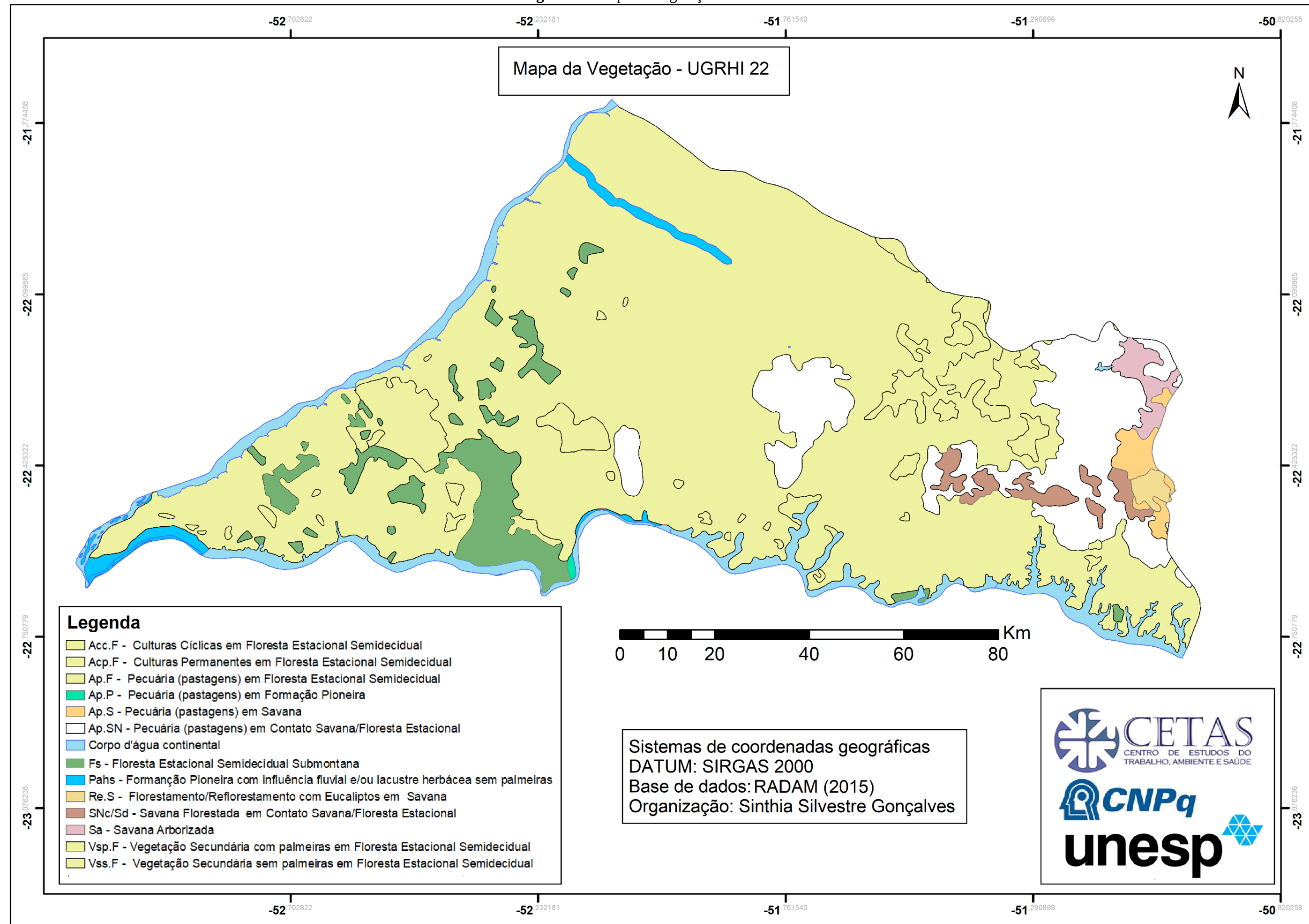
Aspectos da Vegetação Remanescente

A vegetação nativa é composta pela Floresta Tropical Estacional Semidecidual e pequena parte do Cerrado, com um grupo de vegetação de Domínio Mata Atlântica – DMA, segundo a resolução do CONAMA/92, tendo como características desse tipo de vegetação a queda de folhas de determinadas espécies durante o período da seca, além de sua altura atingir a média de 20 metros, sendo 7% do território (DIBIESO, 2013).

Segundo a Fundação Florestal, a região conta com importantes unidades de conservação: os Parques Estaduais: Morro do Diabo no município de Teodoro Sampaio, além das outras unidades Aguapeí e Rio do Peixe, com algumas espécies florísticas exóticas e diversas espécies de animais encontrados exclusivos da Mata Atlântica, contribuindo para a preservação da fauna e flora local.

A partir da **figura 13**, é possível observar culturas cíclicas, culturas permanentes, pecuárias na maior parte da UGRHI 22, em segundo plano, a presença de Floresta Estacional Semidecidual de Submontana e pecuária em contato com a Savana e Floresta Estacional também é de fácil identificação de acordo com o mapa.

Figura 13: Mapa da vegetação – UGRHI 22



Fonte: RADAM, (2015).

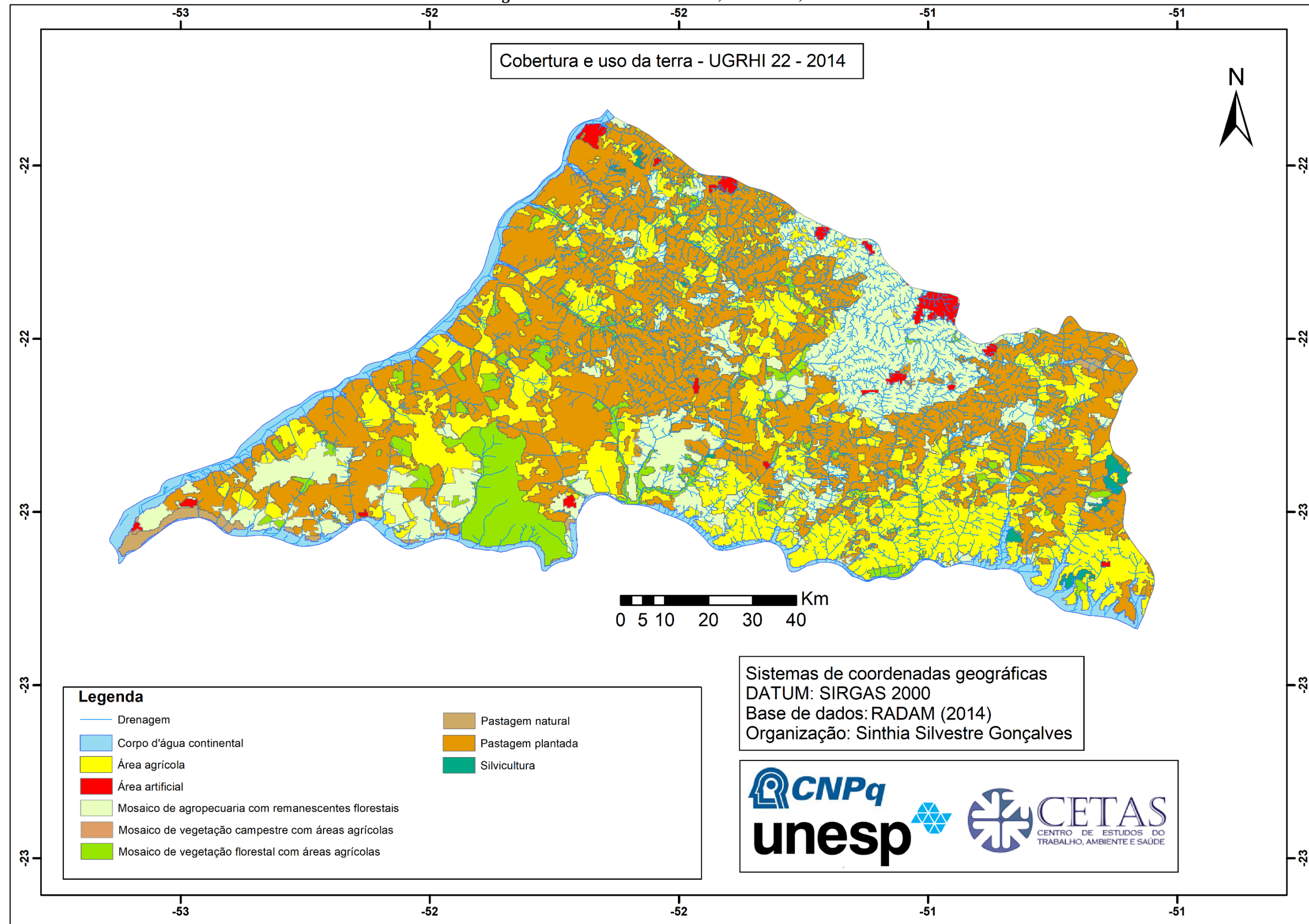
Histórico de uso e ocupação da terra

O histórico de ocupação regional é resultado de diversos conflitos por posse de terras entre grileiros e coronéis, os quais visavam à aplicação da agropecuária e agricultura na região, a partir desse fato, expulsaram ou dizimaram os habitantes nativos da região, entre eles indígenas dos grupos étnicos Guarani e Kaingang, os quais renderam um acervo de produtos arqueológicos e culturais para o Pontal do Paranapanema (LEITE, 1998). Mediante esse processo, foi implantada a monocultura de café na região para acompanhar a economia nacional, a fim de exportação, porém com a Crise do Café (1929), logo iniciou a produção de commodities como soja, com o mesmo intuito.

A região da UGRHI 22 - Pontal do Paranapanema por muito tempo foi nomeada como a Alta Sorocabana, levando em conta uma área mais abrangente, isso devido à ferrovia Sorocaba que ligava os municípios de Presidente Prudente à Marília, durante o período da alta do café e em seguida do algodão, produções essas que favoreceram no desenvolvimento das cidades da região.

Atualmente, com o avanço da urbanização, a região atualmente possui 21 municípios pertencentes a UGRHI 22 e 13 destes possuem sua área em mais de uma UGRHI, localizados no extremo oeste do estado de São Paulo, abaixo a **figura 14** traz a cobertura e uso da terra. A partir do mapa, é notável a presença de pastagem e área agrícola, ambos ocupando visivelmente mais de 50% da área total, além da agropecuária com remanescentes florestais e vegetação florestal com áreas agrícolas. A pastagem natural e silvicultura pouco se destacam na visualização geral do mapa.

Figura 14: Cobertura e uso da terra, UGRHI-22, 2014

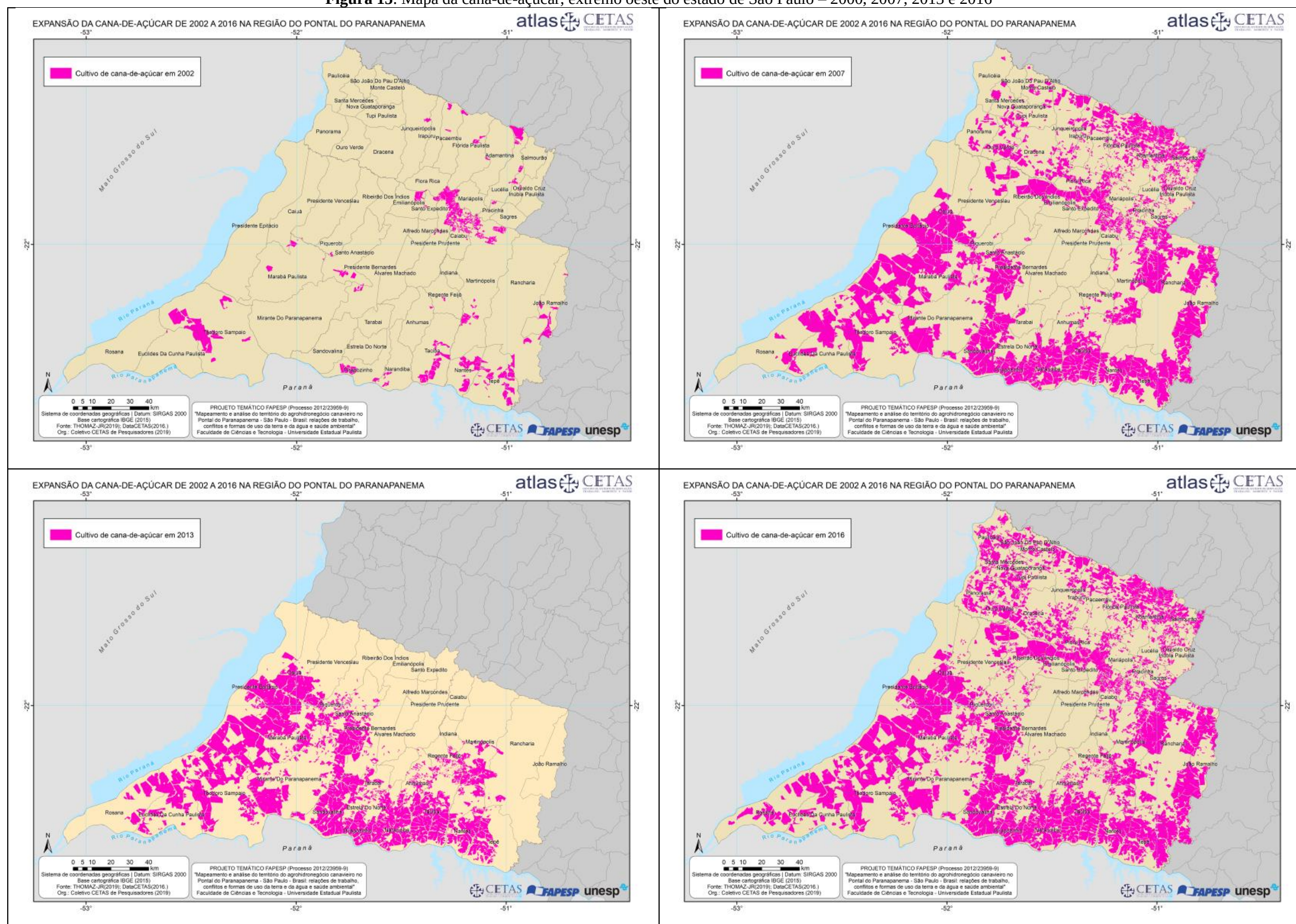


A região do Pontal do Paranapanema possui hoje, uma dinâmica econômica diversificada, com o município de Presidente Prudente sendo um polo regional para os demais, além disso, possui uma pequena parcela de moradores da zona rural, sendo a maioria assentamentos, no total 117 (IBGE, 2010).

A região nas últimas décadas deixou de produzir monoculturas aqui citadas e passou a investir em massa no plantio canavieiro, financiado pelo agronegócio, caracterizando uma monocultura dominante no país todo, com intenso uso de agroquímicos em grande parcela da região e trazer a realidade do possível comprometimento da qualidade ambiental da área (ROCHA, P. C.; SANTOS, C. R.; SANTOS, A. A, 2017).

Na **figura 15**, é possível observar a evolução da espacialização da cana-de-açúcar no Pontal do Paranapanema através de quatro mapas, destacada pela cor rosa, a monocultura citada, evoluiu por toda área da região.

Figura 15: Mapa da cana-de-açúcar, extremo oeste do estado de São Paulo – 2000, 2007, 2013 e 2016



Fonte: CETAS (2019).

A partir da observação do conjunto de mapas, é evidente a magnitude do plantio da cana-de-açúcar no extremo oeste paulista, assim como na UGRHI 22, portanto, somando a essa ação antrópica os demais impactos ambientais ocasionados pela ocupação humana, faz-se necessário uma preocupação com os ecossistemas envolvidos nessa localidade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para abordagem dos objetivos gerais e específicos, os procedimentos foram os seguintes:

4.1 Analisar as condições do meio físico e do uso e cobertura da terra

Como ponto de partida, a análise da rede de drenagem faz-se fundamental para um conhecimento da área e das condições em que estão inseridos esses cursos d'água, dessa forma, foi apontado o conjunto dos elementos hidrodinâmicos do local: identificação de existência ou não da mata ciliar, presença de área de preservação permanente, assim como, possíveis riscos de fragilidade ambiental aos processos erosivos, lixiviação do solo, assoreamento dos rios, entre outros pontos que agregam à caracterização dessas redes fluviais. Para tanto, foram realizados trabalho de campo, visto que

enquanto recurso didático, o trabalho de campo é o momento em que podemos visualizar tudo o que foi discutido em sala de aula, em que teoria se torna realidade, se 'materializa' diante dos olhos estarecidos dos estudantes, daí a importância de planejá-lo o máximo possível, de modo a que ele não se transforme numa 'excursão recreativa' sobre o território, e possa ser um momento a mais no processo ensino/aprendizagem/produção do conhecimento (MARCOS, 2006, p. 6).

Por tanto, o trabalho de campo viabilizou a percepção da realidade da área de estudo, permitindo um panorama geral das características que compõe a superfície dos corpos hídricos de estudo.

Uma vez que o levantamento do uso e ocupação da terra foi feito, é possível diagnosticar os tipos de fatores apropriativos que ocorrem na área de estudo, relacionando às características dos sedimentos de amostragem.

Para este item, o suporte de realização foi a produção cartográfica para visualização da situação atual do Pontal do Paranapanema em relação à produção agrícola (predominantemente canavieira), atividade industrial, localização de assentamentos e dos recursos hídricos locais.

Dessa forma, foram produzidos mapas a partir da vetorização de polígonos por coordenadas UTM 22 e coordenadas geográficas, utilizando o sistema geodésico SIRGAS 2000, assim como a vetorização das sub-bacias hidrográficas realizadas pelo

(SIG) Sistema de Informação Geográfica, de acordo com o banco de dados disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), ANA (Agência Nacional das Águas) e ITESP (Fundação Instituto de Terras do Estado de São Paulo).

Para concluir a análise do panorama geral do uso e ocupação, foram levados em consideração, mapas de geologia, pedologia, mapa da cana-de-açúcar (2016), indicando quais as predominâncias e diferenciações do Pontal do Paranapanema, para que então, ao trazer para abordagem dos metais pesados, houvesse uma fundamentação de outras possíveis fontes de disseminação do material.

Dessa forma, ao correlacionar as informações entre as características antrópicas da superfície do Pontal do Paranapanema e a localização dos pontos amostrais, foi possível obter um parâmetro de análise da proveniência dos metais pesados identificados nos sedimentos.

4.2 Avaliar a presença de contaminantes químicos, especificamente concentrações de metais pesados na água e no sedimento em ambientes fluviais

Para a conclusão da pesquisa, devido a motivos maiores, foi necessária a utilização de dados secundários extraídos do banco de dados da CETESB, portanto, foram feitos 3 ensaios para os resultados, sendo o primeiro ensaio com dados obtidos da pesquisa em campo de modo primário e os outros dois ensaios a partir de dados da CETESB.

Os pontos amostrais escolhidos para o Ensaio 1, a partir da análise primária com a análise de sedimentos, são cursos d'água que pertenciam ao monitoramento do estudo do projeto temático⁵, o qual o laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos da UNESP/FCT de Presidente Prudente, SP, faz parte. Dessa forma, manteve-se 3 bacias hidrográficas neste estudo.

