

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ (UEM)
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES (CCH)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA (PGE)
CURSO DE MESTRADO

FÁBIO DE OLIVEIRA GIACOMINI

ANÁLISE AMBIENTAL DA BACIA DO RIBEIRÃO PARACATU -PR: USO DE
GEOINDICADORES E DO MODELO PEIR

Maringá
2023

FÁBIO DE OLIVEIRA GIACOMINI

ANÁLISE AMBIENTAL DA BACIA DO RIBEIRÃO PARACATU -PR:
USO DE GEOINDICADORES E DO MODELO PEIR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de concentração Análise Ambiental, do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marta Luzia de Souza

Maringá
2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

G429a

Giacomini, Fábio de Oliveira de

Análise ambiental da bacia do ribeirão Paracatu - Pr : uso de geoindicadores e do modelo Peir / Fábio de Oliveira de Giacomini. -- Maringá, PR, 2023.
132 f.: il. color., figs., tabs., maps.

Orientadora: Profa. Dra. Marta Luzia de Souza.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2023.

1. Feições erosivas - Bacia do Rio Paracatu (PR). 2. Análise ambiental - Geoindicadores. 3. Degradação ambiental. 4. Assoreamento. I. Souza, Marta Luzia de, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 23.ed. 918.162

Rosana de Souza Costa de Oliveira - 9/1366

ANÁLISE AMBIENTAL DA BACIA DO RIBEIRÃO PARACATÚ-PR: USO DE
GEOINDICADORES E DO MODELO PEIR

Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

Aprovada em 28 de março de 2023.

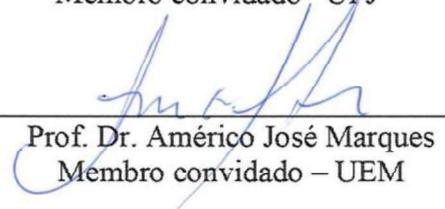
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr.ª Marta Luzia de Souza
Orientadora - UEM



Prof. Dr. Pedro França Junior
Membro convidado - UFJ



Prof. Dr. Américo José Marques
Membro convidado - UEM

AGRADECIMENTOS

Cursar o mestrado foi um grande desafio, talvez o maior desafio de cunho intelectual já vivenciado por mim. Durante o seu decorrer passei por momentos de inseguranças, angústias e ansiedade. Mesmo diante das adversidades elucidadas, o percurso que trilhei foi o da resiliência, este caminho me trouxe momentos imensuráveis de felicidade e orgulho dos aprendizados adquiridos. Hoje, vejo que cada degrau inerente ao mestrado representou “evolução” na pessoa que me tornei.

Agradeço a essa conquista, primeiramente, a Deus, por ter me guiado e me dado forças e sabedoria durante minha existência e, no mestrado.

Agradeço aos meus familiares por terem me ensinado a ser íntegro e correr atrás dos meus dos meus sonhos, em especial agradeço o meu pai João, minha mãe Maria Sibebe, minha avó Maria e meu avô Felício. Hoje vocês se encontram num plano superior a este, e tenho certeza de que continuam a olhar por mim ao lado do criador.

Agradeço ao meu irmão Fabiano, que me acompanhou durante as etapas em campo da pesquisa, e, diga-se de passagem, foi resiliente ao enfrentar os locais de difícil acesso. Agradeço também o meu irmão Fernando, por ter me ajudado indiretamente durante a graduação em Geografia.

Agradeço a Prof^ª Dr^ª Marta Luzia de Souza, pelas orientações, por ter sido presente em todas as etapas do mestrado, por me corrigir e mostrar o caminho mais adequado, bem como pelo êxito da pesquisa, pois foi um trabalho em conjunto. Aos professores da banca de qualificação e de defesa do mestrado, Prof Dr^º Pedro França Junior e Prof Dr^º Américo José Marques.

Aos meus amigos de Pós-Graduação, Itamar Satelis, Diemison Alencar e Renan Santos pelas contribuições e incentivos para cursar o mestrado. Faço menção também a meu amigo Liniquer Santorine pelo apoio durante as checagens *in loco*. Sou grato a todos!

Acredito que o momento seja oportuno para agradecer a todos os professores que passaram por minha vida, vocês são grandes inspirações!

Finalmente, agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo auxílio financeiro, ao grupo de pesquisa GEMA/UEM (Grupo de Estudos Multidisciplinar do Ambiente/Universidade Estadual de Maringá) ao qual fiz parte e aos professores e demais funcionários do PGE (Programa de Pós-Graduação em Geografia - UEM).

RESUMO

Os geoindicadores definem-se como processos ou fenômenos geológicos e geomorfológicos que atuam na superfície litosférica num intervalo máximo de tempo de até 100 anos. Sua proposição em pesquisas de cunho ambiental possibilita inferir as mudanças nos atributos físicos da paisagem decorrentes das dinâmicas naturais da Terra e de fatores antropogênicos ou mistos. Destarte, o objetivo cerne da pesquisa pautou-se na análise das alterações ambientais ocorridas nos últimos 38 anos na bacia do ribeirão Paracatu, o qual drena parcialmente os municípios de Nova Esperança, Presidente Castelo Branco e Atalaia, situados no Norte Central do Paraná. Os geoindicadores/indicadores selecionados na pesquisa foram sistematizados no modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR). Os indicadores que compuseram o compartimento “pressão” do PEIR foram: a historicização/caracterização socioeconômica da bacia e os usos e ocupação multitemporal da terra (1984, 1997, 2010 e 2022). Os geoindicadores de “estado” referiram-se a morfologia do relevo incluindo a das drenagens em conjunto com a morfologia das vertentes – altitudes (classes hipsométricas), inclinações das vertentes (classes de declividade), Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) e a identificação de processos erosivos nos solos e sedimentos. Na categoria “impacto”, integraram-se o Índice de Impacto Ambiental das Nascentes (IIAN) e a degradação da vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APPs). Com a análise integrada dos geoindicadores/indicadores de pressão, estado e impacto, obteve-se o componente “resposta”, ou seja, as informações que possibilitam a formulação de planos de ações que visem reduzir e/ou evitar futuros problemas de degradação ambiental na bacia. Sendo assim, a pesquisa apontou as seguintes recomendações: desenvolvimento de programas para a recuperação/preservação da vegetação ciliar; tratamento das feições erosivas bem como a criação de programas de controle a erosão; implementação anual do sistema de dragagem nas caixas de contenção na cabeceiras de drenagens do ribeirão Paracatu e criação de uma Área de Proteção Ambiental (APA) na área do manancial; aprovação do Plano de Bacia Hidrográfica, o qual pode incluir mecanismos para a cobrança pelo uso das águas e a geração de programas de conscientização para os agricultores no que tange a preservação das áreas de reserva legal.

Palavras-chave: Modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta. Degradação ambiental. Feições erosivas, assoreamento.

ABSTRACT

Geoindicators are geological and geomorphological processes or phenomena that act on the lithospheric surface within a maximum time interval of 100 years. Addressing them in environmental research makes it possible to predict changes in the physical attributes of a landscape resulting from the Earth's natural dynamics and anthropogenic or mixed factors. Thus, the core objective of this research was based on the analysis of the environmental changes that have occurred in the last 38 years in the basin of Paracatu stream, which partially drains Nova Esperança, Presidente Castelo Branco, and Atalaia, small towns in the Central North of Paraná. The geoindicators/indicators selected in the survey were systematized by the Pressure-State-Impact-Response (PSIR) model. The indicators that composed the “pressure” compartment of the PSIR model were the historicization/socioeconomic characterization of the basin and the use and occupation of the multitemporal land (1984, 1997, 2010, and 2022). The "state" geoindicators referred to the morphology of the relief including that of the drainages together with the morphology of the slopes - altitudes (hypsometric classes), slope inclinations (declivity classes), the Roughness Concentration Index (RCI), and the identification of erosion processes in soils and sediments. The “impact” category, in turn, included the Springs Environmental Impact Index (SEII) and vegetation degradation in Permanent Preservation Areas (PPAs). The integrated analysis of the pressure, state, and impact geoindicators/indicators provided the "response" component, that is, a set of information that allows for creating action plans to reduce and/or avoid further problems of environmental degradation in the basin. Therefore, this research recommends the following: developing programs for the recovery/preservation of riparian vegetation; correcting erosional features; implementing the dredging system in the containment boxes at the headwaters of the Paracatu stream annually along with the creation of an Environmental Protection Area (EPA) in the spring area; approving the Hydrographic Basin Plan, which may include mechanisms for water charges and awareness programs whose target public are farmers, aiming at the preservation of areas in legal reserves. **Keywords:** Pressure-State-Impact-Response, Environmental Degradation, Erosional Features, Sedimentation.