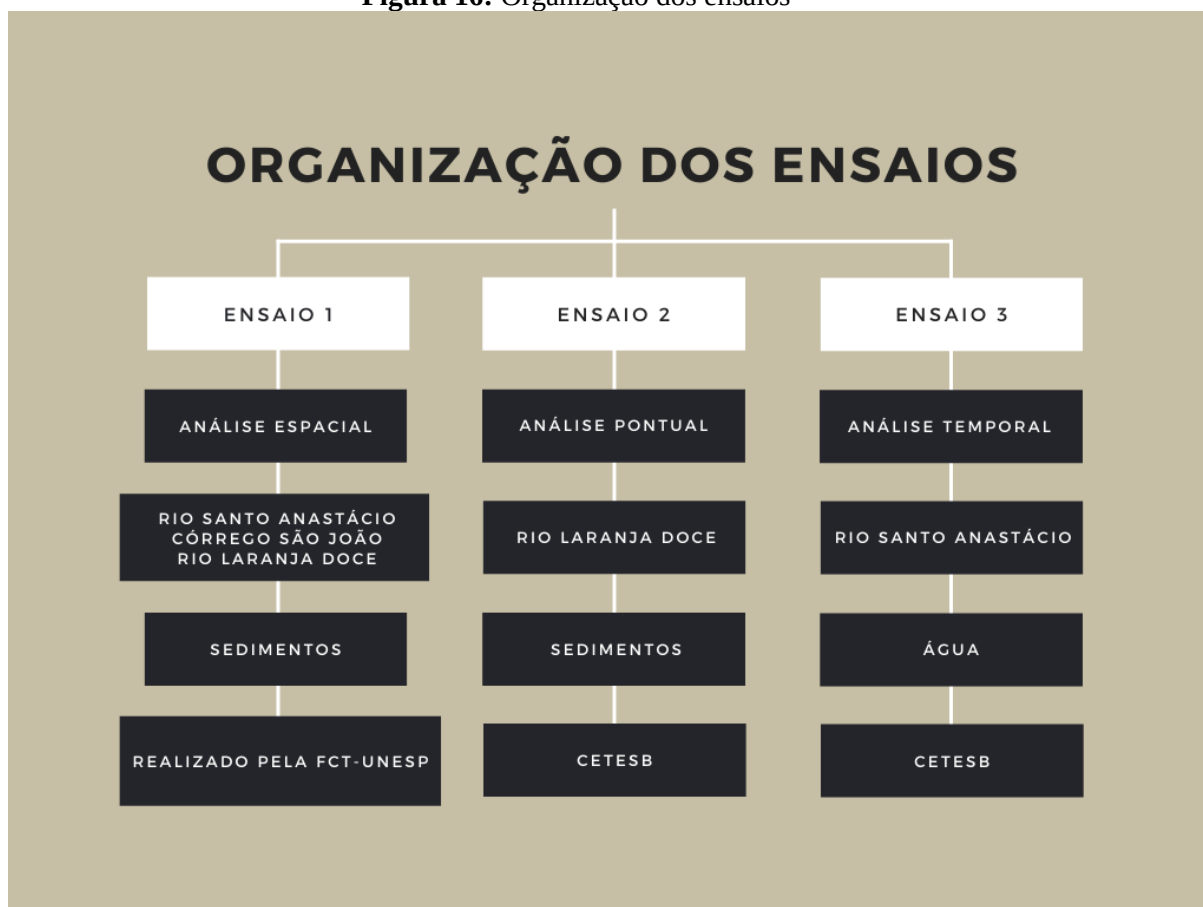
Devido ao fato de a CETESB possuir poucos pontos de monitoramento de sedimentos na UGRHI 22, foi encontrado apenas um ponto de amostragem que coincidiu com os pontos e o ano que já haviam sido selecionados para análise da pesquisa inicial, este localizado na bacia hidrográfica do rio Laranja Doce.

⁵ Mapeamento e Análise do Território do Agrohídronegócio Canavieiro no Pontal do Paranapanema - São Paulo - Brasil: Relações de trabalho, conflitos e formas de uso da terra e da água, e a saúde ambiental", protagonizado pelo Coletivo CETAS de Pesquisadores (Centro de Estudos do Trabalho, Ambiente e Saúde).

Dessa forma, para incorporar o estudo, também foi incluído a análise da água com dados da CETESB, porém o único ponto que coincidiu aos pontos já analisados pertence ao rio Santo Anastácio e pelo fato do monitoramento deste corpo d'água ter uma frequência anual e de longa data, optou-se pela análise temporal.

A **figura 16** traz a organização dos ensaios:

Figura 16: Organização dos ensaios

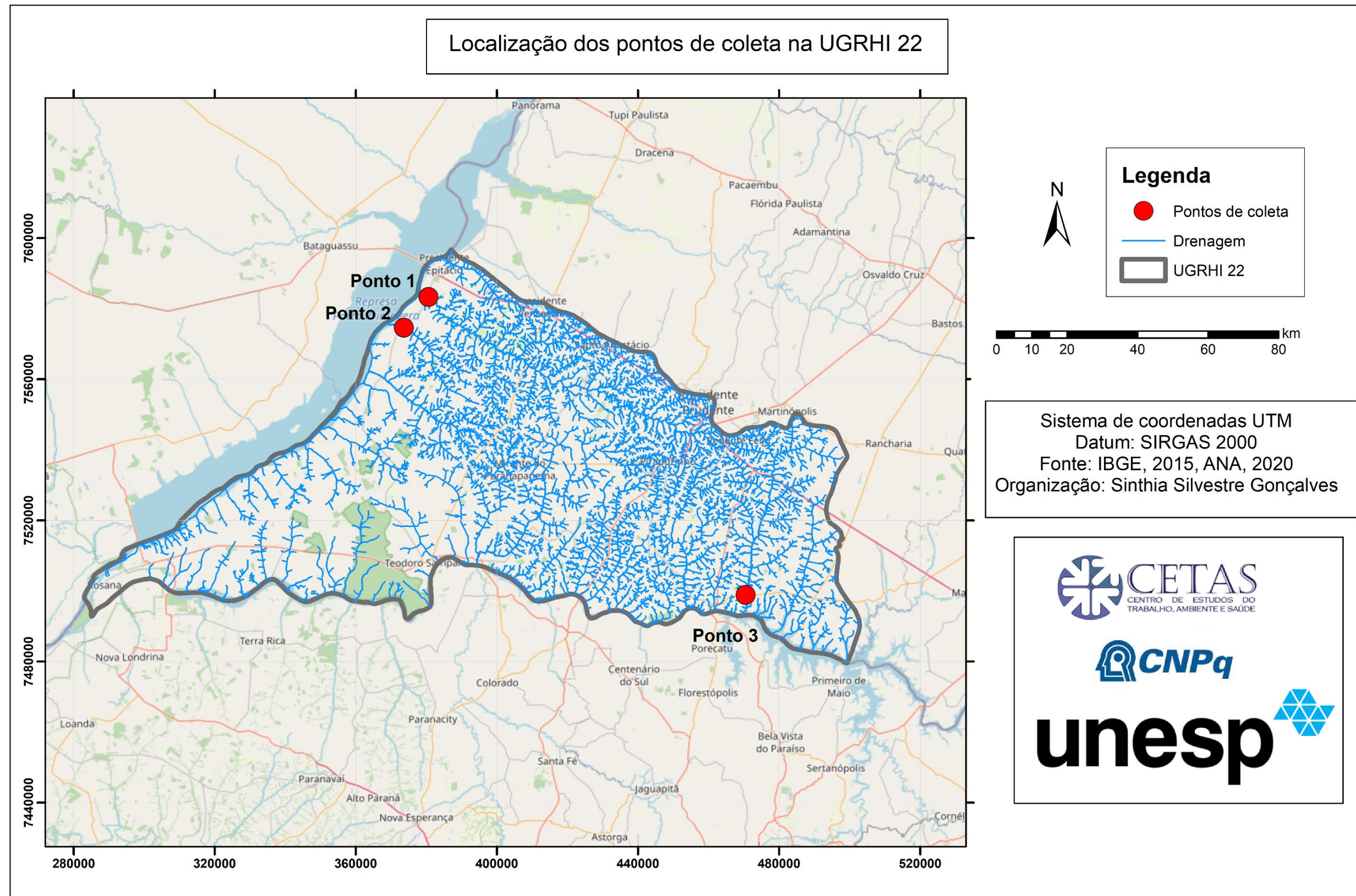


Fonte: Organizado pela autora.

Ensaio 1 – Dados primários - sedimentos

A área de estudo foi revisada e foram selecionados três pontos amostrais, no norte e leste da região do Pontal do Paranapanema, considerando principalmente a logística da pesquisa. A **figura 17** aponta a localização exata dos pontos de coleta e o **quadro 1** traz o nome dos respectivos rios:

Figura 17: Localização dos pontos de coleta



Fonte: IBGE (2015); ANA (2020).

Quadro 1: Nomenclatura dos rios e respectivas coordenadas geográficas

	Nome do curso d'água	Coordenada geográfica
Ponto 1	rio Santo Anastácio	-21.850 -52.156
Ponto 2	córrego São João	-21.928 -52.224
Ponto 3	rio Laranja Doce	-22.617 -51.287

Fonte: Organizado pela autora (2021).

Todos os pontos de coleta (1, 2 e 3) encontram-se na foz dos rios e são afluentes de dois rios principais, sendo os Rios Santo Anastácio e São João para o Rio Paraná e o rio Laranja Doce para o rio Paranapanema.

Os pontos amostrais foram selecionados pela proximidade à foz dos rios, onde o processo de decantação e deposição torna-se maior pela perda de velocidade dos corpos hídricos. Dessa forma, o sedimento pode estacionar com maior suscetibilidade à adsorção de contaminantes.

Para o Ensaio 1, foram no total 3 pontos de coleta em março de 2019 para a análise de sedimentos. Utilizou-se novamente da metodologia de trabalho de campo para a coleta de amostras dos sedimentos nos pontos escolhidos na área de estudo e então realizar a análise em laboratório. Os sedimentos de fundo foram coletados pelo instrumento *van veen*, devido à profundidade dos rios, representado na **figura 18**:

Figura 18: Instrumento para amostragem – draga do tipo van veen



Fonte: Registrada pela autora (2018).

Este instrumento foi lançado ao fundo do rio, com a draga aberta para a coleta, chegando ao fundo, através de um impulso ele fecha e captura o material que está em contato, depois é trazido até a superfície para o descarregamento do sedimento encontrado e o armazenamento em sacos plásticos e devidamente nomeados.

O material de leito é coletado na margem do rio (**figura 19**) com o contato direto do pesquisador ao corpo hídrico, dessa forma, o sedimento é capturado e condicionado diretamente no próprio saco de armazenamento.

Figura 19: Coleta de sedimento no leito do rio



Fonte: Registrada pela autora (2019).

Em seguida, os sedimentos foram condicionados em refrigeradores até a análise laboratorial.

Para Ensaio 1, a partir da coleta do sedimento, o material foi levado ao laboratório de Grupo de Pesquisa em Eletroanalítica e Sensores⁶ para ser feita a análise química, no caso para determinação de metais pesados em alta concentração em corpos hídricos, portanto foram analisados o traço dos seguintes metais: Cádmio, Chumbo, Cobre, Crômio e Zinco.

⁶ Departamento de Química - Faculdade de Ciência e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista sob coordenação do Dr. Diego Noé David Parra

A escolha dos metais pesados para análise nos sedimentos foi proposital devido a sua participação na composição de fertilizantes, como já mencionado anteriormente.

As amostras foram secas em estufa durante 24 horas em temperatura de aproximadamente 100°C, posteriormente maceradas em cadinho de porcelana e quarteadas afim de obtenção de três amostras representativas. Cada amostra foi submetida ao procedimento de digestão ácida baseado no método USEPA 3050 com algumas modificações, conforme procedimento descrito.

A metodologia consistiu na digestão da amostra de sedimento (0,5 g) em 10 mL de HNO₃ 65% (v/v), dispostos em tubos de digestão onde foram abertos por 120 minutos a 98°C, em bloco digestor. Após este período as amostras foram resfriadas por 30 minutos e então adicionado 10 mL de H₂O₂ 30% (v/v). Após cessar a efervescência, mantiveram-se em repouso por um período de 180 minutos. Após esse intervalo, foram aquecidas novamente no bloco digestor por 2 horas a 98°C. Após resfriadas adicionou-se 5mL de HCl 38% (v/v). As amostras foram filtradas transferindo quantitativamente para um balão volumétrico de 50 mL, completando o volume com uma solução de NaNO₃ e armazenadas em recipiente plástico previamente esterilizado.

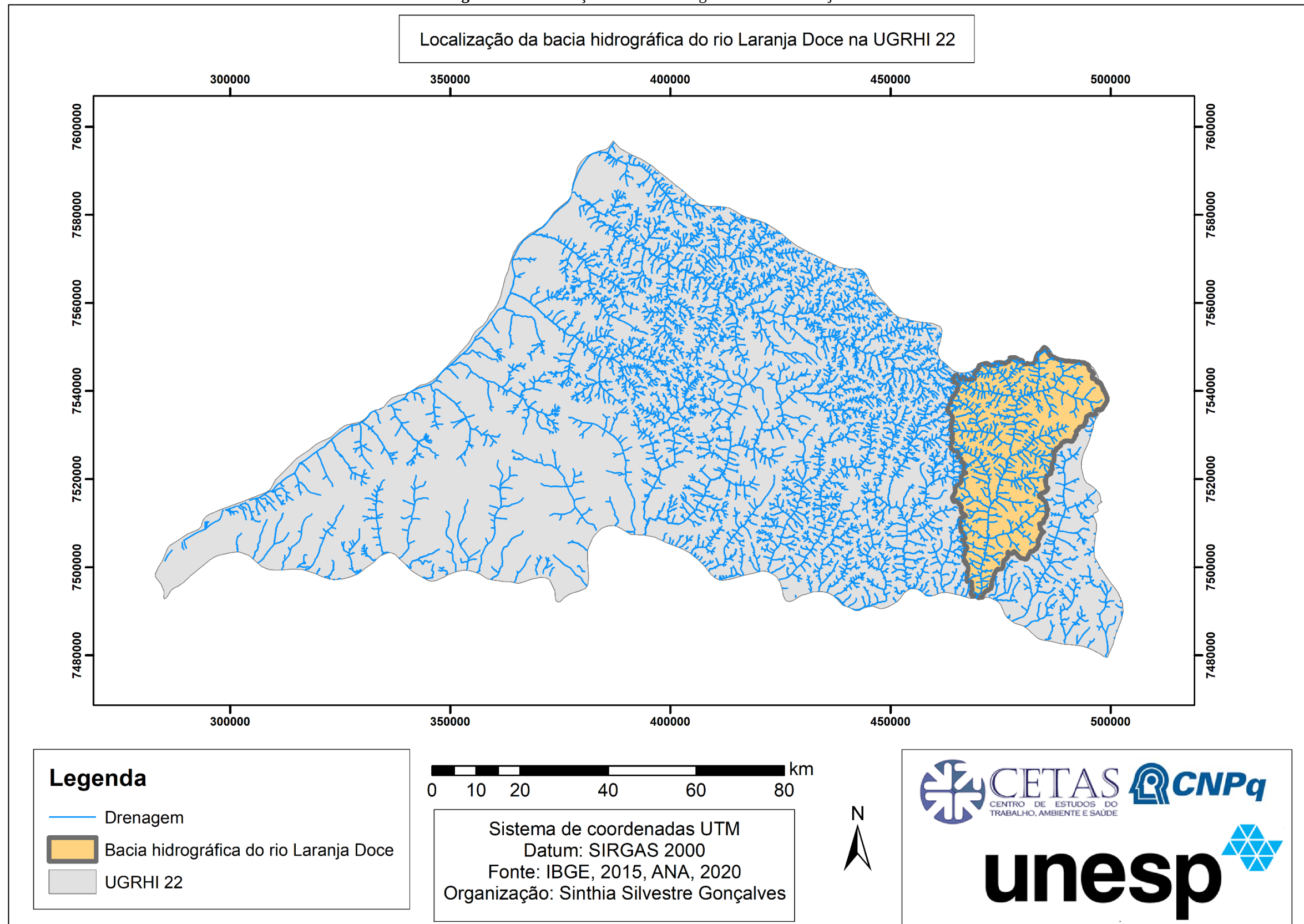
As análises dos metais foram realizadas em triplicata por Espectroscopia de Absorção Atômica com atomização por chama em um aparelho Perkin-Elmer (3110), utilizando ar/acetileno como gases para todos os metais.

Todas as variações analíticas instrumentais foram seguidas criteriosamente à partir do guia Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy, desenvolvido pela fabricante do aparelho.

Ensaio 2 – Dados secundários – sedimentos, rio Laranja Doce

A **figura 20** traz a delimitação da bacia hidrográfica do rio Laranja Doce:

Figura 20: Localização da bacia hidrográfica do rio Laranja Doce



Fonte: IBGE (2015); ANA (2020).

Este corpo d'água está situado ao leste da UGRHI 22. Neste ponto, foi analisado o elemento sedimento e os valores encontrados de metais pesados pelo banco de dados da CETESB/2019, fortalecendo a análise espacial.

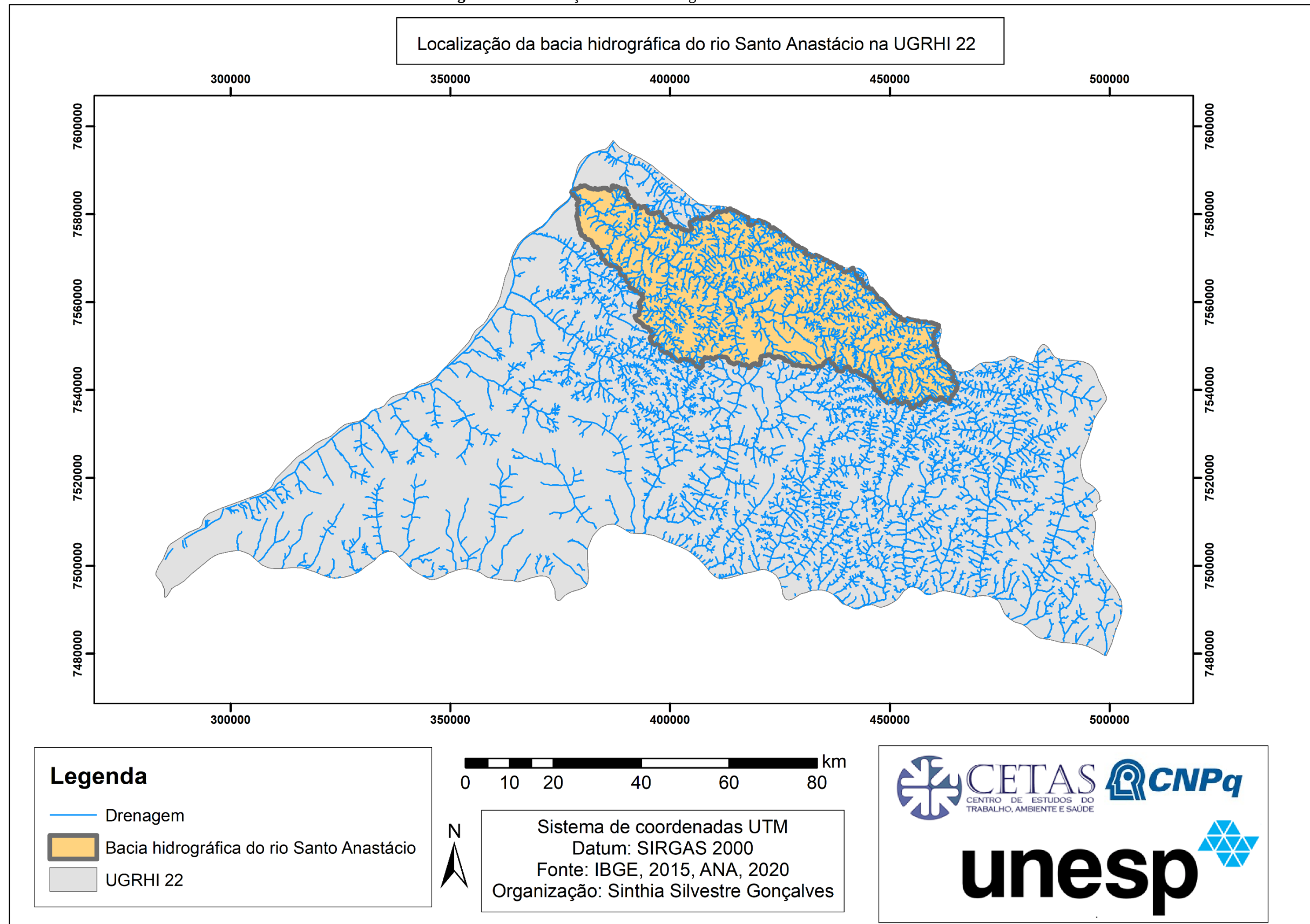
Os metais pesados analisados pela CETESB são de uma variedade maior e 5 deles coincidem com os elementos do Ensaio 1.

O Ensaio 2, utilizou os dados de sedimento encontrado na região de estudo – UGRHI 22, sendo do ano de 2019, para tanto, a CETESB utilizou a metodologia do **anexo 1**.

Ensaio 3 – Dados secundários – água, rio Santo Anastácio

A **figura 21** traz a delimitação da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio:

Figura 21: Localização da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio



Fonte: IBGE (2015) ANA (2020).

Para análise de água, o curso d'água de amostragem foi o rio Santo Anastácio, localizado ao norte da UGRHI 22. Neste caso, foi feito uma análise temporal com a utilização de valores de metais pesados no corpo d'água em 10 anos nesta localidade (2010 a 2019).

Para os Ensaio 2 e 3, devido às circunstâncias já mencionadas, para incorporar e dar um suporte à pesquisa foi necessário fazer o uso de dados secundários. Os dados foram importados do site Infoaguas, o qual gerencia e faz as publicações da agência CETESB. A CETESB enquanto um órgão de regulamentação e análise de água tem pontos de amostragem pelo estado de São Paulo para um monitoramento efetivo da qualidade das águas.

Dessa forma, foi priorizado o levantamento de dados de sedimentos e de água com o parâmetro de metais pesados encontrados em bacias hidrográficas já analisadas no Ensaio 1 e considerando os mesmos materiais.