Keywords: Pressure-State-Impact-Response. Environmental Degradation. Erosional Features. Sedimentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Problemática ambiental na bacia do ribeirão Paracatu deflagradas e aceleradas em 2016	15
Figura 2 – Esquemática do modelo PEIR	31
Figura 3 – Concepção teórica da Cartografia de Síntese.....	39
Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	41
Figura 5 – Localização da bacia do ribeirão Paracatu nos municípios abrangentes.....	43
Figura 6 – Localização das unidades litológicas do Grupo Caiuá e da bacia hidrográfica estudada	44
Figura 7 – Esquemática dos geoindicadores no modelo PEIR	50
Figura 8 – Perfil transversal C – D	53
Figura 9 – Perfil transversal do relevo C – D	54
Figura 10 – Número de habitantes do município de Nova Esperança - PR (1950 - 2021)	63
Figura 11 – Número de habitantes do município de Atalaia -PR (1961 - 2021).....	63
Figura 12 – Número de habitantes do município de Presidente Castelo Branco -PR (1961 - 2021).....	64
Figura 13 – Uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu (set/ 1984).....	68
Figura 14 – Uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu (set/1997).....	69
Figura 15 – Uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu (set/2010).....	70
Figura 16 – Uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu (set/2022).....	71
Figura 17 – Usos e ocupação da terra no alto curso da bacia do ribeirão Paracatu no ano de 2022	75
Figura 18 – Degradação da bacia do ribeirão Paracatu gerada pelos usos da terra	76
Figura 19 – Carta hipsométrica da bacia do ribeirão Paracatu	77
Figura 20 – Perfil transversal do relevo no baixo curso da bacia do ribeirão Paracatu.....	78
Figura 21 – Perfil transversal do relevo no médio curso da bacia do ribeirão Paracatu	78
Figura 22 – Perfil transversal do relevo no alto curso da bacia do ribeirão Paracatu	78
Figura 23 – As formas do terreno na bacia do ribeirão Paracatu	80
Figura 24 – Carta clinográfica da bacia do ribeirão Paracatu.....	81
Figura 25 – Erosão dos solos em área declivosa na bacia do ribeirão Paracatu.....	82
Figura 26 – Erosões e assoreamento do ribeirão Paracatu após as chuvas do dia 16/01/2016	83
Figura 27 – Carta de Concentração de Rugosidade da bacia do ribeirão Paracatu	84

Figura 28 – Hierarquização dos canais fluviais da bacia segundo a proposta de Strahler (1952)	85
Figura 29 – Localização das nascentes nas cabeceiras de drenagens da bacia do ribeirão Paracatu	86
Figura 30 – Registros fotográficos do ribeirão Caxangá.....	86
Figura 31 – Registros fotográficos do ribeirão Paracatu	88
Figura 32 – Perfis transversais multitemporais A-B, C-D, E-F e G-H.....	90
Figura 33 – Caixas de contenção de drenagens no ribeirão Paracatu entre 2012 e 2022	93
Figura 34 – Mapeamento das feições erosivas na bacia do ribeirão Paracatu.....	97
Figura 35 – Classes de solos da bacia do ribeirão Paracatu	98
Figura 36 – Processos erosivos em épocas distintas, 1980 e 2022, no alto curso do ribeirão Caxangá	100
Figura 37 – Construção do Parque das Grevíleas.....	101
Figura 38 – Registros fotográficos de 2022 do ribeirão Caxangá/N1 nos limites do Parque das Grevíleas.....	102
Figura 39 – Vista aérea da N2 nos anos de 1980 (A), 2000 (B) E 2022 (C).....	103
Figura 40 – Parâmetros macroscópicos do IIAN analisados na N1 do ribeirão Caxangá.....	106
Figura 41 – Parâmetros macroscópicos do IIAN analisados na N2 do ribeirão Paracatu	107
Figura 42 – Parâmetros macroscópicos do IIAN analisados na N3 do ribeirão Paracatu	109
Figura 43 – Problemas ambientais nas nascentes e canais fluviais não identificadas no IIAN	110
Figura 44 – Carta de delimitação das áreas de APPs do ribeirão Paracatu	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Os geoindicadores originais usados na pesquisa	49
Quadro 2 – População total do ano de 2021 dos municípios compreendidos pela bacia	62
Quadro 3 – IIAN da nascente do ribeirão Caxangá.....	104
Quadro 3 – IIAN da N2, nascente do Ribeirão Paracatu.....	106
Quadro 4 – IIAN da N3, nascente do ribeirão Paracatu	108
Quadro 6	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geoindicadores e sua influência natural x antrópica segundo Berger (1996) e Coltrinari (2001).....	25
Tabela 2 – Parâmetros macroscópicos adotados no IIAN.....	57
Tabela 3 – Classificação do grau de preservação no IIAN.....	57
Tabela 4 – Quantificação das classes de uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu entre 1984 e 2022	67
Tabela 5 – Quantificação das formas do terreno na bacia do ribeirão Paracatu.....	80
Tabela 6 – Quantificação das classes de declividade da bacia do ribeirão Paracatu.....	81
Tabela 7 – Alterações ambientais entre 1985 e 2022 nos ribeirões da bacia	96

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 A crise ambiental e a perspectiva geográfica	16
2.2 Indicadores e Geoindicadores como instrumento de análise ambiental	21
2.3 Modelos sistêmicos de análise ambiental	30
2.4. Bacia hidrográfica como unidade de estudos ambientais e processos atuantes	33
2.5 Cartografia de Síntese e Geoprocessamento em análise ambiental.....	39
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	41
3.1 Objeto de Estudo	42
3.1.1 Aspectos do Substrato litológico	43
3.1.2 Aspectos pedológicos	46
3.1.3 Aspectos geomorfológicos.....	47
3.1.4 Aspectos climáticos	47
3.1.5 Aspectos fitogeográficos.....	48
3.2 Os geoindicadores e aplicabilidade no modelo PEIR.....	49
3.2.1 Obtenção dos Indicadores de Pressão	51
3.2.2 Obtenção dos geoindicadores de Estado.....	52
3.2.3 Obtenção dos indicadores de Impacto Ambiental	56
3.2.3.1 Índice de Impacto Ambiental das Nascentes.....	56
3.2.3.2 Índice de Impacto Ambiental das APPs.....	57
3.3 Produtos cartográficos	58
3.4 Análise dos dados	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1 Indicadores de Pressão.....	60
4.1.1 Historicização e caracterização socioeconômica da área de estudo	60

4.1.2	Uso e ocupação da terra (1984, 1997, 2010 e 2022).....	66
4.2	Geoindicadores de estado	76
4.2.1	Morfologia e morfometria do relevo.....	77
4.2.2	Caracterização físico-natural dos canais fluviais e nascentes das cabeceiras de drenagem da área de estudo.....	84
4.2.3	Mudanças no padrão de drenagem e perfil dos canais.....	88
4.2.4	Erosão nos solos e assoreamento dos cursos d'água	96
4.2.4.1	Análise documental histórica dos processos erosivos da N1	100
4.2.4.2	Análise histórica subsidiada por produtos de sensores remotos da erosão da N2	102
4.3	Indicadores de Impacto Ambiental.....	104
4.3.1	Índice de Impacto Ambiental - IIAN –áreas de nascentes.....	104
4.3.2	Impactos Ambientais: análise da vegetação em APPs.....	111
4.4	Geoindicadores/Indicadores de Resposta	112
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
	REFERÊNCIAS	118

INTRODUÇÃO

A problemática ambiental mundial, em geral, resulta da consolidação das relações sociedade e natureza. Tais relações se intensificaram posteriormente à Revolução Industrial no século XVIII, marcada pelo crescimento demográfico e pelo aumento substancial da utilização dos recursos naturais para atender às novas demandas socioespaciais e a consequente degradação ambiental das paisagens antropizadas (SOUZA, 2017).

As consequências adversas das relações antrópicas com o meio ambiente implicam a ruptura do estado natural de equilíbrio dinâmico dos componentes físico-naturais intrínsecos da paisagem (ar, solo, vegetação, águas superficiais e subterrâneas etc.), que passam a evoluir sob um novo estado de dinâmica geoambiental (BECKAUSER, 2020).

Essas alterações ambientais de gênese antrópica, diferente das de origem naturais da Terra, que habitualmente demandam do tempo geológico, ocorrem num espaço curto de tempo, durante um ciclo da vida humana (SUERTEGARAY, 2002). Geralmente, são impelidos pela expansão de áreas urbanas sem o devido planejamento e a não adoção de modelos sustentáveis e práticas conservacionistas nos usos e ocupação da terra.

Diante dessa problemática ambiental no Brasil, vários autores, como Coltrinari (2002), Biz (2009), França Junior e Villa (2011), Nicolodi e Souza (2016), Rodrigues e Souza e Xavier (2021), utilizaram em suas pesquisas a proposta de Berger (1996) no que tange a aplicação de geoindicadores como instrumento de análise e mensuração das atuais condições ambientais da paisagem, bem como no prognóstico de cenários e tendências futuras do objeto de análise.

Os geoindicadores, em síntese, configuram-se como indicadores das alterações ambientais dos componentes abióticos da paisagem num intervalo máximo de tempo de 100 anos. Porém, sua aplicação pode ser feita da integração com os indicadores de pressão antrópica sobre os atributos do sistema físico-natural, pois as paisagens se modificam tanto a partir das dinâmicas naturais da Terra quanto das pressões antrópicas nela exercidas (BERGER, 1998).

Singh et al., (2021), consideram os geoindicadores importantes instrumentos para as Geociências, incluindo a Geografia, pois, segundo os autores, a sua aplicação em pesquisas geoambientais possibilita o monitoramento do estado físico-químico do meio ambiente, além da detecção de fatores naturais e antrópicos da degradação das paisagens.

Assim, a pesquisa teve como objetivo central a aplicação de geoindicadores na bacia do ribeirão Paracatu com a finalidade de analisar as alterações ambientais de tempos curtos (inferior a 100 anos), período de 1984 a 2022, decorrentes de gênese natural, antrópica ou mista. Além disso, integraram-se como objetivos específicos da pesquisa:

- Identificar indicadores de pressão antrópica na bacia;
- Selecionar no modelo PEIR geoindicadores de estado e impacto ambiental;
- Apontar indicadores de respostas para que dirigentes possam mitigar a problemática da bacia;
- Fornecer materiais cartográficos e textos que possam ser usados nas tomadas de decisões de planejamentos ambientais.

O objeto de estudo desta pesquisa é a bacia hidrográfica do ribeirão Paracatu, afluente da margem esquerda do Rio Pirapó, localizada no Norte do Paraná, o qual os cursos d'água drena partes dos municípios de Nova Esperança – PR, Atalaia – PR e Presidente Castelo Branco – PR (IBGE, 2022).

De acordo com Calegari (2004) e Casagrande (2012), a bacia de estudo apresenta suscetibilidade natural a ocorrência de feições erosivas, devido à friabilidade das rochas areníticas do Grupo Caiuá e dos solos residuais, correlacionados com as declividades do relevo, fatores climáticos e a supressão da cobertura vegetal original; este último, segundo Bigarella, Suguio e Becker (1979), altera o balanço de sedimentação dos canais fluviais de forma negativa, pois o sistema hídrico passa a transportar elevada carga sedimentar provinda da erosão de solos nus, podendo assorear as drenagens.