Em relação ao Ensaio 3, foram utilizados dados referentes metais pesados na água a partir de uma análise temporal, com o intervalo de 10 anos, coincidindo com o ponto 3.

A metodologia de amostragem da água foi realizada seguindo o Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Águas da CETESB (1988), através das seguintes etapas: Planejamento de amostragem; organização dos trabalhos de campo (Planejamento das Atividades, Coleta e Preservação de Amostras, Acondicionamento, Transporte e Armazenamento de Amostras, Segurança nos Trabalhos de Campo e Preparo de Soluções e Reagentes); Controle de qualidade na amostragem (Duplicata de Campo, Temperatura de Transporte e Armazenamento e Incerteza da Amostragem); Equipamentos de amostragem (Amostradores de superfície, amostradores de profundidade, amostradores de fundo); Amostragem de água bruta (Coleta e Preservação de Amostras para Ensaio em Água Bruta).

Para a obtenção dos valores de metais pesados encontrado na água, foi feito os seguintes procedimentos: Espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES (Métodos APHA 3120-B ou USEPA 6010C); Espectrometria de absorção atômica – forno de grafite (Método APHA, 3113-B); Espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio (Método EPA 7470) e Espectrometria de absorção atômica com decomposição térmica (Método EPA 7473) de acordo com a CETESB.

4.3 Correlacionar as concentrações de metais pesados às possíveis proveniências seja do meio físico e dos processos apropriativos nas bacias, a montante dos locais de amostragem.

Para findar a pesquisa, foi feito um levantamento entre todos os resultados obtidos dos seguintes procedimentos: o referencial teórico, trabalhos de campo, coleta de sedimento, análise química dos sedimentos, dados obtidos de forma secundária e assim foi possível gerar um panorama das características da rede de drenagem, assim como o estado do material depositado e do corpo hídrico, considerando a cobertura da terra, os processos apropriativos, correlacionando à abordagem sistêmica e da conectividade (CHRISTOFOLLETI, 1974) do sistema fluvial da região UGRHI 22.

Para a interpretação dos dados, foi utilizada a análise estatística, como a elaboração de planilhas e gráficos, para a melhor visualização dos resultados, a partir de planilhas eletrônicas.

Ainda, para auxiliar na interpretação da área de estudo, foi utilizada a produção cartográfica, como SIGs para representar a caracterização da área de estudo e relacionar aos dados obtidos, assim como expressar a localização das bacias hidrográficas em relação às formações geológicas, pedológicas e de uso da terra.

Para a obtenção dos dados relacionados a pluviometria, foi utilizado o banco de dados do INMET- Instituto Nacional de Meteorologia, a partir da estação instalada no município de Presidente Prudente, próximo ao ponto de coleta de água da CETESB.

Através do levantamento de dados, foram feitas tabelas indicando elementos do meio físico que podem contribuir para a presença de metais pesados, além dos fatores antrópicos, como formações geológicas e pedológicas e comparar à quantidade de metais pesado encontrado em cada uma das análises.

A partir dos valores orientados pelo CONAMA, órgão regulamentador das águas federais, foi possível gerar uma análise comparativa aos números encontrados de metais pesados na área de estudo em relação a água e sedimento.

A discussão dos resultados foi embasada na correlação dos dados obtidos, análise dos gráficos e representação cartográfica, dessa forma, foi possível finalizar a análise dos metais pesados encontrados na água e nos sedimentos, assim como expor as suas possíveis origens, desde fontes naturais à proveniência antrópica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para fazer a apresentação dos resultados, será utilizada a ordem dos objetivos específicos, para que então atinja o objetivo final.

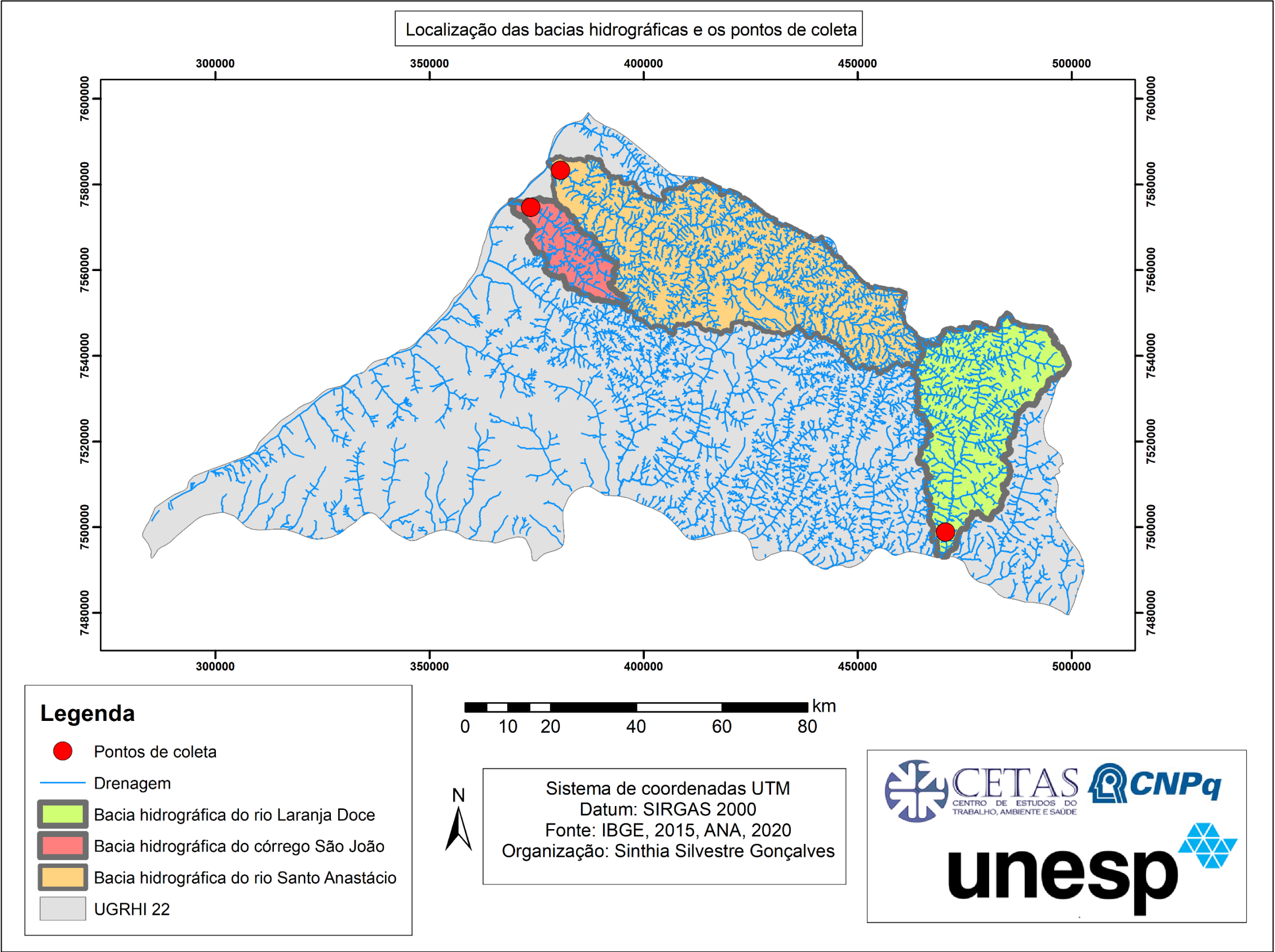
5.1 Análise do meio físico quanto a distribuição espacial de unidades geológicas e possíveis fontes naturais de metais pesados e uso e ocupação

Para fazer as correlações dos resultados das análises de metais pesados no sedimento e na água, faz-se necessário uma análise do meio físico para identificar elementos como a formação geológica e pedológica que abrange cada uma das bacias hidrográficas, assim como o uso e cobertura da terra.

Como as bacias hidrográficas dos três Ensaio (1, 2 e 3) coincidem e todas pertencem à UGRHI 22, a análise do meio físico e antrópico servirá como um norte para a visualização das possíveis fontes de metais pesados em todos os recortes.

A **figura 22** corresponde à delimitação das bacias hidrográficas em que os 3 pontos de coletas estão inseridos dentro do recorte da UGHRI 22.

Figura 22: Localização das bacias hidrográficas pertencentes aos corpos hídricos com os pontos de amostragem



Fonte: IBGE, 2015, ANA, 2020

As bacias hidrográficas que abrangem os pontos de coleta estão especializadas pela UGHRI 22 de forma que cada uma abrange várias formações litológicas específicas, não havendo um padrão entre elas. O **quadro 2** traz a as bacias hidrográficas e a formação litológica que cada uma abrange:

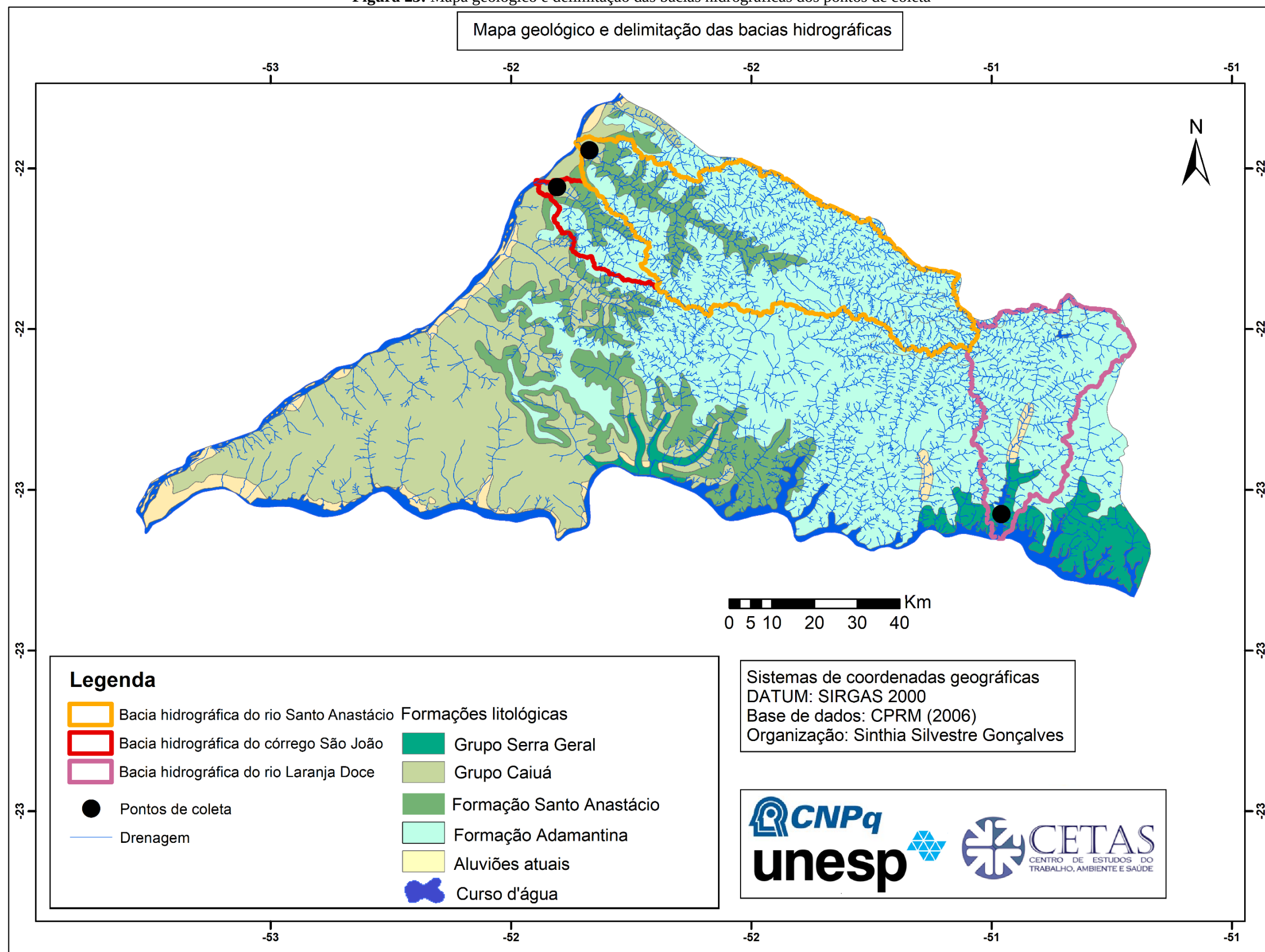
Quadro 2: Bacia hidrográfica e formação litológica abrangida

Rio Santo Anastácio	A delimitação da bacia hidrográfica apresenta pequena parte do Grupo Caiuá, Formação Santo Anastácio representando uma parte mediana e a maior parte é composta por Formação Adamantina.
Córrego São João	A delimitação da bacia hidrográfica em sua maior parte é composta pela Formação Adamantina. A Formação Santo Anastácio apresenta uma parte razoável e o Grupo Caiuá corresponde à uma pequena parte.
Rio Laranja Doce	A delimitação da bacia hidrográfica pertence em sua maior parte às formações Adamantina. Uma parte bem pequena da bacia hidrográfica é composta pelas formações de aluviões atuais e Grupo Serra Geral.

Fonte: Organizada pela autora (2021).

A **figura 23** apresenta o mapa da geologia da UGRHI 22 e as bacias hidrográficas do estudo delimitadas:

Figura 23: Mapa geológico e delimitação das bacias hidrográficas dos pontos de coleta



Fonte: CPRM (2006).

Vale ressaltar que, dentro da Formação Adamantina presente na delimitação da região, há 3 litofácies diferentes, Ka1, Ka4 e Ka5.

A constituição da formação Ka1 é composta por arenitos (finos e muito finos), siltitos arenosos, arenitos finos argilosos e arenitos médios. A composição dos arenitos é quartzosa, com partes diversificadas de feldspato (ALMEIDA *et al.*, 1980).

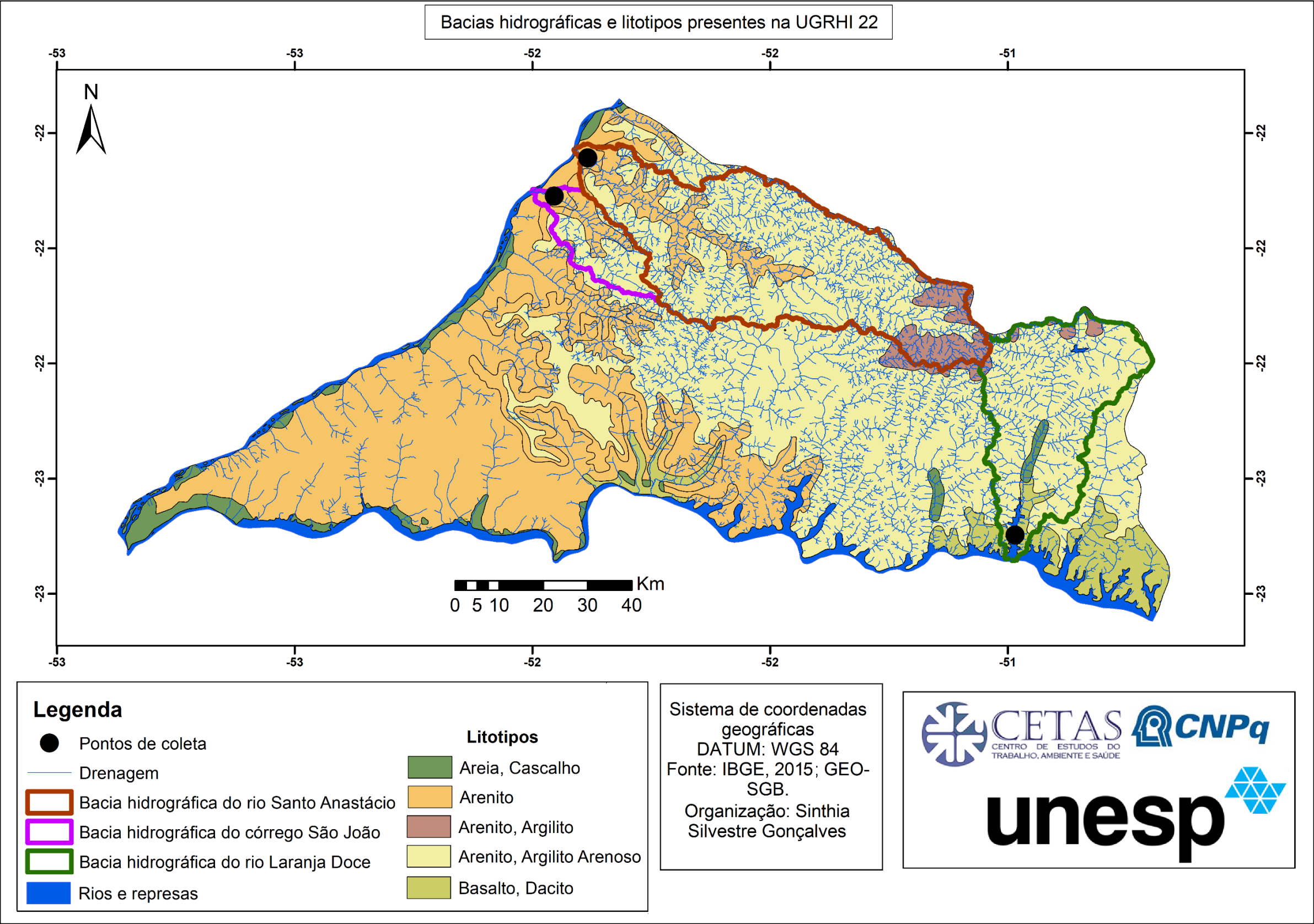
A formação Ka4 é composta por arenitos (finos e muito finos) organizados em bancos alternados e lentes de argilitos, siltitos e arenitos com argila. A composição do arenito é formada por quartzo, pouca quantidade de feldspato e sílica amorfa, micas e opacos (ALMEIDA *et al.*, 1980).

Em relação a formação Ka5, esta apresenta os mesmos compostos detríticos que a formação Ka4 mas em bancos com espessura menor e o cimento carbonático e maior frequência (ALMEIDA *et al.*, 1980).

Ao delimitar as bacias hidrográficas que estão inseridas na análise dos três ensaios, foi possível observar que todas as formações litológicas estão abarcadas, porém a localização de cada uma delas permite somente a ocorrência de formações específicas.

O mapa da **figura 24** apresenta os litotipos existentes e na UGHRI 22, considerando que o utilizado na produção cartográfica é o litotipo 1, o qual representa mais de 10% da unidade litoestratigráfica:

Figura 24: Litotipos presentes na UGRHI 22



Fonte: IBGE (2015), GEO-SGB

De acordo com os mapas acima e da caracterização feita pelo CTPI (1999) no **quadro 3**, é possível evidenciar as seguintes características geológicas na UGRHI 22:

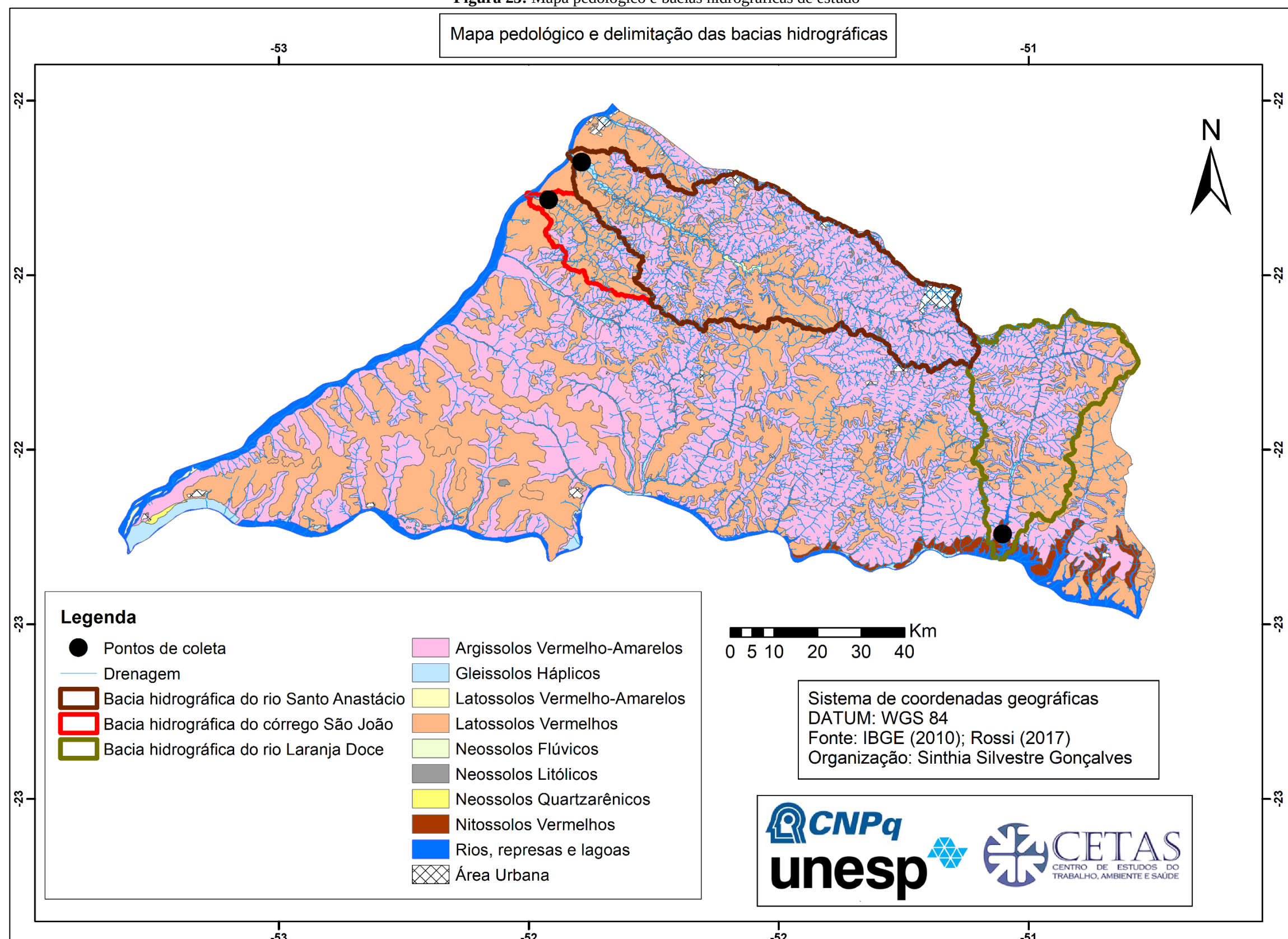
Quadro 3: Características geológicas da UGRHI 22

Unidade litoestratigráfica principal	Porcentagem do afloramento na UGRHI 22	Formação Geológica	Porcentagem do afloramento na UGRHI 22	Litologia
Terrenos Cenozóicos	2,1%	Sedimentos aluvionares	2,1%	
Bacia Bauru	93,6%	Formação Adamantina	62,2%	Arenitos finos e muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilitos ocorrendo em bancos maciços, estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte.
		Formação Santo Anastácio	2,7%	Arenitos muito finos a médios, mal selecionados, subordinadamente de caráter arcossiano, geralmente maciços, apresentando cimento e nódulos carbonáticos.
		Grupo Caiuá	28,7%	Arenitos finos a médios, com grãos bem arredondados, com coloração arroxeada típica, apresentando abundantes estratificações cruzadas de grande a médio porte. Localmente ocorrem cimento e nódulos carbonáticos.
Grupo São Bento	4,3%	Grupo Serra Geral	4,3%	Rochas vulcânicas toleíticas dispostas em derrames basálticos, com coloração cinza a negra, textura afanítica, com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios apresentando estratificação cruzada tangencial. Ocorrem esparsos níveis vitroríficos não individualizados.

Fonte: Adaptado de CTPI (1999).

Em relação à pedologia, no mapa da **figura 25**, a partir da delimitação das bacias hidrográficas no mapa pedológico, é possível observar quais tipos de solo é encontrado em cada uma delas.

Figura 25: Mapa pedológico e bacias hidrográficas de estudo



A partir da visualização do mapa acima, é nítida a presença de dois tipos de solo predominantemente, são eles o Latossolo Vermelho e o Argissolos Vermelho-Amarelos.

O **quadro 4** traz as respectivas bacias hidrográficas e suas formações pedológicas abrangidas por cada uma delas.

Quadro 4: Bacia hidrográfica e formação pedológica abrangida

Rio Santo Anastácio	Argissolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos Neossolos Litólicos em pouca quantidade Neossolos Flúvicos em pouca quantidade Gleissolos Háplicos em pouca quantidade
Córrego São João	Argissolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos
Rio Laranja Doce	Argissolos Vermelho-Amarelos Latossolos Vermelhos Gleissolos Háplicos em pouca quantidade Nitossolos Vermelhos em pouca quantidade

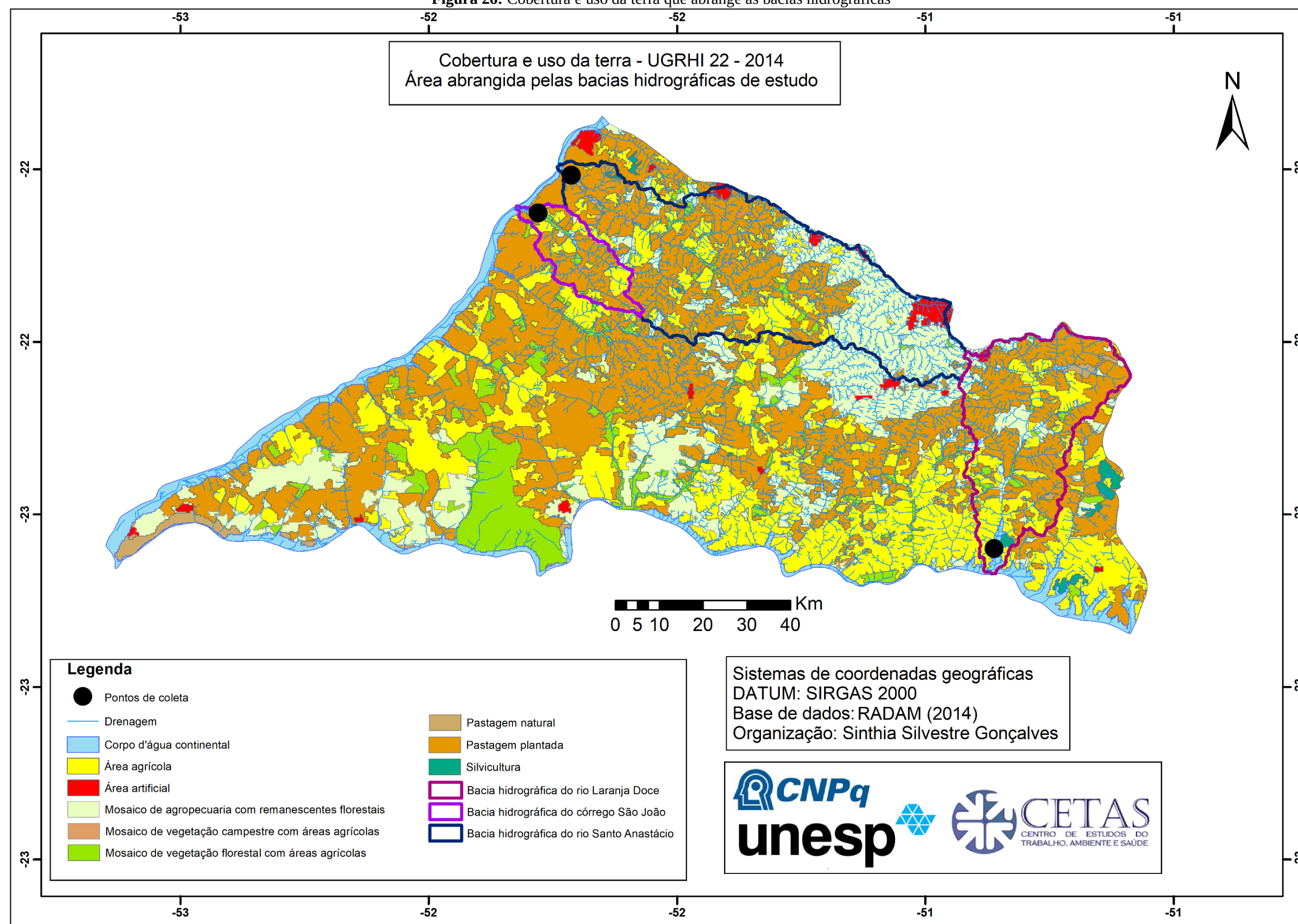
Fonte: ROSSI (2017)

Em relação ao uso do território da UGHRI 22, podemos observar um direcionamento do território para o agrohidronegócio (THOMAZ, 2010), ou seja, a alta utilização das terras para a agricultura e pastagem.

A partir da delimitação das bacias hidrográficas no mapa de cobertura e uso da **figura 26** torna-se evidente a presença da pastagem e agropecuária em cada uma delas. As bacias hidrográficas dos Rios Santo Anastácio e Laranja Doce possuem grande parte de sua área coberta por área agrícola.

A vegetação original de Floresta Estacional Semidecidual é quase inexistente nos três pontos amostrais, dessa forma, grande parte da área de todas as bacias hidrográficas é coberta por ações antrópicas, principalmente culturas agrícolas e pastagem.

Figura 26: Cobertura e uso da terra que abrange as bacias hidrográficas



Fonte: RADAM (2014).

5.2 Presença de contaminantes químicos, especificamente concentrações de metais pesados na água e no sedimento em ambientes fluviais

A partir dos três ensaios realizados, sendo dois extraídos de dados secundários, obtiveram-se os seguintes resultados:

5.2.1 Ensaio 1 - Análises dos sedimentos

A partir dos procedimentos de campo e laboratório, foram processados os seguintes valores para os metais pesados em sedimentos nos três pontos de coleta, de acordo com o **quadro 5**:

Quadro 5: Valores encontrados em sedimentos de metais pesados – 2019

Amostra	Concentração dos metais (mg.Kg ⁻¹)				
		Pb	Cu	Cr	Zn
P1		7,27671	4,48565	8,07416	5,88118
P2		2,08955	4,97512	18,50746	22,68657
P3		25,31898	255,48246	50,4386	38,57656

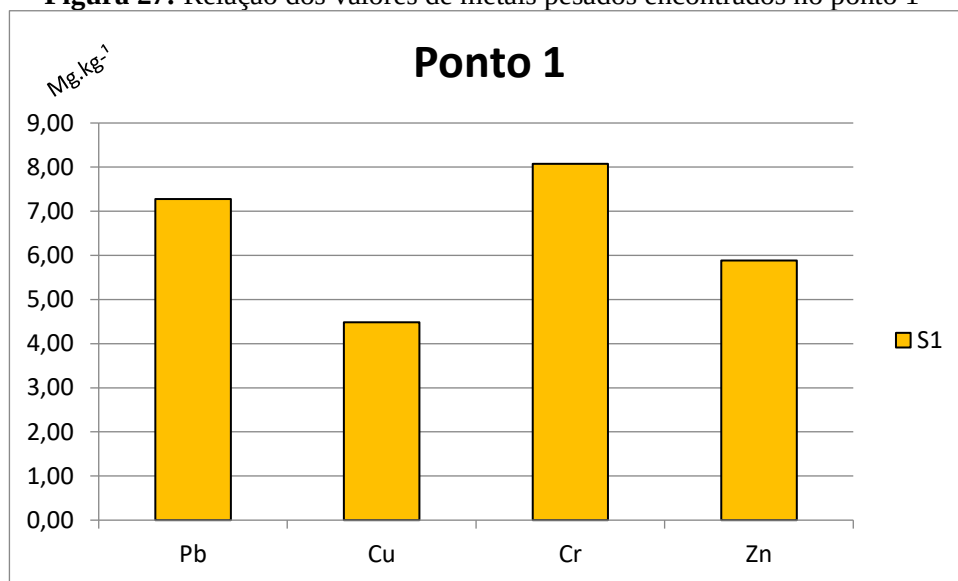
Fonte: Organizado pela autora (2019)

Nota-se, que no ponto 3, local do Rio Laranja Doce, apresenta uma grande quantidade dos 4 metais analisados, quando comparada com os outros dois pontos. Na sequência, o ponto 2, também apresenta valores altos para Cromo e Zinco. Já o ponto 1, mantém-se com os valores entre 4 a 8 mg.Kg⁻¹.

A partir da exposição dos dados em gráficos, comparando os pontos 1, 2 e 3, nota-se um aumento gradativo dos valores encontrados respectivamente.

A **figura 27** apresenta os valores de metais encontrados no ponto 1:

Figura 27: Relação dos valores de metais pesados encontrados no ponto 1

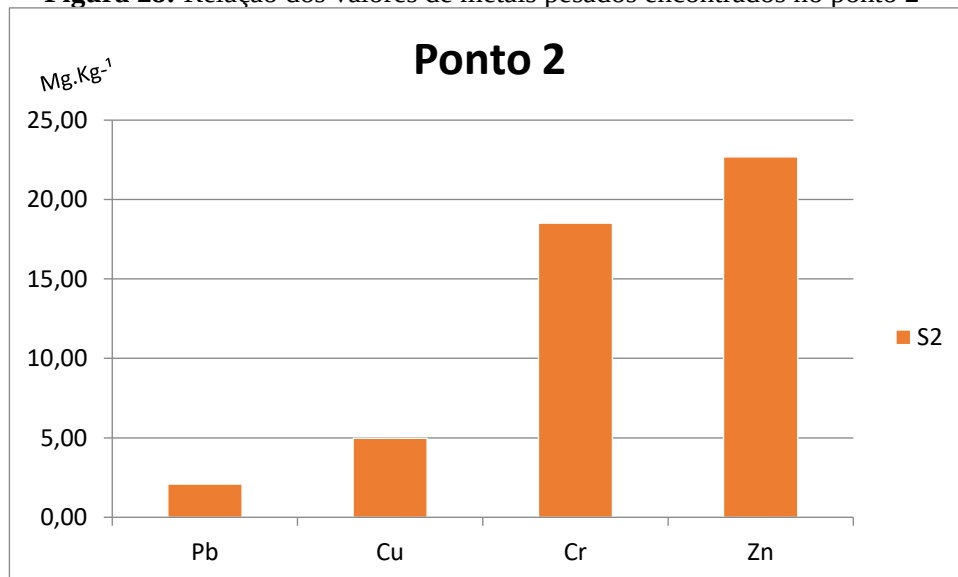


Fonte: Organizado pela autora

O gráfico apresenta valores que atingem pouco mais de 8 mg.kg⁻¹, onde o Cromo é o maior valor, seguido por Chumbo, Zinco e Cobre.

A **figura 28** apresenta os valores encontrados no ponto 2, onde é possível observar uma elevação dos picos, principalmente um aumento da quantidade encontrada:

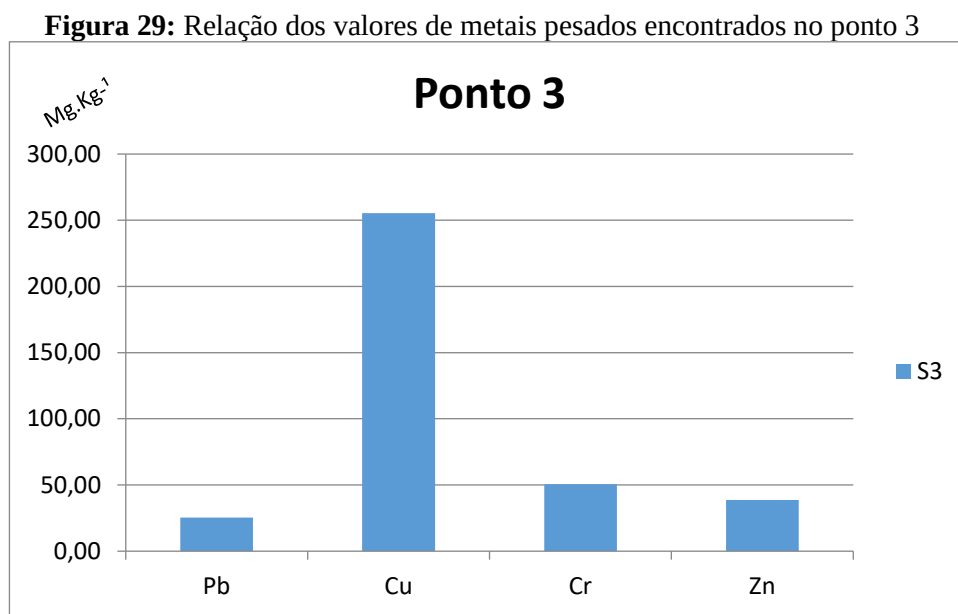
Figura 28: Relação dos valores de metais pesados encontrados no ponto 2



Fonte: Organizado pela autora

No ponto 2, o Zinco e o Cromo sobressaem-se em relação ao Chumbo e Cobre, atingindo a quantidade encontrada de 22,8 kg.mg⁻¹.

A **figura 29** apresenta os valores de concentrações encontradas de metais pesados no ponto 3:

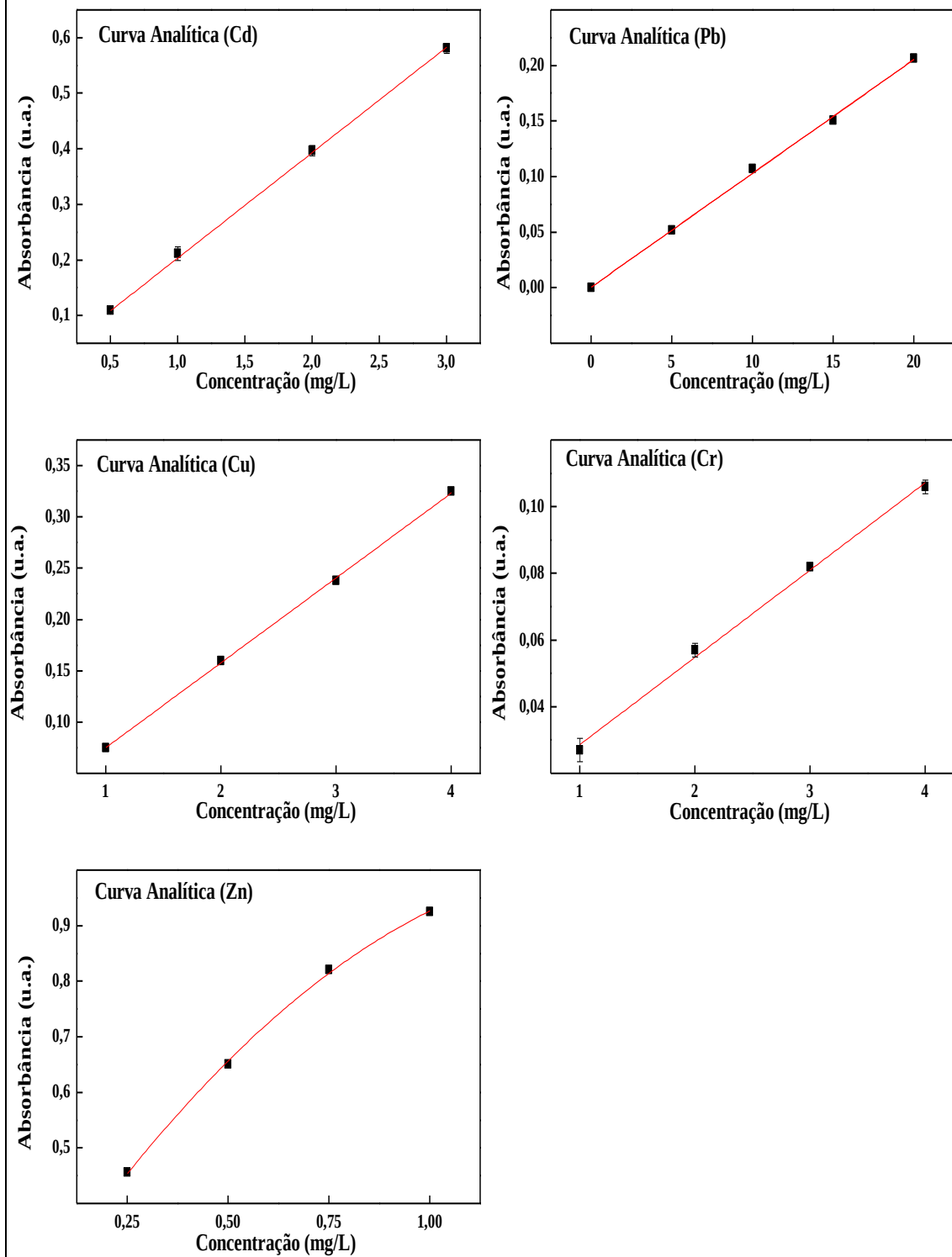


Fonte: Organizado pela autora

O ponto 3 apresenta uma proeminência no Cobre, atingindo acima de 250 mg.kg⁻¹, assim como o Cromo também teve uma elevação em sua quantidade encontrada quando comparado esses dois elementos com os demais pontos de análise. Significativamente o ponto 3 de modo geral obteve as maiores concentrações em massa de metais pesados encontrados.

A partir do preparo dos padrões foi possível a construção das curvas analíticas dos metais abaixo no **quadro 6**:

Quadro 6: Curva analítica dos metais pesados analisados



Fonte: CETAS (2019)

A partir das curvas analíticas de cada elemento químico, é possível observar o crescimento da curva em todas as análises.