Reforçando a problemática, Peres e Sá (2021) ressaltam o desenvolvimento de voçorocas e o assoreamento do alto curso do ribeirão Paracatu, sucedidos após os intensos eventos de precipitação ocorridos em janeiro de 2016 (Figura 1), ano de El Niño.

Esse fator foi responsável por gerar estado de calamidade pública em Nova Esperança, já que o abastecimento de água advinda do referido ribeirão inviabilizou-se por aproximadamente sete dias (MINISTÉRIO PÚBLICO DO PARANÁ, 2016).

Em face do exposto, pesquisas que abarcam a problemática ambiental são relevantes, pois, na elaboração de planos de ações que objetivam a reversibilidade de tais problemas, faz-se importante entender os processos e dinâmicas que resultam na degradação da paisagem (BIZ, 2009).

Figura 1 – Problemática ambiental na bacia do ribeirão Paracatu deflagradas e aceleradas em 2016



A – Desenvolvimento de uma voçoroca no alto curso do ribeirão Paracatu; B – Erosões lineares no entorno de uma das nascentes do ribeirão Paracatu em; C – Materiais sedimentares em suspensão no ribeirão Paracatu; D – Assoreamento do ponto de captação de água no alto curso do ribeirão Paracatu.

Fonte: Paiva (2016); Prefeitura Municipal de Nova Esperança (2022)

Destarte, almeja-se com a pesquisa responder a indagação de se os problemas ambientais dos últimos 38 anos, tempo curto, são decorrentes das dinâmicas naturais terrestres e/ou da pressão antrópica.

Além disso, aspira-se externalizar na pesquisa quais são os impactos ambientais de tempos curtos que vêm ocorrendo na bacia e responder não apenas o motivo pelo qual isso vem ocorrendo (causas naturais, antrópicas ou mistas), mas também quais os planos de ações que podem ser propostos para mitigar a situação dos problemas ambientais da área.

Finalmente, este estudo pode trazer contribuições através dos textos explicativos e materiais cartográficos para que os dirigentes - gestão das municipalidades abarcadas pela bacia, comitês de bacias hidrográficas, neste caso a unidade do Piraponema (Pirapó, Parapanema 3 e 4) e órgãos ambientais estaduais e federais – desenvolvam projetos ambientais que busquem a melhoria da qualidade ambiental da bacia hidrográfica em questão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta parte da dissertação traz a fundamentação teórica com os conceitos que foram fundamentais no fornecimento de subsídios para a pesquisa. Os assuntos abordados se estruturaram em cinco temas, sequencialmente: a crise ambiental e a perspectiva geográfica; indicadores e geoindicadores como instrumento de análise ambiental; modelos sistêmicos de análise ambiental; bacias hidrográficas como unidade de estudos ambientais e processos atuantes ao qual inclui às nascentes face à legislação ambiental e a cartografia de síntese e o Geoprocessamento.

Pelo fato de que a dissertação se pauta, principalmente, na questão ambiental, nas relações sociedade e natureza, cabe compreender os conceitos de meio ambiente e impacto ambiental adotados na pesquisa. Na comunidade científica, é bastante comum divergências nas definições destes conceitos, contudo, a pesquisa considerou o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como padrão de definição deles.

Define-se “meio ambiente” de acordo com a Resolução CONAMA N° 306/2002 (BRASIL, 2002) como “o conjunto de condições, leis, influência e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”.

Já o impacto ambiental, segundo a Resolução CONAMA 001/1986 (BRASIL, 1986), consiste em:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986, p. 1).

Definidos os conceitos, segue o desenvolvimento dos temas da fundamentação teórica.

2.1 A crise ambiental e a perspectiva geográfica

Rodrigues (1992) considerou que a crise ambiental teve sua gênese com a revolução industrial no século XVIII, momento em que o homem se apropriou intensamente da natureza fazendo o uso predatório dos recursos naturais renováveis e não renováveis para atender as demandas da sociedade. As consequências destes atos resultaram no engendramento de múltiplos impactos ambientais, dos quais se destacam a poluição e/ou contaminação dos

recursos hídricos, a degradação dos solos (perda de fertilidade, acidificação, compactação e ocorrência de feições erosivas), o assoreamento dos canais fluviais, incêndios, secas, aumento das médias de temperatura nos centros urbanos (ilhas de calor de superfície e atmosférica), intensificação do efeito estufa e do aquecimento global etc.

A autora aponta ainda que estamos na sociedade do descartável, num mundo que muito se produz, muito se consome e muito se desperdiça. Diante disso, o tempo e o espaço são tratados dissociados, de maneira que se produz mercadorias em larga escala, muitas vezes supérfluos, com tempo de durabilidade curta: é como se fosse um ciclo viciante em que se utiliza o espaço de forma intensiva para produzir mais, e assim intensifica-se cada vez mais a degradação ambiental.

Suertegaray (2002) corrobora com o exposto tecendo uma crítica referente a subordinação da natureza gerada pelo desenvolvimento tecnológico e científico que resultou numa visão de supremacia da sociedade sobre a natureza. Assim, no presente século, seus efeitos são percebidos no agravamento da degradação dos ambientes e na intensificação da crise ambiental.

No viés de Leff (2006), a crise ambiental é resultante de caminhos incertos que a civilização seguiu, que colocou no ápice de premência o desenvolvimento econômico sem considerar os meios sustentáveis e as práticas conservacionistas como meio de minimizar os efeitos das relações conflitantes da sociedade e natureza. Essas escolhas, hoje, refletem no colapso do homem x meio. Dessa forma, pode-se dizer que há uma crise que não é somente ambiental, mas também civilizatória.

Mendonça (2009) considera a compressão e a aceleração do tempo e espaço, desencadeada pelo processo de globalização no final do século XX e início do século XXI, um agente intensificador das pressões humanas sobre os recursos naturais da Terra, pois o mosaico de paisagens que constituem o espaço geográfico nunca na história passou por tantas alterações ambientais, devido à antropização das paisagens, como vem ocorrendo nas últimas décadas.

França Junior e Villa (2011) destacam que o mundo após a revolução industrial, no século XVIII, passou por diversas mudanças de cunho tecnológico nos processos de produção em escala econômica, social e ambiental. Esses fatos mudou o estilo de vida das sociedades e as formas de apropriação do espaço, que passou a ser intensiva e negativa ao meio ambiente. Além disso, a produção das indústrias, segundo os autores, tem gerado resíduos que contaminam os solos, as unidades aquíferas, o ar etc.

Sumariamente, percebe-se por meio dos vieses dos autores que os modos como o espaço foi apropriado ao decorrer da história, principalmente no contexto de revolução industrial e

mais recente com a globalização, coloca-nos num cenário de degradação da natureza, dos quais, suas consequências são percebidas nos diversos impactos socioambientais que tem gerado a redução da qualidade de vida das populações.

Por este motivo, tem sido cada vez mais importante buscar alternativas capazes de amenizar a crise ambiental. Diante de tal problemática, com o objetivo de buscar o equilíbrio entre desenvolvimento socioeconômico e a preservação ambiental, iniciou-se na década de 1970 as principais conferências mundiais. A primeira foi a Conferência das Nações Unidas, conhecida como Conferência de Estocolmo, que ocorreu em 1972 entre os dias 05 e 16 de junho na capital da Suécia (ZECA, 2022).

Passos (2009) afirma que tal conferência foi um marco histórico para as políticas ambientais, pelo motivo de que o olhar mundial sofreu positiva mudança no que concerne às questões ambientais.

Em 1983, surgiu a “Comissão das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente”; sua missão principal era conhecer as problemáticas ambientais dos países e elaborar um relatório com a finalidade de subsidiar as futuras tomadas de decisões da Organização das Nações Unidas – ONU (CAPOBIANCO, 1992).

Contudo, foi somente em 1987 que o referido relatório foi publicado, sendo nomeado de “Relatório de Brundtland”, ou também conhecido como “*Our Common Future*”. Por meio dele, ocorreu a difusão da ideia do desenvolvimento sustentável, com o objetivo conciliativo de preservação ambiental e desenvolvimento econômico. Esse conceito envolve variáveis econômicas, sociais e ambientais do desenvolvimento e atualmente, devido a aceleração da degradação ambiental, mais urgente é sua efetiva adoção (DIAS; CORREIA, 2016).

Na década posterior, importantes acordos ambientais foram assinados na Conferência das Nações Unidas e Desenvolvimento, que ocorreu em 1992 entre os dias 03 e 14 de junho, no Rio de Janeiro, também conhecida como Rio – 92. Para Cordani; Marcovitch e Salati (1997, p. 399), foi nesta conferência que “foram assinados os mais importantes acordos ambientais globais da história da humanidade: as Convenções do Clima e da Biodiversidade, a Agenda 21, a Declaração do Rio para Meio Ambiente e Desenvolvimento, e a Declaração de Princípios para Florestas”.

Com o escopo de combater as mudanças climáticas, em 1997, no Japão, diversos países aderiram ao Protocolo de Kyoto, um dos mais relevantes acordos ambientais já feitos pela ONU. Este protocolo, em sua primeira fase, colocava a responsabilidade de 38 países industrializados reduzirem a emissão de “Gases do Efeito Estufa” (GEE) em 5,2% em relação aos níveis registrados em 1990 até o ano de 2012 (ROCHA; PAINO; MELLO, 2007). No entanto, a não

adesão de alguns países, incluindo os Estados Unidos da América – EUA, contribuiu para o seu fracasso. Se, por um lado, a emissão dos GEE reduziu consideravelmente entre os países que aderiram ao protocolo; por outro lado, intensificou-se a emissão dos GEE no restante do mundo, dando destaque a China e a outras economias emergentes. Esse motivo impeliu, em 2015, o acordo de Paris, que estabeleceu novas metas de redução dos gases de efeito estufa (CORAZZA; SOUZA, 2017).

Dez anos após a Rio – 92, acontece em Joanesburgo a terceira grande conferência ambiental. Esta ficou conhecida como Rio + 10 ou Cúpula Mundial Sobre Desenvolvimento Sustentável. O objetivo foi reivindicar os acordos realizados nas conferências anteriores, principalmente a execução do propósito da Agenda 21 no que se refere promover justiça social e o ambiente ecologicamente equilibrado (SEQUINEL, 2002).