5.2.2 Ensaio 2 - Análise dos sedimentos – CETESB

Em relação aos sedimentos coletados pela CETESB (2019), o qual coincidiu com o ponto 3, pertencente ao Rio Laranja Doce, são doze tipos de metais pesados analisados, os quais alumínio e ferro apresentam os dados mais discrepantes da tabela, de acordo com o **quadro 7**:

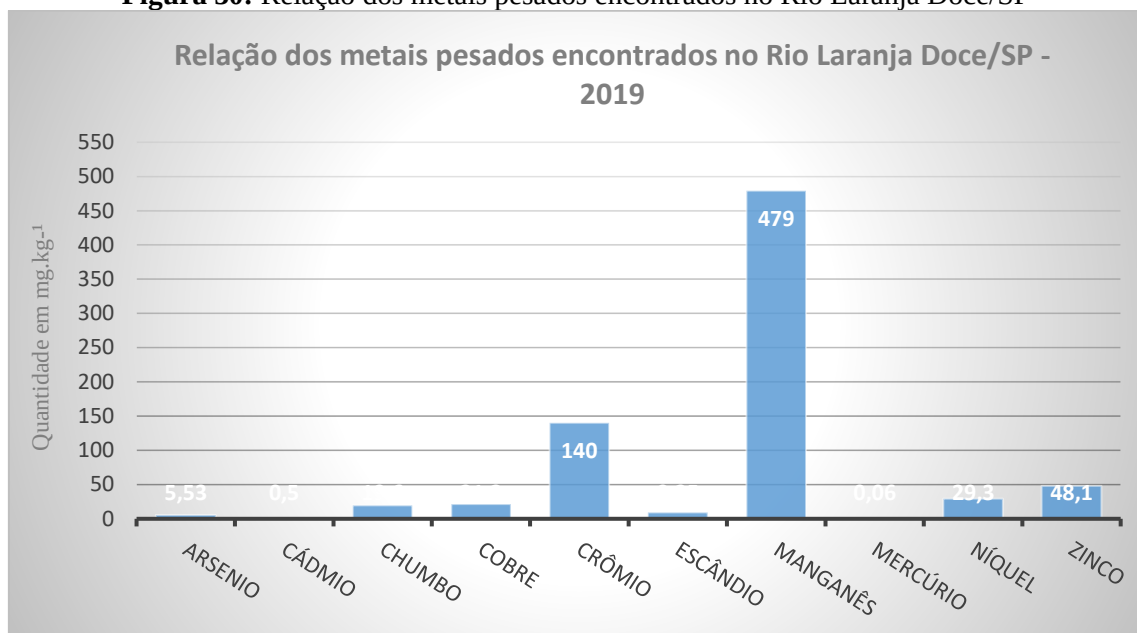
Quadro 7: Dados de metais pesados encontrados em sedimentos

	Rio Laranja Doce
Metal Pesado	01/08/19 12:10 às 13:00
Alumínio (Mg/Kg)	74079
Arsênio (Mg/Kg)	5.53
Cádmio (Mg/Kg)	< 0.5
Chumbo (Mg/Kg)	19.6
Cobre (Mg/Kg)	21.3
Crômio (Mg/Kg)	140
Escândio (Mg/Kg)	9.25
Ferro (Mg/Kg)	41190
Manganês (Mg/Kg)	479
Mercúrio (Mg/Kg)	0.06
Níquel (Mg/Kg)	29.3
Zinco (Mg/Kg)	48.1

Fonte: CETESB (2019).

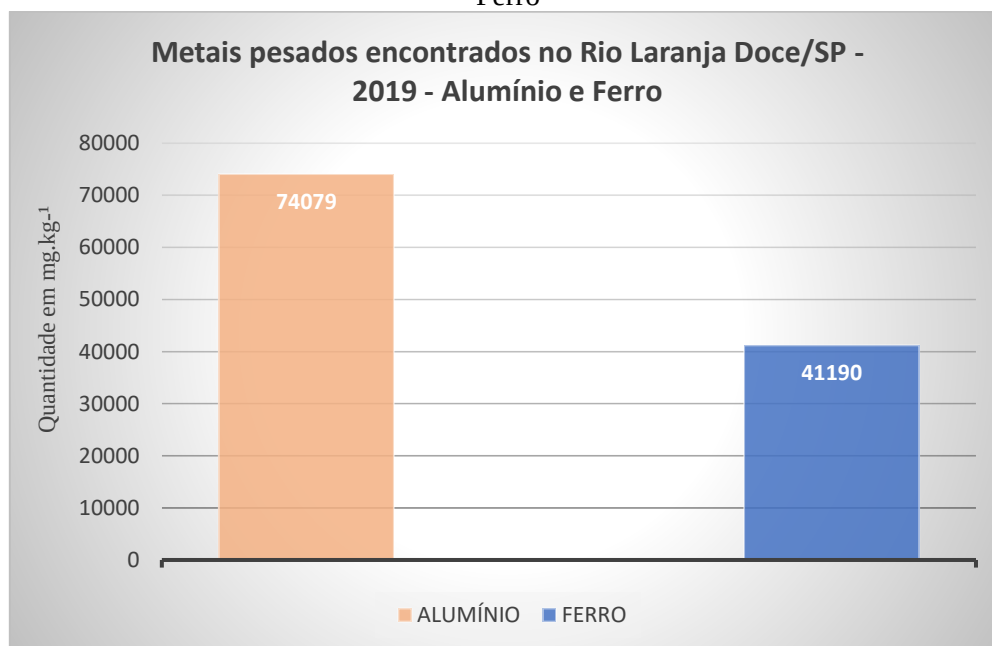
Esses dados ficam mais visíveis quando apresentados em gráficos, porém pela discrepância dos valores de alumínio e ferro em relação aos outros, foram feitos dois gráficos para uma melhor representação, de acordo com a **figura 30** e **figura 31**:

Figura 30: Relação dos metais pesados encontrados no Rio Laranja Doce/SP



Fonte: CETESB, organizado pela autora.

Figura 31: Relação dos metais pesados encontrados no Rio Laranja Doce/SP – Alumínio e Ferro



Fonte: CETESB, organizado pela autora.

A partir da observação dos gráficos, além dos altos valores para alumínio e ferro, manganês e crômio se destacam no primeiro gráfico, chegando a quase 500 mg.kg⁻¹ e 140 mg.kg⁻¹, respectivamente. Os outros metais apresentam valores bem inferiores quando comparado aos demais.

5.2.3 Ensaio 3 - Análise da água – CETESB

Para completar a análise e fundamentar o estudo espacial dos valores de metais pesados, foi utilizada como parâmetro analítico a água, coincidindo com o ponto 1 do ensaio de sedimentos, referente ao Rio Santo Anastácio.

Os quadros de análise de água possuem dados de 8 variações de metais pesados, entre quantidade dissolvida e quantidade total, somando-se ao longo dos anos 6 análises nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro.

No ano de 2010, os dados apresentados pela CETESB de metais pesados foram apenas 6 elementos, porém no restante das tabelas, são presente 9 tipos de metais pesados, Alumínio, Arsênio, Cromo, Ferro, Fósforo, Manganês, Cádmio, Chumbo e Cobre, variando entre o estado dissolvido e total.

Os **quadros de 8 a 17** apresentam as quantidades em mg/l de metais pesados encontrados na água do Rio Santo Anastácio de 2010 a 2019:

Quadro 8: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio – 2010

Metal-mg/l	03/02/2010	07/04/2010	23/06/2010	18/08/2010	20/10/2010	15/12/2010
Alumínio Diss.	0.18	0.03	<0.05	<0.05	0.1	<0.05
Alumínio total	2.96	0.2	0.131	0.172	0.378	0.219
Arsênio total	<0,002	0.01	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cromo total	<0.02	0.006	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Ferro Diss.	0.44	0.32	0.108	0.201	0.487	0.444
Ferro total.	3.01	1.25	0.686	0.779	1.62	0.987
Fósforo total	0.15	0.2	1.05	-	0.29	0.28
Manganês total	0.22	0.182	0.061	0.108	0.123	0.095

Fonte: CETESB (2010).

Quadro 9: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio – 2011

Metal-mg/l	15/02/2011	06/04/2011	14/06/2011	23/08/2011	25/10/2011	06/12/2011
Alumínio Diss.	0.103	<0.05	<0.05	<0.05	<0.1	0.81
Alumínio total	0.721	0.22	0.166	0.165	0.8	23.5
Arsênio total	<0.02	0.002	<0.02	<0.02	<0.005	<0.005
Cromo total	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	0.05
Ferro Diss.	0.338	0.403	0.193	0.075	0.18	0.44
Ferro total.	2.31	1.44	0.869	0.823	1.15	16.3

Fósforo total	0.33	0.25	0.29	0.497	2.54	0.079
Manganês total	0.182	0.135	0.092	0.121	0.08	0.42
Cádmio total	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.0002	<0.0002
Chumbo total	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.008
Cobre diss.	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.009	<0.009
Cobre total	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.01	0.04

Fonte: CETESB (2011).

Quadro 10: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio – 2012

Metal-mg/l	23/02/2012	17/04/2012	26/06/2012	07/08/2012	09/10/2012	06/12/2012
Alumínio Diss.	0.54	<0.05	0.187	0.071	0.057	0.155
Alumínio total	24.6	0.393	0.375	0.186	0.226	0.209
Arsênio total	<0.01	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Cádmio total	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Chumbo total	0.01	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009
Cobre diss.	<0.009	<0.005	<0.005	<0.005	<0.0051	<0.005
Cobre total	0.02	<0.005	<0.0066	<0.005	<0.005	<0.005
Cromo total	0.05	0.008	0.0066	0.028	0.022	0.049
Ferro diss.	0.62	0.099	0.441	0.39	0.149	0.308
Ferro total	13.9	0.915	1.54	1.33	0.796	0.622
Fósforo total	0.017	0.158	0.148	0.626	1.03	1.05
Manganês total	0.41	0.098	0.143	0.196	0.064	0.127

Fonte: CETESB (2012).

Quadro 11: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio – 2013

Metal-mg/l	21/02/2013	16/04/2013	25/06/2013	27/08/2013	08/10/2013	05/12/2013
Alumínio Diss.	0,093	0,14	<0.05	0.089	0.111	0.079
Alumínio total	0,417	0,367	0,123	0,387	0,399	0,144
Arsênio total	<0.03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cádmio total	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Chumbo total	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Cobre diss.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cobre total	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,0092	< 0,005	< 0,005
Cromo total	0,024	0,013	0,007	0,016	0,012	0,035
Ferro diss.	0,651	0,61	0,286	0,143	0,445	0,096
Ferro total	1,75	1,82	1,3	1,3	1,49	0,613
Fósforo total	0,275	0,415	0,21	0,97	0,263	2,334
Manganês total	0,207	0,141	0,159	0,205	0,156	0,119

Fonte: CETESB (2013).

Quadro 12: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio – 2014

Metal-mg/l	20/02/2014	08/04/2014	24/06/2014	26/08/2014	14/10/2014	10/12/2014
Alumínio Diss.	0,076	0,085	0,079	0,063	<0,05	0,188
Alumínio total	0,201	0,173	0,168	0,157	0,125	1,43
Arsênio total	< 0,03	< 0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cádmio total	< 0,002	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	< 0,009	< 0,009	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Cobre diss.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cobre total	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,0064
Cromo total	0,023	0,019	0,029	0,059	0,009	0,009
Ferro diss.	0,164	0,218	0,23	0,141	0,15	0,391
Ferro total	0,63	0,581	0,521	0,461	0,439	1,41
Fósforo total	0,99	1,35	1,74	1,71	1,16	0,205
Manganês total	0,114	0,104	0,104	0,104	0,041	0,229

Fonte: CETESB (2014).

Quadro 13: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio – 2015

Metal-mg/l	26/02/2015	07/04/2015	23/06/2015	25/08/2015	14/10/2015	15/12/2015
Alumínio Diss.	0,069	0,067	0,227	<0,05	0,117	0,146
Alumínio total	4,02	0,198	0,256	0,449	0,431	0,31
Arsênio total	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cádmio total	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Cobre diss.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cobre total	0,0102	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cromo total	0,017	0,014	0,014	0,026	<0,005	0,012
Ferro diss.	0,112	0,43	0,387	0,068	0,294	0,357
Ferro total	2,76	0,838	0,977	0,764	1,5	1,87
Fósforo total	0,41	0,356	0,803	0,985	0,277	0,366
Manganês total	0,312	0,132	0,122	0,152	0,096	0,133

Fonte: CETESB (2015).

Quadro 14: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio – 2016

Metal-mg/l	25/02/2016	12/04/2016	23/06/2016	25/08/2016	04/10/2016	15/12/2016
Alumínio Diss.	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,124
Alumínio total	1,35	0,433	0,482	0,37	0,18	4,97
Arsênio total	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cádmio total	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Chumbo total	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008

Cobre diss.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cobre total	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cromo total	0,005	0,008	0,012	0,0118	0,0154	0,0111
Ferro diss.	0,099	0,055	0,162	0,0849	0,0599	0,442
Ferro total	2,35	0,827	1,3	0,947	0,654	2,41
Fósforo total	0,149	0,71	0,408	0,721	0,895	0,145
Manganês total	0,154	0,067	0,0672	0,114	0,161	0,0808

Fonte: CETESB (2016).

Quadro 15: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio – 2017

Metal-mg/l	01/02/2017	27/04/2017	20/06/2017	22/08/2017	05/10/2017	12/12/2017
Alumínio Diss.	0,099	0,116	0,084	0,112	0,145	< 0,05
Alumínio total	3,33	0,535	0,194	0,284	0,34	0,278
Arsênio total	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cádmio total	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Chumbo total	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
Cobre diss.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cobre total	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cromo total	0,0038	0,0025	0,014	0,023	0,021	0,02
Ferro diss.	0,319	0,24	0,366	0,237	0,185	0,085
Ferro total	2,41	1	0,914	0,818	0,692	0,766
Fósforo total	0,115	0,169	0,51	0,338	0,926	1,31
Manganês total	3,87	4,64	7,37	6,99	6,07	6,66

Fonte: CETESB (2017).

Quadro 16: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio –2018

Metal-mg/l	08/02/2018	17/04/2018	12/06/2018	21/08/2018	04/10/2018	06/12/2018
Alumínio Diss.	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,12	< 0,1
Alumínio total	0,156	0,36	0,35	0,32	0,8	0,1
Arsênio total	< 0,001	< 0,01	/	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cádmio total	< 0,0005	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	< 0,008	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre diss.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cobre total	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,007	0,006	< 0,005
Cromo total	0,019	0,012	0,02	0,034	< 0,05	< 0,05
Ferro diss.	0,154	0,12	0,094	0,12	< 0,2	< 0,3
Ferro total	0,788	0,87	0,56	0,64	1,37	0,9
Fósforo total	0,675	1	2,1	/	0,2	0,4
Manganês total	0,065	0,056	0,089	0,22	0,15	<0,1

Fonte: CETESB (2018).

Quadro 17: Dados de metais pesados encontrados em água no Rio Santo Anastácio – 2019

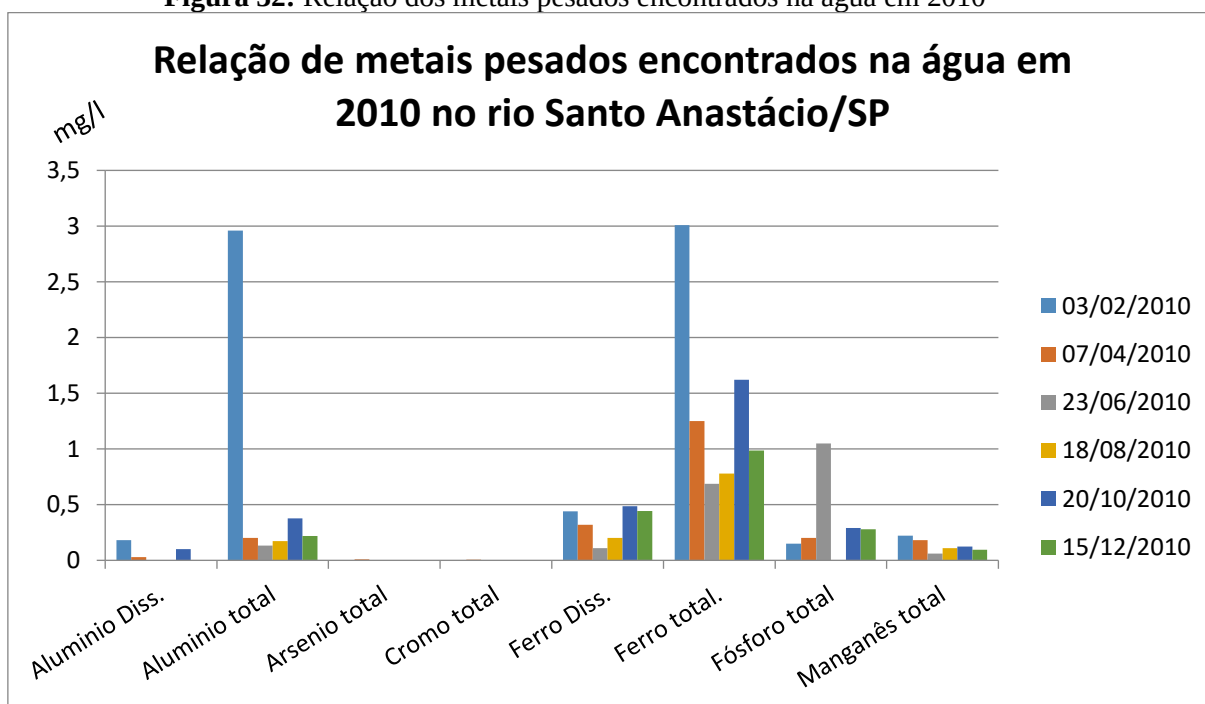
Metal-mg/l	08/02/2019	17/04/2019	12/06/2019	21/08/2019	04/10/2019	06/12/2019
Alumínio Diss.	< 0,1	0,15	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19
Alumínio total	0,53	0,26	0,26	0,21	0,12	0,29
Arsênio total	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cádmio total	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo total	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre diss.	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cobre total	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Cromo total	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ferro diss.	< 0,2	0,32	0,31	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Ferro total	1,1	0,83	0,73	0,61	0,43	0,52
Fósforo total	0,64	1,32	1,46	3,93	2,07	1,13
Manganês total	0,11	0,2	0,17	0,21	0,12	0,12

Fonte: CETESB (2019).

Para a discussão das tabelas, a apresentação dos dados foi feita através de gráficos por ano.

A **figura 32** traz os dados de metais pesados encontrados na água em 2010:

Figura 32: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2010

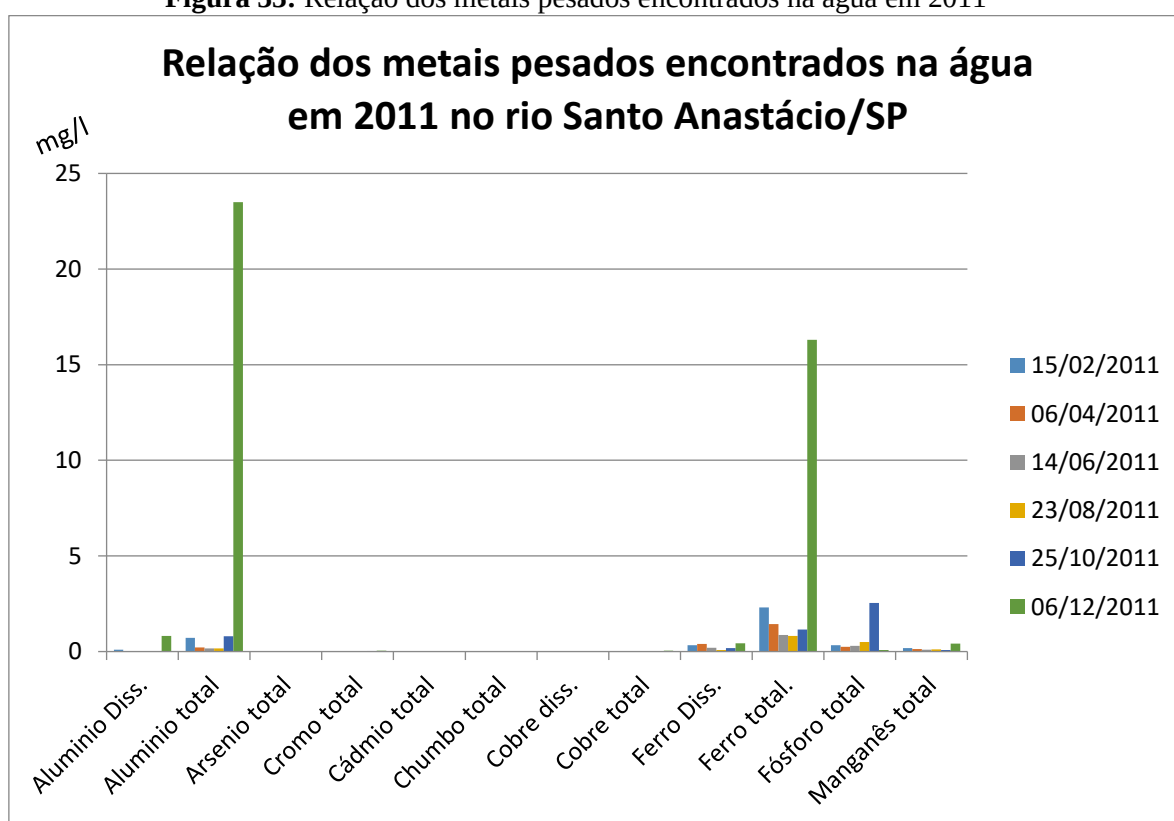


Fonte: CETESB, organizado pela autora.

No ano de 2010, é possível observar que a coleta do mês 2 obteve picos em destaque, atingindo até 3 mg/l de quantidade encontrada, nos metais Ferro total e Alumínio total, onde o Arsênio e o Cromo é quase inexistente. O mês 10 também obteve algumas elevações, principalmente em relação ao Ferro total novamente, que apresentou um comportamento quantitativo grande em todos os dias de coleta quando comparado com os outros elementos.

A **figura 33** a seguir, apresenta os valores encontrados de metais pesados na água durante o ano de 2011:

Figura 33: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2011



Fonte: CETESB, organizado pela autora.

No ano de 2011, os dados apresentaram uma elevação no dia de análise de dezembro, Alumínio total e Ferro total respectivamente atingem valores bem maiores em relação aos demais elementos. A quantidade em massa de metais pesados é destacada pelo Ferro total, quando em todos os 6 dias de análise durante o ano, apresentou alguma elevação em seus picos da tabela.

A **figura 34** apresenta os valores de metais pesados encontrados na água em 2012:

Figura 34: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2012.

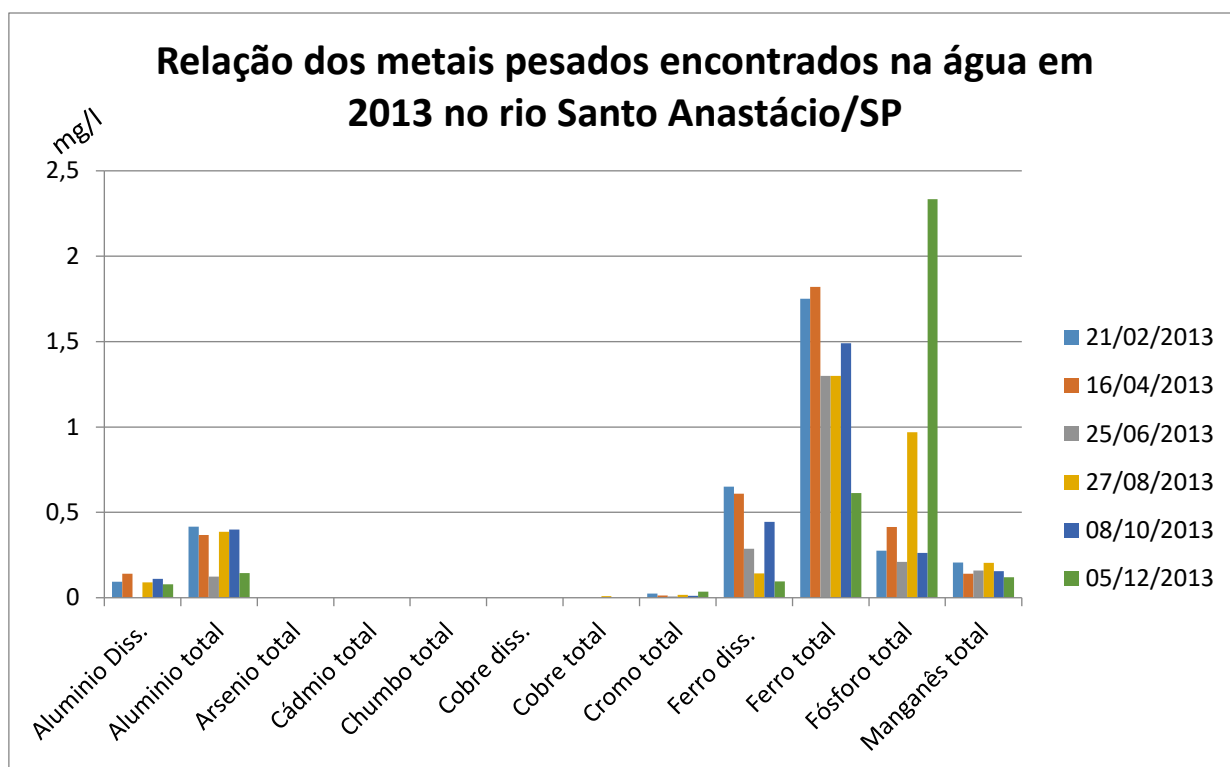


Fonte: CETESB, organizado pela autora.

Durante a análise do ano de 2012 exposta no gráfico, nota-se a proeminência novamente dos metais Alumínio total e Ferro total, em uma quantidade semelhante aos valores encontrados em 2011, onde novamente os outros elementos são quase inexistentes.

A **figura 35** apresenta os valores de metais pesados encontrados na água em 2013:

Figura 35: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2013

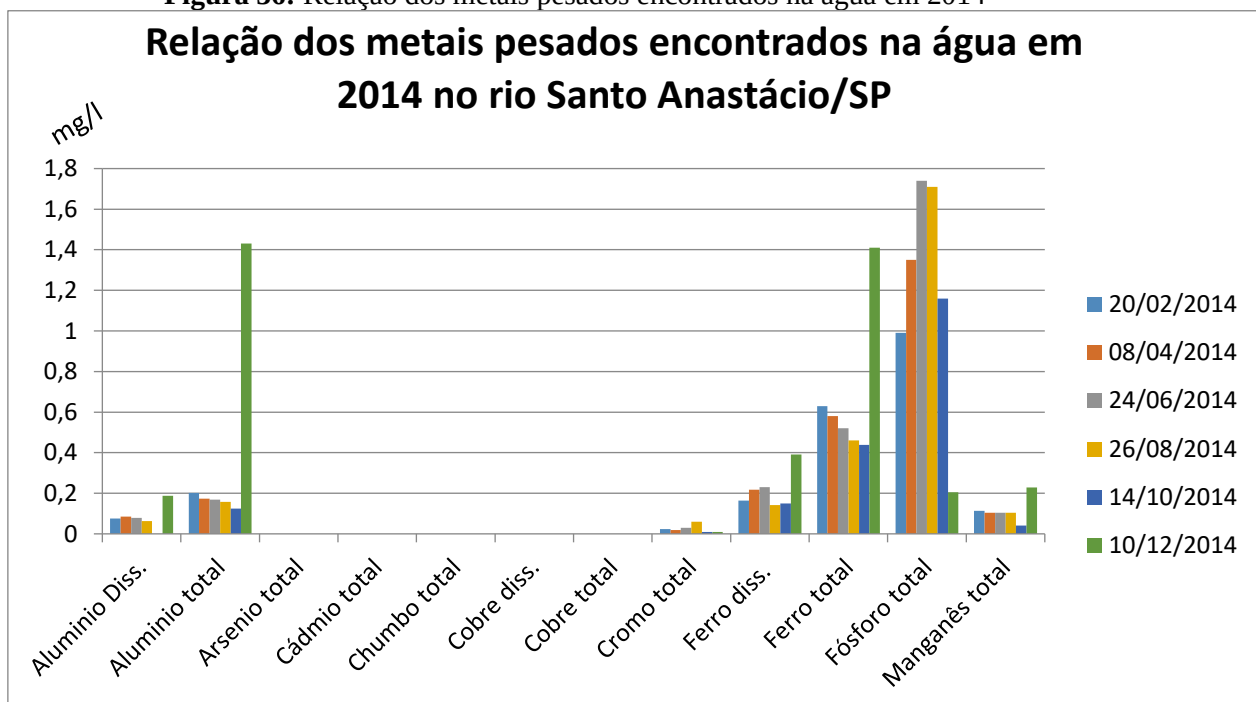


Fonte: CETESB, organizado pela autora.

Em relação ao ano de 2013, os metais pesados aparecem com uma maior frequência no gráfico, porém em uma quantidade (mg/l) inferior. Fósforo total, Ferro total são os elementos em destaques, onde o Ferro total demonstra uma maior presença em todos os dias de análise e por outro lado o Fósforo total tem seu pico no mês 12.

A **figura 36** apresenta os valores de metais pesados encontrados na água em 2014:

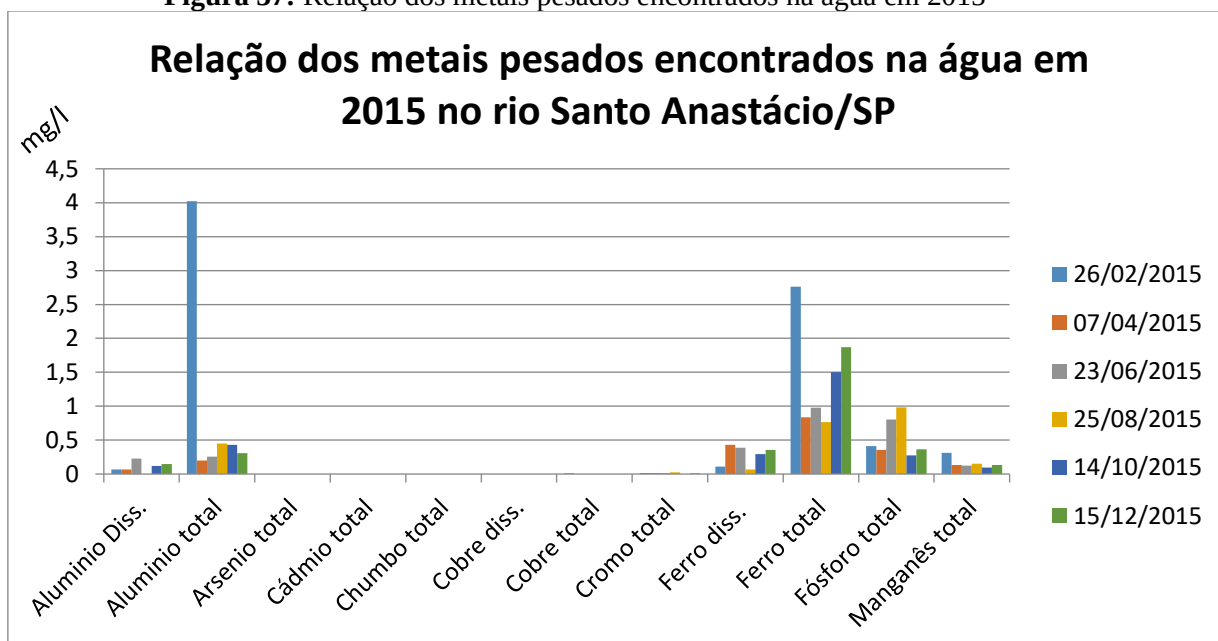
Figura 36: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2014



Fonte: CETESB, organizado pela autora.

No ano de 2014, o elemento Fósforo total ganha destaque pela grande quantidade em todos os dias de amostragem durante o ano. Ferro total e Alumínio total também apresentam elevados valores, mas essencialmente no mês 12. A **figura 37** apresenta os valores de metais pesados encontrados na água em 2015:

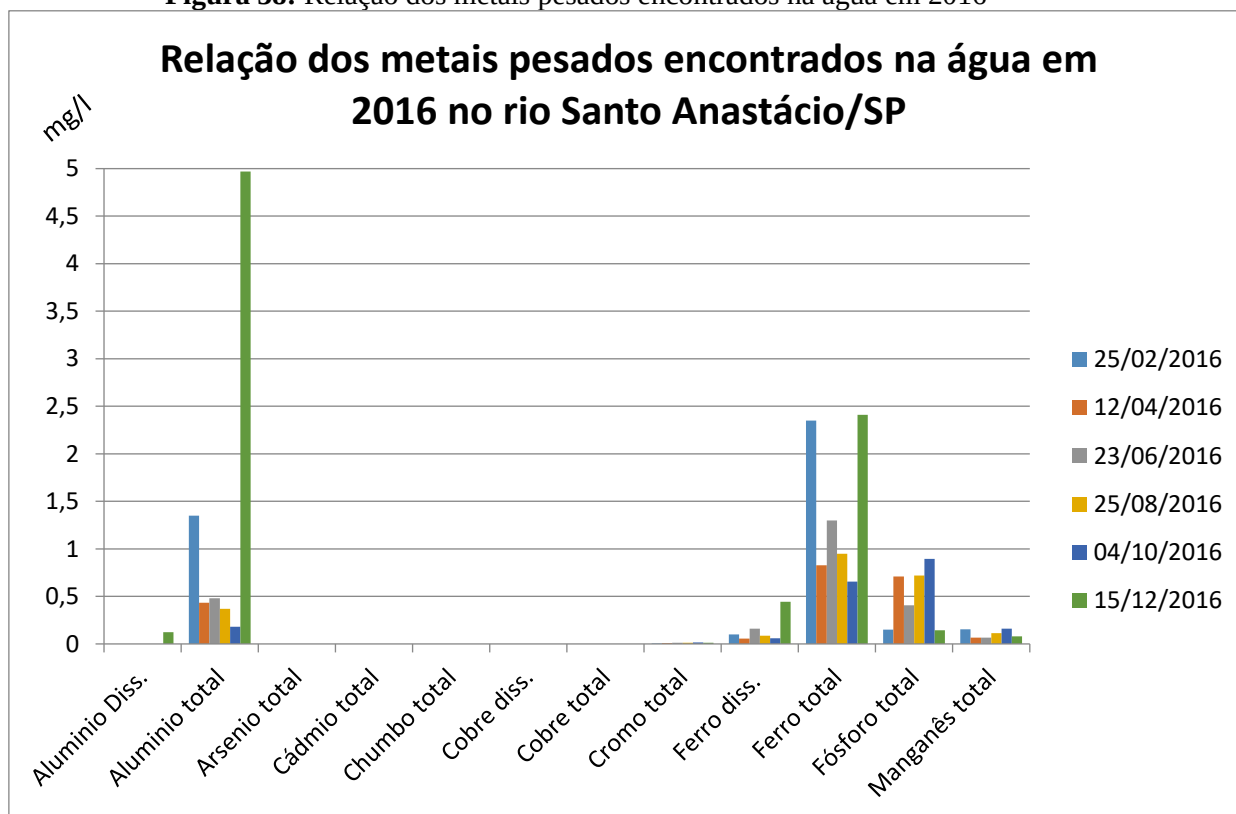
Figura 37: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2015



Fonte: CETESB, organizado pela autora.

Durante as análises de 2015, as análises de fevereiro obtiveram os maiores resultados em relação ao Ferro total e Alumínio total. O Ferro total durante todos os dias de amostragem obteve valores altos. O Fósforo total também apresentou uma quantidade significativa durante o ano, mas ainda com quantidades baixas. A **figura 38** apresenta os valores de metais pesados encontrados na água em 2016:

Figura 38: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2016



Fonte: CETESB, organizado pela autora.

As análises de 2016 alimentaram o padrão, organizando-se entre Ferro total e Alumínio total apresentando os maiores picos, onde Ferro total, Fósforo total e Alumínio total além de apresentarem as maiores quantidades de metais pesados, também permaneceram presente durante a análise anual.

A **figura 39** apresenta os valores de metais pesados encontrados na água em 2017:

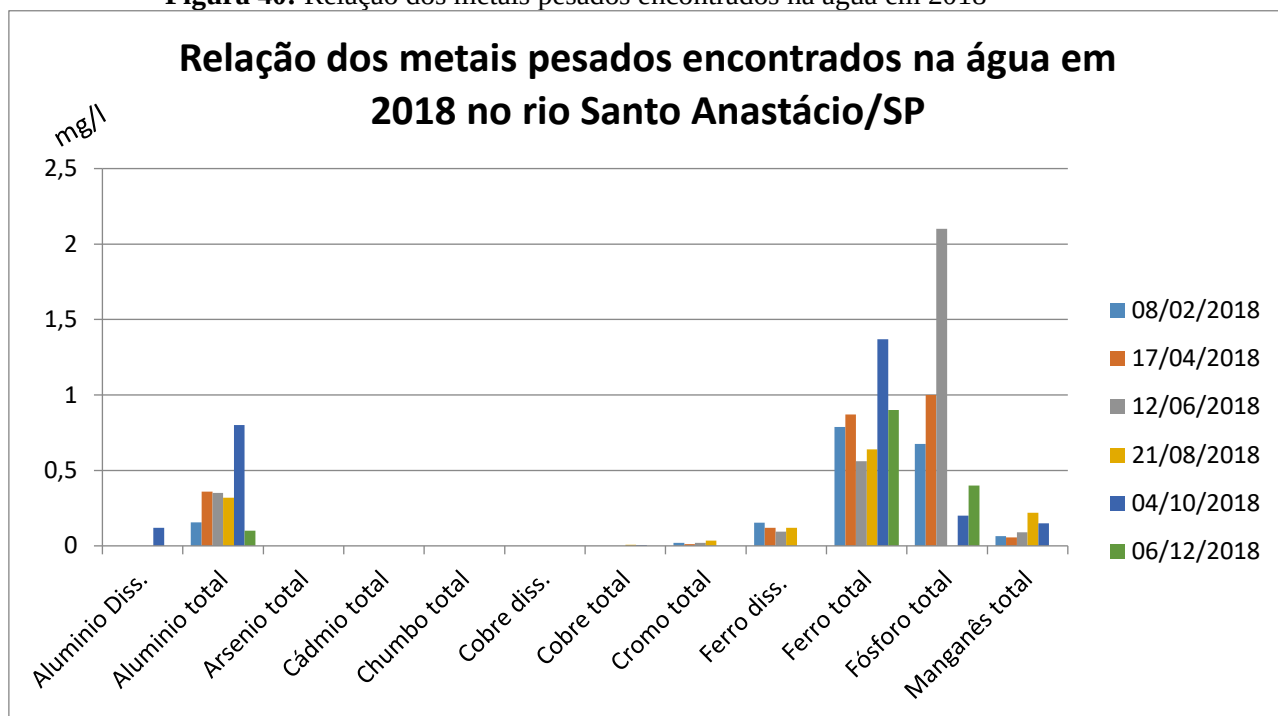
Figura 39: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2017



Fonte: CETESB, organizado pela autora.

No ano de 2017, o Manganês total apresenta pela primeira vez valores consideravelmente altos em todas as análises anual, variando de 3 a 8 mg/l. Na sequência, Alumínio total, Fósforo total e Ferro total também apresentam quantidades elevadas, principalmente na análise do mês 2. A **figura 40** apresenta os valores de metais pesados encontrados na água em 2018:

Figura 40: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2018

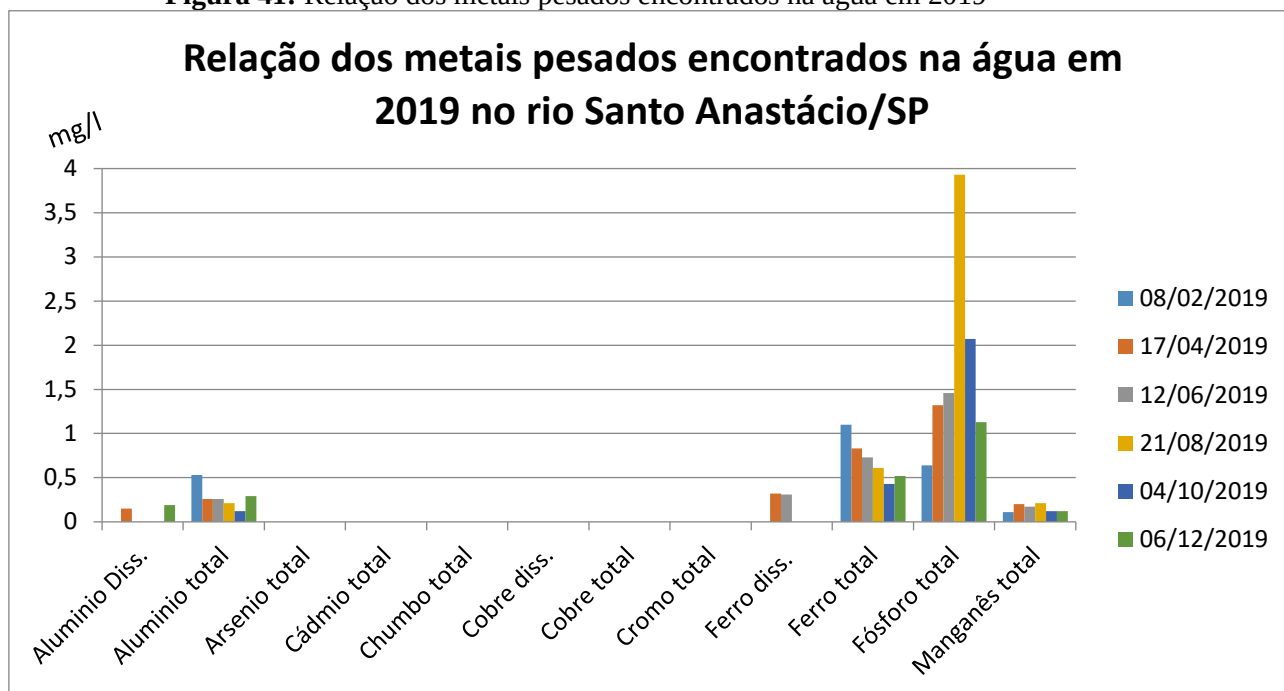


Fonte: CETESB, organizado pela autora.