Em 2012, entre os dias 13 e 22 de junho, ocorreu a Rio + 20 (Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável). Segundo Guimarães e Fontoura (2012), essa conferência não apresentou um avanço expressivo relativo a Rio – 92; apenas manteve o desafio do desenvolvimento sustentável, economia verde e inclusão social como uma das preocupações na agenda da sociedade.

Em 2015, vendo que as mudanças climáticas representam uma ameaça irreversível para as sociedades contemporâneas e ao planeta, no dia 12 de dezembro, deste mesmo ano, na capital da França ocorreu o acordo de Paris. Seu objetivo foi conseguir a cooperação dos países com vista a acelerar a redução da emissão dos gases de efeito estufa, já que o protocolo de Kyoto de 1997 não atingiu suas metas (ONU, 2015).

Em setembro deste mesmo ano, líderes mundiais e representantes civis se reuniram na sede da ONU, em *New York*, e estabeleceram um plano de ação para proteger o planeta, erradicar a pobreza e garantir que as pessoas alcancem a paz e prosperidade. Esse plano foi denominado como “Agenda 2030 Para o Desenvolvimento Sustentável”, e conta com dezessete objetivos a serem alcançados até 2030, sendo o principal “não deixar ninguém para trás”, ou seja, todas as pessoas devem estar inseridas nesta transformação (ONU, 2015).

Em 2022, no período entre 6 e 18 de novembro na cidade de Sharm El-Sheikh, no Egito, ocorreu a COP 27 (vigésima sétima reunião da Conferência das Partes). Dentre os principais objetivos, destacaram-se a mitigação dos GEE, o combate ao aquecimento global e as discussões sobre os efeitos das mudanças climáticas nos setores financeiros (NEGREIROS; FRADES; CARMELO, 2022).

Ainda em 2022, na capital da Suécia, entre os dias 2 e 3 de junho, após 50 anos da conferência de Estocolmo em 1972, ocorreu a Estocolmo + 50. Nesse evento, os representantes

mundiais debateram sobre a tríplice crise planetária – alterações climáticas, poluição e produção de resíduos e degradação da natureza – objetivando alcançar a reversibilidade do atual quadro de crise ambiental.

Ao traçar a linha do tempo de 1972 até 2022, tivemos em 1972 (Conferência de Estocolmo); 1987 (Relatório de Brundtland); 1992 (Rio – 92); 1997 (Protocolo de Kyoto); 2002 (Conferência de Joanesburgo); 2012 (Rio + 20); 2015 (Acordo de Paris e Agenda 2030) e 2022 (COP 27), (Estocolmo + 50) percebemos por meio das diversas conferências ambientais promovidas pela ONU que a atenção mundial sofreu positiva mudança. Entretanto, ainda nos coloca as seguintes indagações: atualmente a crise do ambiente tem se intensificado, sendo assim, as conferências fracassaram? O que se pode fazer para amenizar a crise? A Agenda 2030 tem alcançado as suas metas iniciais?

Essas indagações nos levam a pensar que talvez a pluralidade de discussões sobre o meio ambiente, ocorrida de 1972 até os dias atuais, não tenha surtido efeitos benéficos para a sociedade e natureza; porém, não será esse um pensamento inadequado, já que, até meados do século XX, a ação antrópica como agente transformador da paisagem era descartada, na maioria das vezes, pelos pesquisadores e sociedade? Primeiro, devemos levar em consideração que a transfiguração ocorrida no olhar conceitual das relações sociedade e natureza a partir da segunda metade do século passado deve ser concebida como um avanço a questão ambiental, já que, nesse cenário, as Geociências, principalmente a Geografia, sofreram tais mudanças conceituais e desde então passaram a contribuir no enfrentamento da crise ambiental.

É nesse cenário que Gregory (1992) destaca as mudanças de concepções da Ciência Geográfica relativas à crise do ambiente. Segundo ele, até a década de 1960, os efeitos adversos da ação antrópica sobre a paisagem eram descartados pelos geógrafos físicos que priorizavam as dinâmicas ambientais antes do homem para entender os processos não interferidos por ele; quando muito, o homem era posto como coadjuvante ou apêndice.

Segundo o autor, entre as décadas de 1960 e 1970, ocorre o chamado “o advento do homem”, momento em que diante a iminência dos impactos ambientais resultantes de ações antropogênicas, diversos seguimentos de pesquisas direcionam-se seus estudos nas inter-relações entre o homem x meio (sociedade e natureza). Tal transmutação foi um dos fatores responsáveis pelo advento do homem que consistiu na gênese de uma perspectiva de análise ambiental na Ciência Geográfica em que o homem passa a ser interpretado como agente ativo e transformador do espaço.

A partir de então, a Geografia vem se consolidando como a ciência integradora envolvida no combate da crise ambiental, pois nela existe a vantagem de trabalhar com os

objetos e ações simultaneamente. Além disso, a capacidade integradora de variáveis distintas que podem ser inseridas nas pesquisas geográficas, sejam elas, sociais, econômicas, ambientais e culturais, dificilmente outros campos do conhecimento conseguem abordá-las, tornando a Geografia uma ciência integrada (SOUTO, 2016).

Explicitadas tais vantagens, o papel da Geografia no fornecimento de subsídios no papel de amenizar a crise ambiental, num cenário futuro, é bastante promissor. Entretanto, existe a falta de espaço enfrentado por diversos geógrafos em variados âmbitos governamentais, que seria primordial para que suas vozes sejam mais ouvidas pelos dirigentes (tomadores de decisões) e, também, por ciências afins, para que as tomadas de decisões sejam mediadas em conjunto, ou seja, de forma multidisciplinar.

2.2 Indicadores e Geoindicadores como instrumento de análise ambiental

Diante das transfigurações da paisagem geradas pelas dinâmicas naturais no sistema Terra e pela produção social do espaço, a paisagem atual, em vários países, incluindo o Brasil hoje difere-se do passado em múltiplos aspectos ambientais e sociais. Essas transformações culminaram nos problemas de degradação do ambiente, e estes refletem atualmente na qualidade de vida dos indivíduos.

Por este motivo, compreender os processos e as dinâmicas que resultam na degradação do ambiente são necessários para desenvolver planos de ações para reverter e mitigar tal situação, assim como para prevenir futuras degradações. Segundo França Junior (2010), é neste cenário que diversos autores têm proposto metodologias que enfatizam as rápidas mudanças do meio. Dentre as propostas, têm-se a dos indicadores e geoindicadores como instrumentos de levantamento, análise, monitoramento e prognóstico das condições ambientais, sendo imprescindíveis no planejamento ambiental e urbano.

O conceito de indicador vem sendo abordado e debatido por diversas áreas de conhecimento e instituições no mundo, motivo este que marca a ausência de uma definição consenso na comunidade científica, dado sua heterogeneidade conceitual. Todavia, diz-se que indicadores

expressam parâmetros e/ou funções capazes de expor as atuais condições do sistema físico-natural e socioeconômico de um ambiente e, ainda podem exercer a função de prognosticar cenários futuros do fenômeno analisado e contribuir com respostas nas tomadas de decisões no planejamento ambiental, urbano e territorial. (SANTOS, 2009).

Os indicadores também se definem como importantes instrumentos de valoração de fenômenos e sua mensuração em variadas escalas espaciais e temporais (ADÃO; POLETTE, 2016).

Os parâmetros dos indicadores devem expressar indagações sobre o estado, as pressões e as respostas do meio. Devem trazer respostas atinentes às características, propriedades e qualidades do objeto de estudo e principalmente devem estar imbricados aos objetivos da pesquisa (SANTOS, 2009).

De acordo com a *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD, 1993), os indicadores reduzem significativamente o número de medições e parâmetros que geralmente seriam precisos para explicar a situação exata de um fenômeno, seja ele econômico, social, cultural ou ambiental; logo apresentam a função de síntese.

Devido, principalmente, à multiplicidade existente de indicadores, consiste-se em um desafio para os pesquisadores fazerem sua seleção e análise, já que não existe um consenso científico de quais e quantos indicadores devem ser utilizados para determinado fenômeno. Em vista disso, é importante a compreensão de que nem todos os indicadores trazem informações relevantes dependendo dos objetivos e objeto de estudo da pesquisa (SANTOS, 2009).

Logo, considera-se que um conjunto demasiado de indicadores dificulta a visão geral daquilo que se pretende investigar. Por outro lado, um número reduzido ou até mesmo um único indicador pode não trazer todas as informações necessárias do objeto a ser analisado (OECD, 1993).

Assim, em análises ambientais, é elementar o estudo preliminar do meio para a identificação dos problemas nele presentes; é a partir disso que se efetua a escolha e a quantidade mais adequada de indicadores que tragam respostas relevantes nas tomadas de decisões.

Considera-se que um bom indicador deve ser simples e fácil de interpretar e capaz de ao longo do tempo mostrar as tendências do fenômeno analisado, ser teoricamente bem fundamentado em termos técnicos e científicos (OECD, 1993).

Exposto isso, percebe-se que os indicadores, tal como sugere o nome, indicam a atual condição do fenômeno por meio de informações que podem ser qualitativas ou quantitativas. Os indicadores se subdividem em categorias, como exemplo, tem-se os bioindicadores (indicadores biológicos), edafoindicadores (indicadores de solos), indicadores socioambientais (indicadores sociais e ambientais), os geoindicadores (indicadores geológicos e geomorfológicos).

O uso de indicadores ambientais como ferramenta de análise do estado dos ecossistemas

e sociedade teve início no final da década de 1940, contudo o marco da fase atual do ambiente natural e sua sustentabilidade foi o relatório de *Brundtland (World Commission On Environment and Development)* publicado em 1987 no Canadá. O texto enfatizava a urgência de transmutar os meios de desenvolvimento socioeconômico para manter os ecossistemas em equilíbrio, assim como o bem-estar da sociedade (COLTRINARI, 2002).

Como já mencionado anteriormente, foi somente a partir dos eventos da Rio 92 – Cúpula da Terra e a elaboração da Agenda 21 que as pesquisas com abordagem das ações antrópicas como agente transformador da paisagem vieram a receber maiores incentivos (DINOTTE; SILVA; ROSSONI, 2020). Em 1994, foi criada a COGEOENVIROMENT pela Comissão de Ciências Geológicas para Planejamento Ambiental. Tratava-se de um grupo de pesquisa liderado por Antony R. Berger, geólogo canadense, que foi responsável por criar uma lista com 27 geoindicadores que representavam as mudanças geológicas e geomorfológicas ocorridas num espaço parco de tempo, de até 100 anos ou menos (COLTRINARI, 2002).

De acordo com Berger (1998, p. 04) os geoindicadores são definidos como “magnitudes, frequências, taxas ou tendências de processos e fenômenos geológicos que ocorrem na superfície terrestre ou próximo a ela e que são significativos para avaliar as mudanças ambientais ao longo de períodos de 100 anos ou menos”.

Isto posto, os geoindicadores medem os eventos catastróficos e graduais, dentro do intervalo de uma vida humana, até 100 anos. Sua aplicação, em alguns casos, pode envolver um grau de complexidade considerável e ter alto custo nas análises (análise das águas subterrâneas, solo e qualidade das águas superficiais são exemplos destes), porém na maioria das vezes sua aplicação é simples e de baixo custo (COLTRINARI; MCCALL, 1995).

Os geoindicadores fornecem uma estrutura conceitual importante para analisar os elementos abióticos da paisagem e dos ecossistemas naturais ou antropizados. São relevantes quando aplicados com o objetivo de prognosticar cenários futuros do sistema físico-natural, das atuais condições da paisagem e ainda, por fornecerem aporte para o monitoramento do meio físico (BERGER, 1998).

Coltrinari (2002) salienta que os cientistas da Terra podem usar os geoindicadores para análise do ambiente em escala local, regional, nacional e global, constituindo, assim, um importante instrumento de pesquisa que possibilita compreender as condições do ambiente e as mudanças que nele ocorrem, e os efeitos gerados por estas mudanças nos habitantes e suas implicações para o planejamento e implementação de políticas ambientais.

Em face do exposto, constata-se que os geoindicadores funcionam como um método capaz de medir processos geofísicos, geoquímicos e geomorfológicos. Baseiam-se em

conceitos e procedimentos padrão capazes de identificar as transmutações de ambientes costeiros, desérticos, fluviais, montanhosos, de geleiras e outras localidades. Têm como principal objetivo auxiliar no início das pesquisas, e, em muitos casos, é preciso a integração de vários indicadores ao mesmo tempo. Essa abordagem deve ser revisada e aperfeiçoada conforme surjam novas demandas durante a pesquisa (BERGER, 1997).

O autor acrescenta que o conceito de geoindicadores reúne ferramentas normativas em geoquímica, geofísica, geomorfologia, sedimentologia, hidrologia e outras áreas das Ciências da Terra de maneira útil a profissionais ambientais, convencendo-os da relevância de processos geológicos de tempos curtos e determinando as condições do ambiente, dos ecossistemas, possibilitando a análise ambiental destes espaços e contribuindo com ações mitigadoras de situações problemas nas tomadas de decisões.

Segundo Berger (1997, p. 36), os geoindicadores devem responder há quatro indagações básicas:

- O que está acontecendo no ambiente? (atuais condições e tendências futuras);
- Por que está ocorrendo? (causas naturais ou antropogênicas);
- Por que é importante? (efeitos econômicos, ecológicos e na saúde);
- O que deve ser feito mediante a tais problemas? (implicações no planejamento e na definição de políticas ambientais).

A Tabela 1 mostra os 27 geoindicadores elaborados pela COGEOENVIROMENT e suas influências de âmbito natural e antrópico. Por meio desta tabela, os pesquisadores podem ter acesso a uma gama de informações e aplicá-las em estudos do meio natural ou em ambientes modificados pelo homem.

Tabela 1 – Geoindicadores e sua influência natural x antrópica segundo Berger (1996) e Coltrinari (2001)

Geoindicador	Influência natural	Influência humana
Química e padrões de crescimento dos corais	*	*
Crosta e fissuras na superfície do deserto	*	+
Formação e reativação de dunas	*	+
Magnitude, duração e frequência das tempestades de poeira	*	+
Atividade em solos congelados	*	+
Flutuações das geleiras	*	-
Qualidade da água subterrânea	+	*
Química da água subterrânea na zona não saturada	*	*
Nível da água subterrânea	+	*
Atividade cárstica	*	+
Nível e salinidade dos lagos	*	*
Nível relativo do mar	*	+
Sequência e composição dos sedimentos	*	*
Sismicidade	*	+
Posição da linha de costa	*	*
Colapso das vertentes (escorregamentos)	*	*
Erosão de solos e sedimentos	*	*
Qualidade do solo	+	*
Fluxo fluvial	*	*
Morfologia dos canais fluviais	*	*
Acumulação e carga de sedimentos nos rios	*	*
Regime da temperatura em subsuperfície	*	+
Deslocamento da superfície	*	+
Qualidade da água superficial	*	*
Atividade vulcânica	*	-
Extensão, estrutura e hidrologia das áreas úmidas	*	*
Erosão eólica	*	+
* Muito influenciado (a) por, ou muito útil para;		
+ Pode ser influenciado (a) por, ou serve para;		
- Não é importante ou não tem utilidade. A tabela ilustra, de forma geral, os papéis relativos das mudanças naturais e induzidas pelo homem na modificação das paisagens e os sistemas geológicos.		

Fonte: autor (2023)

Segundo Canil (2006), essa lista sintetiza as formas de alterações da superfície terrestre, no entanto, a autora considera em algumas situações a complexidade em distinguir as transformações geradas pelo dinamismo natural do planeta das ocasionadas por interferência antrópica.

Os geoindicadores apresentados na lista são de escalas abrangentes; nesse caso, o pesquisador pode alterá-los em conformidade com a realidade e escala do objeto de pesquisa, pois, cada ambiente se difere nos aspectos físicos, químicos, biológicos e nas formas de apropriação social do espaço (BERGER, 1998).

O emprego de geoindicadores para medir as pressões antrópicas sobre os recursos naturais e a magnitude e frequência de processos geológicos e geomorfológicos se caracteriza

como uma abordagem metodológica recente, contudo, muito usada no mundo e no Brasil. Dessa forma, já apresenta os resultados de suas aplicações em diversas pesquisas de cunho científico, tanto em bacias hidrográficas como em unidades territoriais. Logo, procurou-se, nesta pesquisa, por meio da plataforma de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, elencar cronologicamente os resultados de pesquisas de 2015 a 2021 realizadas em território brasileiro em que foram empregues os geoindicadores para análise do ambiente.

Pinton e Cunha (2015) usaram os geoindicadores para analisar a formulação de morfologias antropogênicas associadas ao uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego do Cavalheiro – Analândia/SP. Por meio dessa metodologia, os autores fizeram o levantamento de geoindicadores capazes de quantificar as formas de relevo que expressaram morfologias dinamizadas por ações antrópicas. Os resultados desses estudos apontaram a degradação da paisagem rural devido, principalmente, ao uso e à ocupação da terra, destacando a ocorrência de feições erosivas lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) e erosões laminares.

Lima e Amaral (2015) aplicaram os geoindicadores para elaboração de um mapa de vulnerabilidade ambiental na praia de Pititinga, geolocalizada no município Rio do Fogo, Rio Grande do Norte. Trata-se de um ambiente costeiro em que há o conflito entre ocupações residências à beira-mar e sua degradação pela ação do mar. Assim, os autores levaram em consideração as dinâmicas e processos naturais e antrópicos para analisar as erosões costeiras, a principal problemática do local. Através do cruzamento de informações de um mapa de geoindicadores de erosão costeira e do Modelo Digital de Elevação – MDE, foi gerado o mapa de vulnerabilidade à erosão. As informações e dados obtidos foram armazenadas no Sistema de Informações Geográficas – SIG.

Martins et al. (2016) detectaram em campo, na região costeira do Estado de Pernambuco, a presença (ou ausência) de dez indicadores de erosão comumente explicitados em literaturas brasileiras. Os geoindicadores foram sistematizados em quatro grupos obedecendo respectivamente o grau de intensidade, sendo nula (sem a presença de geoindicadores), baixa (geoindicadores ecológicos que não transfiguram significativamente a paisagem), moderada (geoindicadores morfológicos que alteram significativamente o meio), alta (geoindicadores de pressão ocasionados por interferência humana). Dos 172 km de praias arenosas analisadas no Estado de Pernambuco foi constatado que 48% não apresentaram geoindicadores de erosão, 8% apresentaram geoindicadores de baixa intensidade, 16% moderada e 28% geoindicadores de alta intensidade de processos erosivos.

Nicolodi e Souza (2016) usaram os geoindicadores para avaliar a vulnerabilidade física

dos ambientes praianos do Rio Grande do Sul. Os indicadores aplicados foram altura e estado morfo-ecológico de dunas frontais, posição de linha de costa e concentração de sangradouros. A qualidade sanitária, indicador de caráter socioambiental, foi incluído na pesquisa. Por meio da integração destes indicadores, os autores geraram um índice de vulnerabilidade física para sete ambientes litorâneos costeiros no Rio Grande do Sul.

Menezes et al. (2018) analisaram vulnerabilidade a erosão costeira das praias de Piedade e Paiva, localizadas na região litorânea do Estado de Pernambuco. Os autores sistematizaram dez indicadores em dois grupos, sendo eles: geoindicadores costeiros (morfologia da praia, posição da linha de costa, campo de dunas, exposição às ondas e distância da foz de rios) e geoindicadores continentais (elevação do terreno, vegetação, estruturas costeiras, percentual de ocupação do solo e impermeabilidade do solo). Por meio da análise integrada dos indicadores, foi feita a classificação quantiquantitativa em três grupos do índice de vulnerabilidade à erosão costeira. Entre 0 e 2,9 (baixa vulnerabilidade), entre 3 e 6,9 (moderada) e entre 7 e 10 (alta). A pesquisa mostrou que o setor Norte e Central da praia de Piedade foram os que obtiveram maior valor do índice de vulnerabilidade à erosão costeira, ambos 8,0. Já o setor Sul da praia de Paiva apresentou o valor de 3,0.