Durante o ano de 2018, novamente Fósforo total, Ferro total e Alumínio total apresentam as maiores quantidades distribuídas durante o ano todo de análise, apenas o Fósforo total que não apresentou quantidade significativa no mês 8.

A **figura 41** apresenta os valores de metais pesados encontrados na água em 2019:

Figura 41: Relação dos metais pesados encontrados na água em 2019



Fonte: CETESB, organizado pela autora.

Seguindo o padrão dos últimos anos, novamente Fósforo total, Ferro total e Alumínio total destacam-se pelas elevadas quantidades de material encontrado e com certa distribuição durante o ano todo. Cabe salientar que o Fósforo total dessa vez, apresentou o maior pico do gráfico, principalmente na análise do mês 8.

Portanto, alguns padrões foram característicos na maioria dos gráficos: os elementos que possuíam maiores concentrações foram os que estavam no estado total e não no dissolvido. Secundariamente, os metais pesados que apresentaram maior quantidade expressa no gráfico, foram os que estão nas extremidades dos gráficos, ou seja, os elementos: Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre e Cromo, apresentaram pouco ou muito pouco resultados quantitativos na água, em contrapartida, Ferro total, Fósforo total e Alumínio total destacaram-se pela alta presença durante todos os anos analisados. Por fim, os períodos em que os picos foram maiores são fevereiro e dezembro em sua maioria.

Vale ressaltar que os anos de 2011 e 2012 apresentaram valores extremamente divergentes em relação aos demais anos, chegando a quase 25 mg/l cada, dessa forma, os gráficos também apresentaram essa discrepância, dificultando a visualização dos dados.

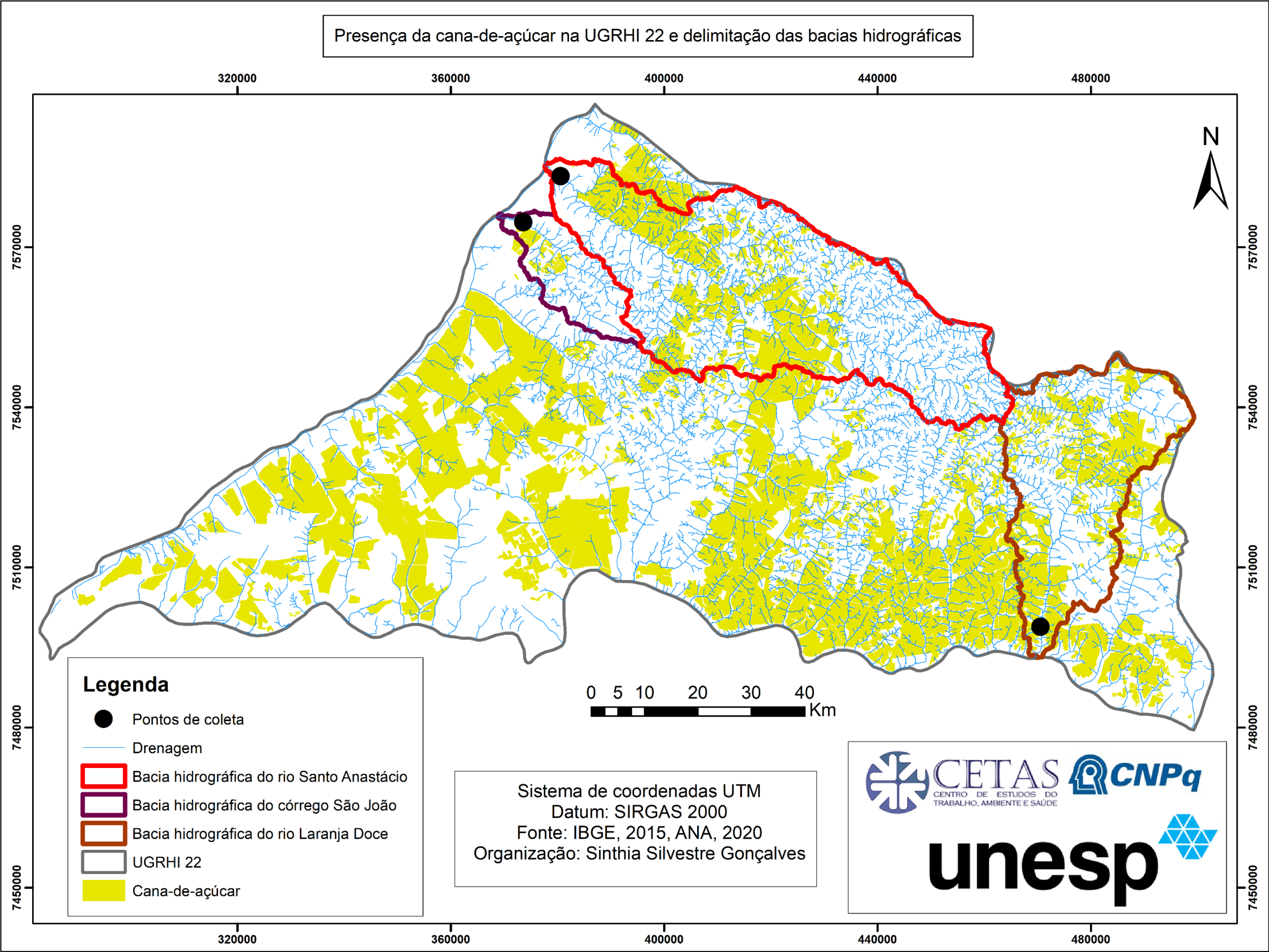
5.3 – Correlações entre os resultados, meio físico e os processos apropriativos

Para as correlações entre os resultados de metais pesados e o uso e cobertura da terra, foi dividido o estudo de sedimentos para a análise espacial e o estudo de água para a análise temporal.

Em relação aos valores encontrados de metais pesados em sedimento, será utilizada como parâmetro as análises do Ensaio 1 e Ensaio 2.

Como a área agrícola de acordo com a cobertura e uso da terra é expressiva, a partir da visualização do mapa da espacialização da cana-de-açúcar, foi possível representar a quantidade de produção canavieira em cada uma das bacias hidrográficas, além de que, servirá para relacionar tal plantio ao uso de fertilizantes que em sua maioria, possui composição com metais pesados. A **figura 42** apresenta cada um desses recortes:

Figura 42: Presença da cana-de-açúcar na UGRHI 22 e delimitação das bacias hidrográficas - 2016



Fonte: IBGE (2015), ANA (2020).

Como dito, foi dado ênfase na cana-de-açúcar por conta dos fertilizantes utilizados na sua agricultura, dessa forma, pode vir a interferir na quantidade de metais pesados encontrados, uma vez que fertilizantes e adubos possuem esses elementos em sua composição. O **quadro 18** apresenta a presença da cana-de-açúcar em cada uma dessas bacias hidrográficas:

Quadro 18: Valores de cana-de-açúcar presente em cada bacia hidrográfica em 2016

	Rio Santo Anastácio	Córrego São João	Rio Laranja Doce
Área total da bacia hidrográfica (hectares)	205178	29676,7	112446
Presença da cana-de-açúcar (hectares) - 2016	56128,7	2702	42690,5
Porcentagem da cana em relação à área	27,3%	9,1%	37,9%

Fonte: elaborado pela autora.

Denota-se a grande presença da cana-de-açúcar em todas as bacias hidrográficas, atingindo mais de 37% no rio Laranja Doce e 27% no rio Santo Anastácio. Dessa forma, a presença dos metais pesados pode estar relacionada ao plantio canavieiro, essencialmente pela sua lavoura intensamente abastecida pelos fertilizantes.

Para avaliar a presença de origem natural dos elementos, foi adotada a observação da presença das formações litológicas e pedológicas, as quais de acordo com a sua composição, apresentam algumas taxas de metais pesados naturalmente.

A partir das correlações da geologia e a pedologia, poderá observar se houve a influência naturalmente dos metais pesados no ambiente de estudo, pois como mencionado anteriormente, a relação das rochas e o solo é intrínseca, uma vez que a proveniência do material (metais pesados) no solo é originada das rochas, principalmente quando a formação do solo é diretamente sobre a rocha (OLIVEIRA, 1996).

De forma resumida, nas três bacias hidrográficas, são presentes as seguintes formações geológicas, pedológicas e litotipos que poderão influenciar a proveniência dos metais pesados encontrados (**quadro 19**).

Quadro 19: Relação de formações geológicas, pedológicas e litotipos presentes em casa bacia hidrográfica

Bacias hidrográficas	Geologia	Pedologia	Litotipos
Rio Santo Anastácio	Kc, Ka e Ksa	Argissolo Vermelho-Amarelo Latossolo Vermelho Neossolo Litólico Neossolo Flúvico Gleissolo Háptico	Arenito Arenito, Argilito Arenoso Arenito, Argilito
Córrego São João	Ka, Ksa e Kc	Argissolo Vermelho-Amarelo Latossolo Vermelho	Arenito Arenito, Argilito Arenoso
Rio Laranja Doce	Ka, Qa e Jksg.	Nitossolo Vermelho Argissolo Vermelho-Amarelo Latossolo Vermelho Gleissolo Háptico	Arenito, Argilito Arenoso Areia, Cascalho Arenito, Argilito Basalto, Dacito

Fonte: elaborado pela autora.

A partir do exposto, busca-se avaliar a possibilidade da presença de metais pesados naturais presentes no meio físico da UGRHI 22, as tabelas abaixo trazem elementos que possuem algum metal pesado na formação das rochas, como já elucidado pelos mapas e pelo quadro acima, as rochas em maiores quantidades apresentadas na região de estudo são os arenitos, de acordo com o **quadro 20**:

Quadro 20: Faixas dos teores de metais pesados encontrados nos minerais formadores das rochas

Teor (mg kg ⁻¹)			
Elemento	1-10	0,1-1,0	<0,1
Olivinas	Ni, Mn	Al, Cr, Co	Zn, V, Cu, Se
Piroxênios	Mn	Cr, V, Ni	Cu, Co, Zn, Li, Ba
Plagioclásio	----	Ba, Mn	V, Zn, Ni, Pb, Li
Anfibólio	Mn	Zn, V, Cr, Ni	Ba, Cu, Co, Pb, Li
Biotita	Ba, Mn	Zn, V, Cr, Ni	Cu, Sn, Co, Pb
Feldspato	Ba	---	Pb, V, Zn, Ni, Cu, Li
Muscovita	Fe, Ba, Li	Cr, Mn, V	Zn, Sn, Cu
Quartzo	---	---	Fe, Al, Mn, Zn

Fonte: Adaptado de BORGES (2007) apud LÓPEZ (2015).

As rochas sedimentares de acordo com o **quadro 21** apresentam valores menores de metais pesados em relação às rochas ígneas, incluindo dentro das rochas sedimentares os arenitos, os quais são presentes em maior parte da UGHRI 22. Dessa forma, o Manganês (Mn), é o metal pesado com o valor mais discrepante da tabela.

Quadro 21: Concentração de alguns metais pesados encontrados na crosta terrestre e rochas

Elementos	Crosta terrestre mg kg ⁻¹	Rochas Ígneas			Rochas Sedimentares		
		Ultramáfica	Máfica	Granítica	Carbonatos	Arenitos	Pelítica
		mg kg ⁻¹					
As	1,5	1	1,5	1,5	1	1	13
Cd	0,1	0,12	0,13	0,09	0,028	0,05	0,22
Co	20	110	35	1	0,1	0,3	19
Cr	100	2,980	200	4	11	35	90
Cu	50	42	90	13	5,5	30	39
Hg	0,05	0,004	0,01	0,08	0,16	0,29	0,18
Mn	950	1,040	1,500	400	620	460	850
Ni	80	2000	150	0,5	7	9	68
Pb	14	14	3	24	5,7	0	23
Se	0,05	0,13	0,05	0,03	0,01	0,5	-
Zn	75	58	100	52	20	30	120

Fonte: Adaptado de SOUZA (1996), SOARES (2004) e GUILHERME *et al.*, (2005) apud LÓPEZ (2015).

Através da observação dos dois últimos quadros, o arenito que é presente em todas as formações geológicas em grande quantidade, possui alguns valores altos em relação aos metais pesados, principalmente no Manganês (460 mg.kg⁻¹). O Zinco, Cromo e Cobre também apresentam valores consideráveis (29 a 30 mg.kg⁻¹). O restante dos metais pesados apresenta valores baixos em sua condição natural.

O **quadro 22** apresenta os valores de metais pesados encontrados em sedimentos para gerar a comparação:

Quadro 22: Metais pesados encontrados nos sedimentos – Ensaio 1 e 2

Metal Pesado	Rio Laranja Doce CETESB	Rio Santo Anastácio	Córrego São João	Rio Laranja Doce	Arenitos	Rochas ígneas Máficas
ALUMÍNIO (mg/kg)	74079					
ARSÊNIO (mg/kg)	5.53				1	1,5
CÁDMIO (mg/kg)	< 0.5				0,05	0,13
CHUMBO (mg/kg)	19.6	7,27671	2,08955	25,31898	0	3

COBRE (mg/kg)	21.3	4,48565	4,97512	255,48246	30	90
CRÔMO (mg/kg)	140	8,07416	18,50746	50,4386	35	200
ESCÂNDIO (mg/kg)	9.25					
FERRO (mg/kg)	41190					
MANGANÊS (mg/kg)	479				460	1,500
MERCÚRIO (mg/kg)	0.06				0,29	0,01
NÍQUEL (mg/kg)	29.3					
ZINCO (mg/kg)	48.1	5,88118	22,68657	38,57656	30	100

Fonte: CETESB (2019) Adaptado de SOUZA (1996), SOARES (2004) e GUILHERME *et al.*, (2005) apud LÓPEZ (2015)

Em relação aos resultados obtidos e comparados aos valores de metais pesados naturais dos arenitos, Chumbo é destoante no Laranja Doce e no Santo Anastácio. Cobre no Laranja Doce apenas. Cromo e Zinco só no Laranja Doce, mas a variação não é significativa.

Os metais pesados destacados por esse volume superior são: Arsênio, Cádmio em pequena quantidade, Chumbo demasiadamente, pois sua condição natural é 0 mg.kg⁻¹, o Cobre apenas no Rio Laranja Doce em um salto quantitativo, o Cromo no Rio Laranja Doce novamente, em ambas as análises o Zinco.

Além disso, a bacia hidrográfica do rio Laranja Doce também possui rochas magmáticas extrusiva e seus valores excedem a composição natural nos metais de Crômio, Cobre e Zinco em quantidades exacerbadas nos três elementos.

Portanto, diversos metais pesados foram encontrados em uma condição acima de sua quantidade original do ambiente. Mas, nestes sedimentos a variação de maior destaque se concentra no Chumbo e Cobre. Sendo Chumbo o mais discrepante e Cobre no Laranja Doce, demonstrando que provavelmente há proveniência de outras fontes desses elementos nas bacias hidrográficas de análise.

Para a correlação dos resultados dos metais pesados encontrados na água, os parâmetros para a correlação será a presença da cana-de-açúcar, a chuva e a quantidade de metais pesados encontrados.

O valor de precipitação adquirido pelo site do INMET foi exatamente a soma das coletas diárias dos dias respectivos aos da análise química da CETESB. O **quadro 23** traz os resultados da precipitação ao longo dos 10 anos:

Quadro 23: Valores de precipitação de 2010 a 2019 em Presidente Prudente-SP

Precipitação ao longo de 10 anos obtido da estação meteorológica de Presidente Prudente (valores em milímetros)					
03/02/2010	07/04/2010	23/06/2010	18/08/2010	20/10/2010	15/12/2010
0	0	0	-	0	0.6
15/02/2011	06/04/2011	14/06/2011	23/08/2011	25/10/2011	06/12/2011
4.4	0	0	0	14.4	8.8
23/02/2012	17/04/2012	26/06/2012	07/08/2012	09/10/2012	06/12/2012
3	0	0	0	0	4
21/02/2013	16/04/2013	25/06/2013	27/08/2013	08/10/2013	05/12/2013
10.4	0	0	3.4	0	0
20/02/2014	08/04/2014	24/06/2014	26/08/2014	14/10/2014	10/12/2014
0	0	0	0	0	2.4
26/02/2015	07/04/2015	23/06/2015	25/08/2015	14/10/2015	15/12/2015
13.4	0	0	0.6	0	0
25/02/2016	12/04/2016	23/06/2016	25/08/2016	04/10/2016	15/12/2016
2.6	0	-	0	0.8	0
01/02/2017	27/04/2017	20/06/2017	22/08/2017	05/10/2017	12/12/2017
0.6	0.2	0	1	0	0
08/02/2018	17/04/2018	12/06/2018	21/08/2018	04/10/2018	06/12/2018
0	0	2.6	0	0	0
08/02/2019	17/04/2019	12/06/2019	21/08/2019	04/10/2019	06/12/2019
0	0	0	0	0.2	0

Fonte: INMET

A precipitação ao longo dos anos em todos os dias de coleta não obteve valores consideráveis de chuva, atingindo seu ápice no dia 25/10/2011 com 14,4 mm.

Como analisado anteriormente, os valores de metais pesados encontrados na água foram maiores nos meses de fevereiro e dezembro, ao comparar com os valores de precipitação de fevereiro e dezembro, também houve nessas datas grandes índices pluviométricos ao longo de todos os anos quando somados as precipitações. Dessa forma, supõe-se que a quantidade de chuva não interferiu na quantidade encontrada de metais pesados, uma vez que o tempo de residência de metal pesado na água é menor no período de cheias.

A análise de sedimento forneceu um suporte para a análise de água, pois além de abarcarem a mesma bacia hidrográfica para os dois tipos de análise, a geológica e pedológica vale para ambos os estudos.

Para a análise da presença da cana-de-açúcar, é importante considerar a evolução da ocupação do plantio ao longo dos 10 anos, o **quadro 24** apresenta esses dados:

Quadro 24: Valores da cana-de-açúcar presente na bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio de acordo com os municípios ao longo dos anos 2010 a 2019

Presença da cana-de-açúcar ao longo de 10 anos nos municípios que abrangem o Rio Santo Anastácio (em hectares)									
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
80.198,70	85.302,90	94.301,96	101.380,90	114.452,05	119.564,86	118.138,81	119.654,47	119.802,55	123.787,72

Fonte: Mapbiomas, elaborado pela autora.

O aumento da cana-de-açúcar na área foi cerca de 40% ao longo dos 10 anos de análise, quando comparado com os gráficos dos metais pesados encontrado ao longo dos anos, é possível observar que a quantidade de metal pesado não aumentou simultaneamente, mas concentrando-se apenas nos elementos: Alumínio, Fósforo e Ferro.

A análise de sedimento dos dois ensaios apresentou alterações em relação à quantificação de metais pesados além da origem natural quando comparado com a composição de elementos pertencentes ao arenito e rocha magmática extrusiva no rio Laranja Doce. Além disso, o estudo do sedimento enquanto parâmetro forneceu dados quantitativos superiores aos de água, principalmente por sua composição química e capacidade de adsorção de elementos existentes no ambiente em que está situado, isso demonstra a eficiência do sedimento para este tipo de estudo.

A água por outro lado, possui um tempo de residência menor que o sedimento, principalmente pelos condicionantes do corpo d'água, como a precipitação, a vazão, o escoamento, entre outros. Dessa forma, a permanência do metal pesado na água é menor por conta desses processos, além disso, o metal pesado tem maior facilidade de fixação em elementos sólidos, como em algas, microrganismos e sedimentos. Contudo, sua permanência em vidas aquáticas permite a origem da bioacumulação, quando este elemento segue passando pela cadeia alimentar dos seres vivos pertencentes àquele meio.

Contudo, a análise de água também apresentou dados significativos de metais pesados encontrados no Rio Santo Anastácio. Os elementos Fósforo, Ferro e Alumínio foram os mais presentes ao longo dos anos avaliados.