Neves, Lima e Ferreira (2018) realizaram uma análise da dinâmica espacial e temporal da perda de solo como geoindicador para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do ribeirão Preto, majoritariamente situada no município de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Por meio do uso de softwares de geoprocessamento associados ao geoindicador citado, os autores estabeleceram estimativas de taxas médias de perda de solos entre os anos de 2005 e 2015.

Silva e Rodrigues (2018) desenvolveram uma avaliação de caráter quantitativo do impacto do homem sobre a litosfera. Esse estudo procedeu por meio da análise da expansão urbana num espaço temporal de um ciclo de uma vida humana, de até 100 anos e suas contribuições nas transformações de âmbito morfoestrutural e processual em duas bacias hidrográficas tributárias do reservatório Guarapiranga, localizada em São Paulo. A metodologia empregada levou em consideração os geoindicadores propostos por Coltrinari e McCall (1995) dos quais: morfologia dos canais fluviais, vazão e carga sólida dos rios, aluvionamento, volume e área de depósitos tecnogênicos, mudança qualiquantitativas na cobertura vegetal e usos da terra.

Dos resultados, em síntese, a bacia do ribeirão Guavirutuba teve uma expansão urbana de 12,9 % em 1932 a 90,8 % em 2008. Já a bacia do ribeirão Jaceguay teve sua expansão urbana de 11,3 % em 1986 (nos anos anteriores não foram obtidos os dados) a 9,0 % em 2008. Na bacia

do Guavirutuba em 1932 a taxa de colmatagem correspondia a 0,39 % e em 2008 a 2,34 % e no Jaceguay a colmatagem em 1932 era de 0,061 % chegando a 0,93 % em 2008, ou seja, se comparada a primeira teve um menor crescimento na taxa de colmatagem.

Reis, Feitosa e Reis (2019), por intermédio da identificação em campo da presença ou ausência de onze geoindicadores, determinaram a intensidade de feições erosivas no litoral da Paraíba. Para tal, os geoindicadores foram agregados em quatro grupos de acordo com o grau de intensidade (nulo, baixo, moderado e alto). Nos 12 km de extensão costeira analisados, das quais abrangem as praias Cabo Branco, Ponta dos Seixas, Penha, Arraial, Barra de Gramame Norte, Jaracapé e Sol, todos os geoindicadores de alto grau de erosão foram identificados *in loco*. Os resultados da pesquisa podem servir como subsídios para a gestão costeira das praias estudadas e as demais áreas do litoral paraibano.

Rodrigues et al. (2019) reuniram resultados de pesquisas de abordagem na temática de antropogeomorfologia, geoindicadores e geomorfologia do antropoceno, estes foram analisados para dimensionar as alterações geomorfológicas ocorridas na metropolização da cidade de São Paulo num intervalo de tempo de 100 anos ou menos nos sistemas fluviais e fluviolacustres. A metodologia proposta permitiu comprovar as alterações do ambiente quanto à sua origem, que seria natural ou antropogênica.

Dinotte, Silva e Rossoni (2020) usaram os geoindicadores para compreender as mudanças hidrogeomorfológicas em áreas urbanas, ocasionadas por processos de urbanização. A metodologia empregada consistiu no levantamento bibliográfico de artigos disponíveis no portal de periódicos da CAPES. A pesquisa mostrou que o emprego de geoindicadores se faz eficaz no sentido de identificar ou distinguir as alterações hidrogeomorfológicas ocasionadas pelos modos de apropriação social do espaço (pressão antrópica sobre o meio físico) dos processos e dinâmicas naturais do sistema Terra.

Rodrigues, Vieira e Mendes (2021) identificaram e analisaram geoindicadores (geoquímicos) de elementos-traço em águas superficiais e tecnossolos com o objetivo de apontar as mudanças ocasionadas por influência antropogênica no sistema fluvial da bacia hidrográfica do rio Botas, Baixada Fluminense. Ao longo do perfil longitudinal do rio Botas, foram selecionados cinco pontos para a coleta de amostras de água e sedimentos de leito e planície para em laboratório determinar os elementos-traço: Cr, Cu, Zn, Pb, Ni, Cd.

Os resultados, da pesquisa mencionada mostraram a poluição das águas e sedimentos pelos elementos Pb, Zn, Cu, Cr, com respaldo na resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e na *National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA, que dispõe de parâmetros físicos, químicos e biológicos para classificação de qualidade d'água dos rios de

água doce (BUCHMAN, 2008). Foi constatado que a poluição dos pontos analisados decorreu dos lançamentos de efluentes industriais e domésticos e do uso e ocupação da terra nas áreas da rede de drenagem.

Rodrigues, Souza e Xavier (2021) buscaram entender a propensão à mudança de canais fluviais pelo método de análise dos níveis de sensibilidade em cada setor da bacia hidrográfica do rio Piranhas, localizada na Paraíba. Por meio dos geoindicadores de morfologia do canal, planta do canal e as características de leito, os autores conseguiram apontar as mudanças ambientais em sete segmentos fluviais da bacia.

Além dessas pesquisas realizadas no Brasil, vale destacar que a metodologia de geoindicadores de Berger (1996) vem sendo empregada em todo o mundo, dessa forma, nos parágrafos subsequentes tem-se alguns exemplos da aplicabilidade de geoindicadores em pesquisas científicas realizadas fora do Brasil.

Zaz e Romshoo (2012), com o escopo de analisar as erosões na região do Himalaia, empregaram em sua pesquisa técnicas de geomática, obtendo-se os seguintes geoindicadores: índice de vegetação (NDVI), classes clinográficas, formações litológicas, uso e ocupação da terra. A partir da análise integrada dos referidos geoindicadores somadas ao uso de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, as autoras produziram um mapa de risco a erosão, que permitiu inferir as áreas com maior potencial a erosão hídrica.

Fraser e Storie (2016) usaram geoindicadores hidrológicos e pedológicos, incluindo o potencial de armazenamento (umidade do solo) e indicadores econômicos para analisar as zonas de risco a enchentes na bacia do rio Vermelho, nos Estados Unidos da América (EUA). Os resultados da pesquisa direcionaram respostas mitigatórias aos dirigentes que podem ser adotados em planejamentos ambientais.

Cicco et al. (2017), por meio de uma abordagem multiparamétrica e multilocal, usaram o radônio como um geoindicador correlato as atividades sísmico-vulcânicas em *Phlegrean Fields*, na Itália. Esse estudo possibilitou a distinção das anomalias radônicas de gênese climática das correlacionadas aos fenômenos geológico-geomorfológicos que ocorrem na litosfera.

Essa síntese bibliográfica de artigos científicos da CAPES, 2015 a 2021, sobre a aplicação de geoindicadores como instrumento de análise das transformações do meio físico de tempos curtos (decorrentes de processos naturais ou antrópicos) se fez necessária para aquisição do conhecimento prévio dos conceitos e metodologias que nortearam a pesquisa. Percebeu-se, por meio desse levantamento, que os geoindicadores podem ser aplicados em diversos ambientes, principalmente os costeiros e os continentais, desde que se faça o estudo preliminar

do meio para selecionar os geoindicadores que tragam informações relevantes para a problemática ambiental específica da região.

2.3 Modelos sistêmicos de análise ambiental

Segundo Santos (2009), as informações que os diversos indicadores e geoindicadores selecionados fornecem devem ser ordenadas, sistematizadas e agrupadas, ou seja, elas objetivam expor uma síntese do objeto analisado para que dirigentes possam subsidiar as tomadas de decisões. A referida autora considera que no Brasil, geralmente, as pesquisas não são conduzidas assim, visto que, comumente, são agrupados um expressivo número de indicadores que resulta em um banco de dados. Assim, as informações vão se adensando ou confrontado sequencialmente de modo que a síntese conclusiva além de complexa, não é clara, de modo que o leitor fica à mercê de sua interpretação e da organização dos indicadores.

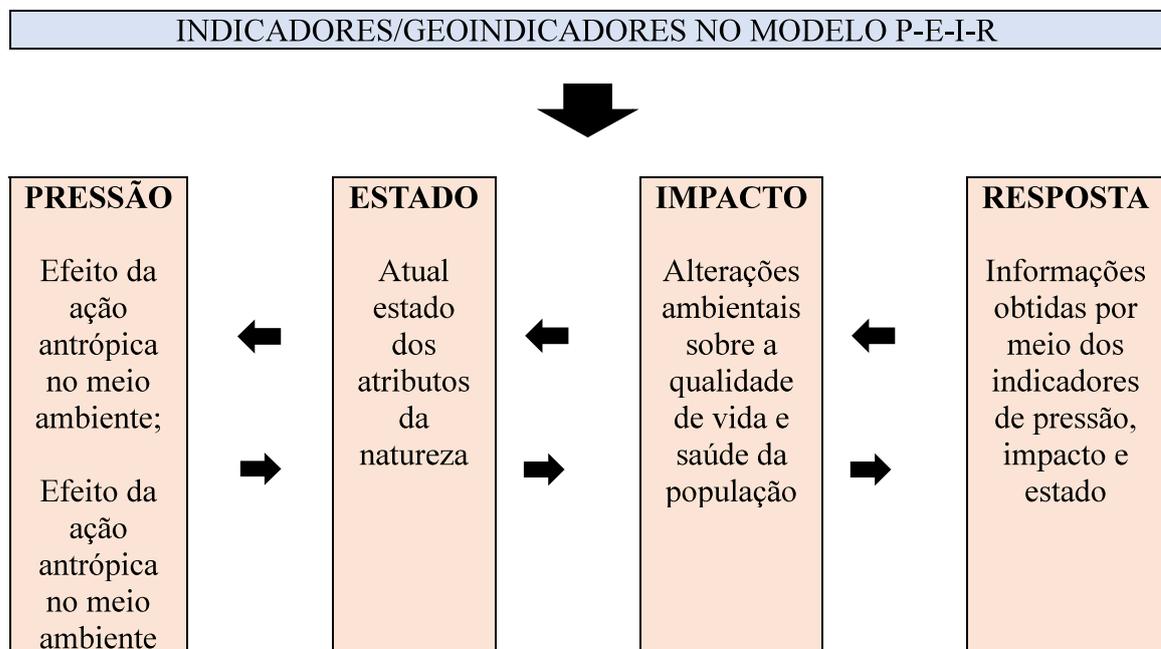
Por este fator, segundo a autora, existem diversos modelos para ordenação e sistematização de indicadores ambientais, dos quais destacam-se os modelos:

- **PER** (Pressão-Estado -Resposta): modelo publicado em 1993 e revisado em 1998 pela *Organization For Economic Cooperation and Development*. Este modelo baseia-se em princípios de causalidade em que o homem exerce pressão sobre o meio e altera o estado atual do ambiente. Como resposta, a sociedade responde a essas alterações através de políticas ambientais, econômicas ou setoriais como meio de mitigação ou prevenção de impactos ambientais;
- **PEIR** (Pressão – Estado - Impacto ambiental – Resposta): este modelo consiste numa ampliação do P-E-R em que é acrescentado os impactos ambientais, e é utilizado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (SILVEIRA; VAZ, 2014);
- **FPEIR** (Força-Motriz-Pressão-Estado-Resposta): este modelo parte do pressuposto de que as atividades antropogênicas são forças motrizes produtoras de pressões sobre o meio ambiente que podem alterar o estado atual ou futuro dos recursos naturais e engendrar diversos impactos ao homem e aos ecossistemas, fazendo a sociedade buscar respostas por meio de ações as quais podem ser voltadas a uma parte do sistema (VAZ, 2009).
- **SAU**: O Sistema Ambiental Urbano (SAU) foi desenvolvido por Mendonça (2004),

trata-se de um sistema complexo e aberto, usado para análises socioambientais em áreas urbanas. O SAU se subdivide em subsistemas, sendo eles o *INPUT*, que por sua vez se subdivide respectivamente em N (atributos naturais, tais como o solo, vegetação, clima, ar, água etc.) e S (dinâmicas sociais, como exemplo, indústrias, comércio, habitação e serviços etc.) e *OUTPUT*, que, por sua vez, refere-se à aparição de problemas socioambientais resultantes das interações dos subsistemas e subsistemas do S-A-U. Estes problemas demandam da atenção da população, das instituições e governantes para o planejamento e gestão socioambiental das cidades.

Nesta pesquisa, optou-se pelo modelo PEIR (Figura 2) proposto pela *Organization For Economic Cooperation and Development* (OECD, 1993) e adaptado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma, 2007). Sua escolha procedeu devido sua objetividade e fácil aplicação, além de que neste estudo foram levantadas algumas variáveis de impactos ambientais na bacia, os quais enquadram-se no referido modelo de sistematização de (geo)indicadores ambientais.

Figura 2 – Esquemática do modelo PEIR



Fonte: OECD (1993); Pnuma (2007)

Esse modelo sistêmico de análise ambiental estrutura-se nos seguintes compartimentos:

a) *Indicadores de Pressão*: As interações antrópicas com a natureza são

consideradas agentes estressores do sistema natural terrestre (impactos ambientais). De maneira geral, indicam as atividades humanas (socioeconômicas, uso e ocupação da terra, urbanização, agricultura etc.) que estão degradando o ambiente ou que num cenário futuro possam degradar.

- b) *Indicadores de Estado*: São indicadores do estado atual do meio ambiente, das atuais condições qualitativas e quantitativas dos recursos naturais e dos atributos físicos da paisagem. O atual estado da natureza é influenciado pelas dinâmicas naturais do planeta bem como pelas pressões da sociedade no sistema Terra.
- c) *Indicadores de Impacto*: São variáveis e/ou indicadores de impactos ambientais, ou seja, são os efeitos da degradação ambiental na paisagem e na população (SILVEIRA; VAZ, 2014).
- d) *Indicadores de Respostas*: Indicam possíveis medidas que a sociedade aliada às prefeituras e as políticas públicas podem adotar para desenvolver projetos ambientais que visem à sustentabilidade a fim de cessar ou amenizar as problemáticas ambientais identificadas em determinada área. Fornecem informações úteis para o monitoramento ambiental em diversas localidades. Em suma, este grupo é obtido pela análise integrada dos grupos de pressão e estado, o objetivo deste consiste na aquisição de informações que sejam relevantes para os dirigentes e cidadãos nas tomadas de decisões.

Os indicadores ambientais para cada fator de causalidade são reordenados por afinidade temática, desse modo, dentro da caixa pressão pode ser incluídos os segmentos de transporte, comércio, energia e uso e ocupação da terra. Na caixa estado, pode-se reunir os indicadores de temas de eutrofização de rios e lagos, degradação dos solos, qualidade do ar e água etc. Percebe-se que, em cada bloco ou seguimento do PEIR representado por fatores de causalidade, surge uma rede múltipla e esquematizada de indicadores ambientais (SANTOS, 2009).

Contudo, a autora chama a atenção para o fato de que sua elaboração sugere uma linearidade entre os fatores, o que de certa forma nem sempre se concretiza na maioria dos ambientes. Um dos pontos fracos do modelo é a limitação do compartimento pressão às atividades antrópicas, o que reduz o efeito a impactos como consequência da apropriação predatória do meio e não abre espaço para as transformações do estado atual do ambiente ocasionadas pelas dinâmicas terrestres naturais, que podem ser fontes de pressão. Logo, alguns ajustes na estrutura ou na interpretação do modelo são cabíveis.

2.4. Bacia hidrográfica como unidade de estudos ambientais e processos atuantes

As bacias hidrográficas são consideradas no âmbito do planejamento ambiental e territorial como uma unidade básica de pesquisas para a determinação de tomadas de decisões e medidas pelos agentes do planejamento com a perspectiva integrativa entre gestão de recursos hídricos e ambiental (CARVALHO, 2020).

Segundo o autor, a adoção da delimitação desse recorte espacial por meio dos divisores de água (bacias hidrográficas) no território brasileiro teve sua gênese a partir da promulgação da Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, conhecida como “Política Nacional dos Recursos Hídricos”, (BRASIL, 1997) e usada, a posteriori, pelas Leis nº 11.455, de 05 de janeiro de 2007 que estabeleceu diretrizes de saneamento básico (BRASIL, 2007) e Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

A Lei nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997) em seu primeiro capítulo (Art. 1º), que trata dos fundamentos, explicita que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. Ainda no Art 1º, consta que o gerenciamento deve ser descentralizado de modo que o Poder Público, os usuários e as comunidades devam fazer parte integrada de seu gerenciamento, e não apenas um grupo específico (BRASIL, 1997).

No Art 2º (BRASIL,1997), a lei esclarece os objetivos, dentre eles, a adoção de métodos preventivos e de defesa contra desastres naturais e impactos ambientais no sistema hidrológico ocasionados respectivamente pelas dinâmicas e processos naturais terrestres e por interferência antropogênica nas bacias hidrográficas que podem potencializar a ocorrência de feições erosivas, o aumento da produção de sedimentos e conseqüentemente o assoreamento dos canais fluviais, contaminação das águas pelo uso desenfreado de agrotóxicos e fertilizantes químicos nas lavouras, etc.

Em síntese, a lei das águas visa ao gerenciamento dos recursos hídricos com o propósito de garantir a acessibilidade no que se refere a qualidade e quantidade dos recursos hídricos para as atuais e futuras gerações, priorizando o desenvolvimento sustentável. Para assegurar tal desenvolvimento, a gestão integrada das águas deve ocorrer dentro dos limites dos divisores de água, respeitando os limites das redes de drenagem.

A Lei Federal 12.651 de 2012 ((BRASIL, 2012), pautada no recorte espacial de unidade hidrográfica, dispõe a proteção da vegetação nativa e estabelece a delimitação das áreas de preservação permanente em zonas rurais ou urbanas em que todas as faixas marginais dos cursos d’água perenes e intermitentes, a partir da borda da calha do leito regular devam atender:

- a) 30 (metros) para os cursos d'água com largura inferior a 10 metros;
- b) 50 (metros) para os cursos d'água que tenham entre 10 e 50 metros de largura;
- c) 100 (metros) para os cursos d'água com largura entre 50 e 200 metros;
- d) 200 (metros) para os cursos d'água que tenham largura entre 200 e 600 metros;
- e) 500 (metros) para os cursos d'água que tenham largura acima de 600 metros;

As áreas ao entorno das nascentes e olhos de água perenes devem ter no mínimo um raio de 50 metros de área de preservação permanente (BRASIL, 2012).

A bacia hidrográfica como unidade de recorte espacial para os estudos ambientais dentro do viés da Ciência Geográfica é adotada por se tratar de uma unidade sistêmica na escala adequada ao planejamento (CARVALHO, 2020).

Referente a isso, Carvalho (2018) considera as bacias hidrográficas como unidades espaciais de diferentes dimensões em que as águas superficiais são ordenadas em função das relações geológica-geomorfológica e climáticas, de modo que os cursos d'água se organizam como sistemas ambientais complexos que apresentam importância como elemento componente e modelador da paisagem geográfica, além de se constituírem como fontes de recursos naturais indispensáveis para o desenvolvimento das sociedades.

Os cursos d'água como sistemas complexos são defendidos também por Sotchava (1977) e Christofolletti (1981), que afirmam que seus elementos constituintes atuam de forma sistêmica e integrada, a interação dos componentes forma um todo integrado. Todavia, para compreender o todo, é preciso entender quais são suas partes e como elas interagem dentro do sistema (MATTOS; PEREZ FILHO, 2004).

Nesse contexto, Christofolletti (1979) considera a escolha de um recorte espacial para as pesquisas ambientais dentro da perspectiva sistêmica indispensável para a realização de análises integradas.

Segundo Carvalho (2020), é diante desta perspectiva que a bacia hidrográfica aparece como recorte espacial de análise sistêmica. Campos (2006), por interpretar as bacias hidrográficas como sistemas dinâmicos, defende que tal recorte se configura como unidade funcional básica de gerenciamento e planejamento ambiental, pois é neste recorte que ocorre a integração das águas com o meio físico-natural, biológico e social.