Os metais pesados são encontrados naturalmente na superfície terrestre e chegam aos rios pelo intemperismo químico de rochas que possuem esses minerais em sua composição, mas vale ressaltar que principalmente o fosfato é associado a fertilizantes, fazendo parte de sua composição (USEPA, 2010).

Para correlacionar os valores encontrados de sedimento aos valores de referência pelo CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente será utilizado a Resolução nº 454/2012, a qual aborda materiais dragados expressa no **quadro 25**, pois o Brasil não dispõe de uma resolução específica a sedimentos.

Quadro 25: Valores orientados para materiais dragados – Resolução nº 454 CONAMA 2012

Metais	CONAMA 454 Nível 1	CONAMA 454 Nível 2	Valores encontrados Ensaio 1			Valores encontrados Ensaio 2
Mg/kg			P1	P2	P3	
Al	-	-	-	-	-	74079
As	5,9	17	-	-	-	5,53
Cd	0,6	3,5	6,192	7,035	1,103	<0,5
Cr	37,3	90	8,07416	18,50746	50,4386	140
Cu	35,7	197	4,48565	4,97512	255,48246	21,3
Fe	-	-	-	-	-	41190
Hg	0,17	0,486	-	-	-	0,06
Mn	-	-	-	-	-	479
Ni	18	35,9	-	-	-	29,3
Pb	35	91,3	7,27671	2,08955	25,31898	19,6
Zn	123	315	5,88118	22,68657	38,57656	48,1
Se	-	-	-	-	-	-

Fonte: adaptado de CONAMA (2012)

A diferenciação entre o Nível 1 e Nível 2 diz respeito ao: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota e limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota, respectivamente.

Comparando com os ensaios, o Ensaio 2, apresenta o Cromo com valores superiores aos referenciados pelo CONAMA em nível 1 e 2 e o Níquel apenas no nível 1. O Ensaio 1, apenas o Rio Laranja Doce (P3) apresentou sedimentos com metais pesados em valores acima, sendo o Cromo com o nível 1 e o Cobre com nível 1 e 2.

Para comparar aos valores de referência do CONAMA para água doce, será utilizada a Resolução nº 357/2005, rios de classe 2.

A classificação dos rios é um dos instrumentos para o planejamento das águas baseado na finalidade dos corpos hídricos de acordo com os interesses ambientais, sociais e econômicos (ANA, 2013)

Portanto, o rio Santo Anastácio enquadrado na Classe 2 dessa forma,

classe 2: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) a proteção das comunidades aquáticas; c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) a aquicultura e a atividade de pesca (Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005).

Abaixo, os valores de metais pesados orientados pelo CONAMA apresentado pelo **quadro 26:**

Quadro 26: Valores orientados para água doce – Resolução nº 357 CONAMA 2005

TABELA III - CLASSE 2 - ÁGUAS DOCES	
	PARÂMETROS VALOR MÁXIMO
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L Al
Arsênio total	0,01 mg/L As
Cádmio total	0,001 mg/L Cd
Chumbo total	0,01 mg/L Pb
Cobre dissolvido	0,009 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	5,0 mg/L Fe
Fósforo total	0,1 mg/L P
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Mercurio total	0,0002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Selênio total	0,01 mg/L Se
Zinco total	0,18 mg/L Zn

Fonte: CONAMA (2005)

Como foram várias análises durante o ano e por um intervalo de 10 anos, a visualização por tabelas não seria favorável. Porém, a partir da análise das tabelas citadas no item 5.2.3, os elementos que apresentaram valores superiores de metais pesados referenciados pelo CONAMA foram o Alumínio e o Fósforo de forma considerável.

Portanto, a partir das análises feitas de metais pesados no sedimento e na água, foram identificados em ambos os estudos, valores superiores ao referenciado pelo

CONAMA e também à quantidade de origem natural de acordo com os elementos naturais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vale considerar que esta pesquisa foi realizada entre os anos de 2019 a 2021, dessa forma, foi atingida diretamente pela pandemia do COVID-19, inibindo a realização de trabalhos de campo e análises laboratoriais, fugindo da expectativa inicial da proposta, pois o objetivo era de que fossem realizadas 4 coletas sazonais em 2019 e 2020, respeitando o intervalo de verão e inverno, a partir dos 4 pontos amostrais do Ensaio 1, concluindo a análise química no laboratório do primeiro ensaio.

Após as análises do meio físico, uso e cobertura, é possível afirmar com clareza a incessante ação antrópica na UGRHI 22, principalmente pela quase inexistência da cobertura nativa e a densa atividade agrícola e de pastagem na região.

A geologia, pedologia e os litotipos identificados nas bacias hidrográficas apresentam majoritariamente uma formação em que a sua composição natural pouco possui metais pesados, sendo a maior incidência nos basaltos do Grupo Serra Geral, mas ainda em quantidade mínima.

A cana-de-açúcar enquanto a atividade com a maior crescente no estado de São Paulo, se apresenta espacializada por toda UGRHI 22, dessa forma, subentende-se que na localidade do plantio, há também o uso de insumos agrícolas como fertilizantes. Portanto, de forma indireta, assim como a monocultura, o meio natural também é alvo de contaminantes.

A partir da análise de metais pesados em sedimentos e água, foi possível quantificar as concentrações encontradas em cada uma das análises, onde determinados pontos de coleta os valores foram bem superior ao esperado, assim como o estudo temporal da água, em que determinado período do ano os teores saltaram.

Elementos como cobre, alumínio e ferro na análise de sedimentos e ferro, alumínio e fósforo na análise de água, foram os metais pesados com maiores valores nas análises.

As correlações entre o meio físico e os resultados das análises de sedimento, elucidaram que a quantidade de metais pesados encontrados possui provavelmente uma proveniência antrópica, uma vez que as formações geológicas e pedológicas não

apresentam valores consideráveis desses elementos em sua composição a ponto de intensificarem os resultados que foram expostos de metais.

Além disso, é fato que o uso intensivo de agrotóxicos é nocivo ao meio ambiente pela alta quantidade de substâncias químicas, logo, a presença da cana-de-açúcar, assim como métodos de correção e a utilização de fertilizantes pode culminar na contaminação dos ambientes.

Fertilizantes possuem em sua composição uma grande quantidade de metais pesados, dessa forma, os valores exacerbados encontrados de metais pesados, podem estar relacionados ao plantio canavieiro.

No entanto, existe a possibilidade de outras fontes de metais pesados em teores significativos, como a indústria, resíduos urbanos, chorume, os quais podem afetar em conjunto ou separadamente as concentrações desses elementos nos corpos hídricos.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. A., STEIN, D. P., MELO, M. S., BISTRICHI, C. A., PONÇANO, W. L., HASUI, Y. & ALMEIDA, F. F. M. **Geologia do Oeste Paulista e Áreas Fronteiriças dos Estados de Mato Grosso do Sul e Paraná**. In: Congresso Brasileiro De Geologia, XXXI, Anais. Balneário de Camboriú, Santa Catarina, v. 5, p. 2799-2812. 1980.
- AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M. **Bacias Hidrográficas: fundamentos e aplicações**, (orgs). 2 ed. – Tupã: ANAP, 2019.
- ANA. Agência Nacional das Águas. Cadernos de capacitação em recursos hídricos; v5: **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. Brasília: 2013. 68p.
- ARIAS, A. R. L; BUS, D.F; ALBURQUERQUE, C; INÁCIO, A.L; FREIRE, M.M; EGLER, M; MUGNAI, R; BAPTISTA, D.F. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, p. 61-72, 2007.
- BASCONES, M. I. S. **Determinación de metales pesados en suelos de Mediana del Campo** (Vallodolid): contenidos extraíbles, de fondo y de referencia. Tesis de Doutorado. Universidad de Vallodolid. Vallodolid, Espanha, 2003. 242 p.
- BELTRAME, T. F.; LHAMBY, A. R.; BELTRAME, A. **Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Santa Maria, v. 20, n. 1, jan.-abr. 2016, p. 351–362.
- BELWARD, A. S.; SKOIEN, J. O. **Who launched what, when and why; trends in global land-coverobservation capacity from civilian earth observation satellites**. ISPRS J Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 103, p. 115-128, maio 2015
- BIGARELLA, J. J. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. v3. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003. p. 877 – 1436.
- BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2000. 264 f.
- BORGES, R. C. **Aplicação de resíduo URA na remediação química de solos contaminados por Cd, Pb e Zn**. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do

Solo). Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. 99 p.

BRACKEN, L. J.; CROKE, J. **The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems.** Hydrol.

BRASIL. Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acessado em: mar. 2018

CAMPOS, M. L., MARCHI, G. **Elementos traços em solos e sistemas aquáticos. Tópicos em Ciências do Solo**, In: Tópicos em ciências do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2005. p. 345-390

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas.** Brasília: ANEEL. 2000. 154 p.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia.** Goiânia: Editora da UFG, 2001. 137 p.

CETAS. **Centro de Estudos do Trabalho, Ambiente e Saúde**; Relatório de Projeto Temático, FAPESP, 2017.

CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** São Paulo: Edgar Blucher, 1981. 313 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Ave Maria, 1974. 188 p.

CTPI – COOPERATIVA DE SERVIÇOS, PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos da UGRHI – 22. Pontal do Paranapanema:** Relatório Zero. São Paulo: CPTI, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.** Relatórios Final e Preliminar. São Paulo, 1999. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 24/04/2019.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Águas da CETESB.** São Paulo, 1988. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 20/10/2020.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Qualidade das Águas Interiores do Estado de São**

Paulo. São Paulo, 2019. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 07/10/2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Variáveis de qualidade de água.** São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#transparencia>>. Acesso em: 25 de abril de 2020.

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 454 de 1 de novembro de 2012.

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005.

CTPI – COOPERATIVA DE SERVIÇOS, PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos da UGRHI – 22. Pontal do Paranapanema:** Relatório Zero. São Paulo: CPTI, 1999. Disponível em: <<http://cbhpp.org/publicacoes-2/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2020.

CUNHA, S. B. A.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil.** Editora Bertrand, Rio de Janeiro. 2001. 390 p.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética.** BNDES Setorial, n. 24, 2006. p. 97-138

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos: estudo aplicado à bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio/SP.** Presidente Prudente. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013.

DORNFELD, C. B. **Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP).** Tese (Doutorado) - Departamento de Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), USP, São Paulo. 2002

ERNESTO, M.; BATEZELLI, A.; SAAD, A.R.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; FULFARO, V.J. **Início da sedimentação suprabasáltica na Bacia do Paraná:** paleomagnetismo do Grupo Caiuá (oeste de São Paulo e noroeste do Paraná). In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7, 2006, Serra Negra. Boletim Serra Negra: Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2006, p. 48

FERNANDES, M. R.; SILVA, J. C. **Programa estadual de manejo de sub-bacias hidrográficas: fundamentos e estratégias**. Belo Horizonte: Emater, 1994.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da bacia Bauru** (Ks, Brasil). Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

FLORENZANO, T. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FÖRSTNER, U. **Accumulative phases for heavy metals in limnic sediments**. Hydrobiology, v. 91, p. 269-284, 1984.

FRANÇOZO, M. O.; RESSEL, K.; OLIVEIRA, T. M. N. **Análise da presença de metais pesados e sua toxicidade nos sedimentos do Rio Cachoeira - Joinville/SC**. In: IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2014, Porto Alegre, RS. Anais do Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, 2014. v. IX. p. 1-15.

FRYIRS, K.A. **(Dis)connectivity in catchment sediment cascades**: a fresh look at the sediment delivery problem. Earth Surf. Process. Landf. 2013. 38, 30–46.

FULFARO, V.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; PERINOTTO, J.A.J.; SAAD, A.R. **Santo Anastácio: um geossolo cretácico na Bacia Caiuá**. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, 1999, Serra Negra. Boletim Serra Negra: Universidade Estadual Paulista, 1999, p. 125-130

GARCIA, R. M.; TROMBETA, L. R.; NUNES, R. S.; GOUVEIA, I. C. M. C.; LEAL, A. C. **Mapeamento Geomorfológico da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil**. Anais do IV Workshop Internacional sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas. Presidente Prudente: UNESP/FCT. 2013. 1501- 1514 p.

GONÇALVES, C. S. **Caracterização de sedimentos e de contaminantes numa microbacia hidrográfica antropizada**. Santa Maria-RS. 2007.

GUERRA, A. J. T. **Processos Erosivos nas Encostas**. Cap. 4. GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1995. 472 p.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446 p.

GUILHERME, L. R. G., MARQUES, J. J., PIERANGELI, M. A. P., ZULIANE, D. Q., HOAG, L. S. A. **Reuso de água em hospitais: o caso do hospital “SANTA CASA DE MISERICÓRDIA DE ITAJUBÁ”**. Dissertação. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia. Universidade Federal de Engenharia de Itajubá). Itajubá. 2005.

HOOKE, J. M. **Coarse sediment connectivity in river channel systems**: a conceptual framework and methodology. *Geomorphology*. 2003. 56, 79–94 p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 23/04/2019.

KASASSI, A., RAKIMBEI, P., KARAGIANNIDIS, A., ZABANIOTOU, A., TSIOUVARAS, K., NASTIS, A., TZAFEIROPOULOU, K. **Soil contamination by heavy metals**: Measurements from a closed unlined landfill. *Bioresource Technology*, 99, 8578–8584, 2008.

LEAL, A.C. **Gestão das Águas no Pontal do Paranapanema - São Paulo**. Campinas, 2000. Tese (Doutorado em Geociências) – IG/UNICAMP. 299p.

LEITE, J. F. **A ocupação do Pontal do Paranapanema**. São Paulo: Hucitec, Fundação UNESP, 1998, 202 p.

LOLLO, J. A.; NEVES, M. P.; ARANTES, L. T.; LIMA, C. G. R.; LORANDI, R. **Mudanças de uso e cobertura da terra e degradação ambiental em bacias hidrográficas**. Em: *Bacias Hidrográficas: fundamentos e aplicações*. 2aed. Tupã (SP). Editora ANAP. 2019.v. 1, p. 17-42.

LOPÉZ, Y, P. **Metais pesados em solos representativos das principais regiões agrícolas de Cuba: valores de referência, geoquímica e fatores de variabilidade** Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2015. 135 p.

LOUREIRO, D.; FERNANDEZ, M.; HERMS, F.; ARAÚJO, C.; LACERDA, L. D. **Distribuição dos metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas.** Oecologia Australis. p. 353-364. 2012.

MARCOS, V. **Trabalho de Campo em Geografia: Reflexões sobre uma Experiência de Pesquisa Participante.** IN: Boletim Paulista de Geografia. São Paulo: AGB, n. 84, p. 105 – 136, 2006. Disponível em: < www.agbsaopaulo.org.br/ >. Acesso em: 7 de abril 2020.

MESQUITA, G. M. **Metodologias de preparo de amostras e quantificação de metais pesados em sedimentos do Ribeirão Samabaia, Catalão-GO, empregando Espectrometria de Absorção Atômica.** Catalão: Universidade Federal de Goiás, 2014.

NOVACANA. **Exportação brasileira de etanol em 2020 ultrapassa marca de 500 milhões de litros.** Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/exportacao/exportacao-brasileira-etanol-2020-ultrapassa-marca-500-milhoes-litros-080620> Acesso em: 28 de maio de 2021.

OLIVEIRA, T. S. **Metais pesados como indicadores de materias de origem de solos.** Tese (Doutorado em fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996. 128 p.

PÉREZ, Y. L. **Metais pesados em solos representativos das principais regiões agrícolas de Cuba: valores de referência, geoquímica e fatores de variabilidade.** Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015. 119 p.

PIRES, A. C. D. **Interação dos metais Zn^{+2} e Pb^{+2} com os constituintes orgânicos e minerais de solos de Curitiba, PR,** Universidade Federal do Paraná, Curitiba, (Dissertação Mestrado). 2004. 82 p.

PONCANO, W. L. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** IPT: São Paulo. 1981. 94 p.

RADAMBRASIL: Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, (Levantamento de Recursos Naturais, 23), pp. 708-713.

ROCHA, P. C. **Variação espaço-temporal dos sedimentos do leito em canais da planície fluvial do alto rio Paraná, Centro-Sul do Brasil.** Anais do VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2010.

ROCHA, P. C.; SANTOS, C. R.; SANTOS, A. A. **A expansão da atividade canavieira e interações com a rede hidrográfico na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil.** In: IX Seminário Latino-Americano e V Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, 2017.

ROCHA, P.C. **Índices de apropriação do relevo e do solo em bacias hidrográficas:**
ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil.** São Paulo: Edusp, 1996. 546 p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento.** São Paulo: Contexto, 2014. 158 p.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo:** revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. V.1. 118p

SANT'ANNA NETO J. L., TOMMASELLI, J. T. G. **Tempo e o clima de Presidente Prudente.** FCT-UNESP, Presidente Prudente, 2009.

SANTOS, D. S. **Metais pesados em áreas agrícolas e Cerrado nativo no Oeste da Bahia.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. 2019.

SIGRH. **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.** 2017. Disponível em <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhpp/apresentacao>> Acesso em 15/10/2017.

SILVA, L. B. C. **Avaliação espaço-temporal de metais pesados no rio paraíba do sul e rio imbé por meio de plantas de eichhornia crassipes (mart.) solms (aguapé), séston e sedimento.** Tese (Doutorado em Ecologia). UENF/Ecologia e recursos naturais. 2008. 116 p.

SOARES, M. R. **Coeficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo.** Piracicaba. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2004. 202 p.

SOUZA, M. L. P.; ANDREOLI, C. V.; AMARAL, M. B. **Levantamento preliminar dos teores de metais pesados em alguns solos do Paraná.** Revista Sanare, Curitiba, v.5, n.5, 1996. p. 68-75

STEVAUX, J. C. LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 336 p.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo-SP: Edgard Blücher. 1973. 317 p.

SUGUIO, K. **Rochas Sedimentares.** São Paulo: Editora Edgar Blucher, 1980. 500 p.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar.** São Paulo: Editora Blucher, 2003. 400 p.

THOMAZ JUNIOR, A. **O agrohídronegócio no centro das disputas territoriais e de classe no Brasil do século XXI.** Revista Campo-Território: revista de geografia agrária, v.5, n.10, p. 92-122, 2010.

TSUTIYA, M. T. **Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos.** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

USEPA (2010). **Monitoring & Assessment – Phosphorus.** Disponível em: <http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms56.cfm>, acesso em 10 de abril de 2021.

8 ANEXOS

Anexo 1

Metodologia utilizada pela CETESB para a análise de metais pesados em sedimentos e água.

Por ser uma matriz estável, a frequência de amostragem de sedimento é anual, ou em intervalos maiores. A amostragem é realizada no período de estiagem (abril a setembro), evitando períodos de maiores precipitações pluviométricas e de estratificação térmica. Em cada ponto são coletadas três réplicas (R1, R2 e R3), com um deslocamento de aproximadamente 250m entre cada uma delas, ao longo do eixo longitudinal de maior profundidade, em reservatórios e em 3 margens deposicionais em rios. Dependendo da variável a ser analisada as amostras de sedimentos podem ter natureza simples, em 3 réplicas separadas ou em 3 réplicas compostas:

- Simples (só em R1, sem deslocamento, com as pegadas necessárias para o preenchimento dos frascos): microbiológicos, pH e Potencial Redox em sedimento, uma vez que se espera pouca variação no ponto de coleta e a manipulação das réplicas pode interferir nos resultados dessas variáveis.

- Réplicas (R1, R2 e R3, mantidas separadas): granulometria, sólidos – total, fixo e volátil, umidade e, quando prevista, a avaliação da comunidade bentônica. Essas variáveis possuem heterogeneidade espacial, descrita pelo cálculo do desvio padrão.

- Composta (R1, R2 e R3, misturando-se homogeneamente volumes iguais de coletas em cada um destes locais para posterior preenchimento dos frascos): contaminantes, nutrientes, toxicologia, ecotoxicologia, granulometria, sólidos e umidade.

Essa estratégia de coleta normalmente está associada a limitações de análise nos laboratórios e seus resultados podem ser interpretados como uma média encontrada naquele local.

As amostras de sedimento para as determinações analíticas e de ecotoxicidade foram coletadas na margem deposicional de rios e na zona profunda de reservatórios com pegador do tipo van Veen. Foram tomadas amostras em triplicatas, compostas a partir de volumes iguais de cada réplica, em campo. Nos reservatórios foram considerados apenas os 6 cm superiores da coluna de sedimento. As determinações foram realizadas na porção aquosa dos sedimentos coletados, por congelamento seguido por filtração e procedimentos específicos para metais e

nutrientes. Para os metais pesados foi utilizado a espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio – ICP/OES, após digestão ácida (Métodos USEPA 3051A e 6010C).