Atinente ao exposto, Tucci (1993) já havia explanado que os estudos pautados em bacias hidrográficas possibilitam ao pesquisador observar em detalhes as variações dos diversos processos que nela atuam, e por meio do registro das variações hidrológicas é possível

compreender os fenômenos e representá-los matematicamente, propiciando a integração multidisciplinar de sistemas de gerenciamento, pesquisa e atividade ambiental.

Segundo Charlton (2008), grande parte da energia que move o sistema hidrológico é dependente dos processos atmosféricos em que águas evaporam e ascendem até se condensar em elevadas altitudes para retornarem ao sistema hidrológico em forma de precipitação. A ação da gravidade é responsável por mover os fluidos particulados da alta vertente para baixa vertente, sendo um agente modificador da morfologia do sistema fluvial pelos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos.

França Junior (2010) explana que o sistema fluvial é constituído por variáveis, que são mutáveis ao decorrer do tempo; logo, a densidade de drenagem, descarga de fluidos, ângulo das vertentes, percentual de sedimentos, padrão e profundidade do canal estão sujeitas às alterações morfológicas geradas pelos agentes exógenos.

A relação existente entre os processos erosivos e deposicionais de uma bacia, no tempo e espaço, origina um complexo de formas topográficas que surgem como respostas a ambientes de deposição sedimentar numa maior escala de grandeza, caracterizando os deltas, as planícies de inundação e as formações sedimentares (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Romão (2010) acrescenta que, além das dinâmicas naturais do planeta, a apropriação social e econômica do espaço promove alterações ambientais num espaço parco de tempo nas bacias hidrográficas, que geralmente são ocasionadas pelos processos de urbanização e uso e ocupação da terra. Esses fatores engendram alterações em superfície podendo ter como consequência o aumento e concentração do fluxo de escoamento superficial, aumento da produção de sedimentos e assoreamento da drenagem.

As atividades humanas são consideradas por Charlton (2008) como uma influência que vem ganhando magnitude nos sistemas fluviais nos últimos 5000 anos. Atividades como agricultura, mineração e desmatamento afetam o sistema fluvial, sendo consideradas atividades diretas ou difusas. Qualquer alteração, seja ela antrópica ou natural, que ocorra na cabeceira de drenagem, provável área de nascentes de bacias hidrográficas, tem os efeitos de se propagam em direção a jusante podendo chegar numa bacia de maior grandeza, pois a bacia hidrográfica é um sistema complexo e dinâmico e seus componentes se relacionam e interrelacionam formando um sistema de maior complexidade (CARVALHO, 2020).

Embora as bacias hidrográficas tenham como referencial em seu sistema natural a água, é importante frisar que isso não a torna o único sistema ambiental, pois, o clima, as rochas, os solos, o relevo, a vegetação, a fauna e as atividades socioeconômicas e político administrativas são componentes integrantes em interações responsáveis pela complexidade do sistema (ROSS;

PRETTE, 1998).

Devido à integração dos atributos físicos-naturais dentro dos limites dos divisores de água, a análise da rede de drenagem, segundo Christofolletti (1980), pode subsidiar a compreensão e a elucidação de diversas questões ambientais, visto que tal recorte espacial favorece a compreensão dos componentes integrantes do sistema.

Dentre os componentes do sistema hidrológico, na presente pesquisa as nascentes situadas nas cabeceiras de drenagens foram objetos de pesquisa devido a sua inter-relação com os demais subsistemas que compõem a bacia em estudo. Ou seja, baseando-se nos referidos autores, citados anteriormente que adeptos a concepção geossistêmica, considerou-se que qualquer possível impacto ambiental ocasionado nas nascentes, os efeitos poderiam propagar-se em direção a jusante.

Correntemente, as nascentes são definidas de formas diversas por profissionais de diferentes áreas. Esta pesquisa concorda com as definições expressadas por Calheiros (2004); Felipe e Magalhães (2009); Código Florestal – Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012); Soares; Oliveira e Albuquerque (2021) e Oliveira et al. (2022), que, de forma análoga, as conceituam como um sistema ambiental definido por uma estrutura geológica em que há exfiltração de água na superfície, podendo formar a jusante canais fluviais intermitentes ou perenes, ou ainda, sucintamente correspondem ao processo hidrogeológico de afloramento do lençol freático sobre a superfície (pontualmente ou de forma difusa).

Segundo Santos (2020), esses sistemas ambientais são classificados quanto à tipologia, sendo as nascentes difusas quando a surgência de água se dá em diversos pontos da superfície litosférica. Já as do tipo pontual, a exfiltração é concentrada num único ponto do terreno. Segundo o mesmo autor, as nascentes se diferem quanto à continuidade do fluxo de escoamento, dos quais caracterizam-se as nascentes perenes, intermitentes e efêmeras. Respectivamente correspondem às de fluxo contínuo de escoamento, fluxo sazonal de escoamento e existência do escoamento somente durante os eventos de precipitação.

Ainda alusivo a tipologia, diferem-se as nascentes de gênese natural das antrópicas, a primeira forma-se através de processos hidrogeológicos sem a interferência humana, no segundo caso temos as surgências do lençol freático dadas diretamente ou indiretamente decorrente da ação do homem. Tomemos como exemplo, neste último caso, as voçorocas. As voçorocas são graves feições erosivas que provocam implicações socioambientais nos ambientes rurais e urbanos. Esse fenômeno é erosivo e, na maioria das vezes, de origem antrópica; as nascentes formadas pela voçoroca geram extravasamento do lençol freático e seu respectivo rebaixamento nas áreas de entorno. Outro exemplo de nascente antrópica são as de

origem de escavação de atividades mineradoras ou de terraplanagens para instalações de obras civis, quando estas atividades atingem o nível freático dá-se a exfiltração não natural (BRASIL, 2012).

As nascentes na contemporaneidade têm sofrido alterações expressivas na qualidade da água gerada pela exacerbada antropização das paisagens. A ocupação humana, o acelerado processo de urbanização, a retirada da cobertura vegetal original, as atividades agropastoris, o indevido lançamento de resíduos líquidos e sólidos e a construção de edificações próximos a estes ambientes se caracterizam como os principais fatores causadores de impactos ambientais nas nascentes (GRAÇA, 2019).

Nas áreas urbanas, os problemas ambientais nas nascentes são mais evidenciados devido, principalmente, a elevada produção de resíduos domésticos e industriais que nelas são dispostos. Este ato engendra o deterioramento dos recursos hídricos. Considera-se, também, que a malha urbana funciona de modo sistemático como corredores de águas pluviais, podendo transportar até as nascentes cargas de diversos materiais poluentes/contaminantes, como os resíduos sólidos e líquidos, metais pesados e diversos outros (CELERE et al., 2007).

Objetivando a preservação e a recuperação desses sistemas ambientais, o Código Florestal (BRASIL, 2012) estabelece no Art. 4º as Áreas de Preservação Permanente – APPs, em ambientes rurais e urbanos:

- a) Deve ser adotado um raio de no mínimo 50 metros na delimitação das APPs nas nascentes perenes, independente da situação topográfica;
- b) Somente as nascentes de gênese natural devem ser protegidas por APPs e, no caso das nascentes antrópicas (originadas por voçorocas ou escavamentos), é mais viável ambientalmente a proteção das águas subterrâneas, sendo recomendado então o tamponamento destas e se possível a reconstituição da topografia original;
- c) Nascentes do tipo intermitentes devem ser delimitadas por APPs quando estiverem localizadas em regiões de clima semiárido e seu período de intermitência for menor que dois anos;
- d) As nascentes intermitentes situadas na zona urbana só deverão ser objeto de delimitação de APPs quando o período de intermitência for inferior a um ano;
- e) As nascentes efêmeras ficam de fora do objetivo de delimitação de APPs correspondente;
- f) Nas áreas de encostas ou partes delas cuja declividade seja superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive.

Outras diretrizes da referida lei (BRASIL, 2012), que se relacionam diretamente ou indiretamente com as nascentes, são as seguintes:

- a) A supressão da vegetação nativa protetoras de nascentes só podem ser autorizadas em caso de utilidade pública;
- b) Em áreas de inclinação entre 25° e 45° serão permitidos o manejo florestal sustentável, as atividades agropastoris e a manutenção da infraestrutura para o desenvolvimento de atividades econômicas;

Santos (2020) chama a atenção para um equívoco habitualmente cometido por pesquisadores na identificação de nascentes. Em terrenos topograficamente planos, naturalmente existe a dificuldade do escoamento das águas pluviais, sendo possível, nesse caso, a formação da camada subsuperficial de argilas hidromórficas, e devido sua impermeabilidade propicia-se subsuperficialmente a saturação hídrica da camada, dessa forma, o erro de classificá-la como nascente difusa nos períodos chuvosos é expressivo.

O autor ressalta ainda que, de modo geral, a referida lei constitui-se relevante no sentido de preservar estes ambientes que, nas últimas décadas, vem sofrendo degradação. Contudo, ao analisá-la, nota-se que ela não abarca toda a complexidade física peculiar das nascentes, nem mesmo considera o contexto geoambiental para o estabelecimento da delimitação das áreas de APPs. Como exemplo ao exposto, toda a área de delimitação de uma bacia hidrográfica pode influenciar na dinâmica de funcionamento das nascentes; porém, a lei só faz alusão ao raio de 50 metros de APPs, constituindo-se uma falha.

Outro fator negativo é a generalização de surgências intermitentes, não levando em consideração diversos critérios ou variáveis no estabelecimento da mesma, neste caso os critérios atuais adotados são apenas o período de intermitência e o clima semiárido, os aspectos geomorfológicos, geológicos, pedológicos e fitotípicos, por exemplo, ficam de fora (SANTOS, 2020).

Esses fatores, somados ao fato de que instituições científicas e a opinião pública não foram amplamente consultadas na elaboração do Código Florestal, que Führ (2015), Silva (2016) e Fruet (2021) consideram a lei um regresso a proteção do meio ambiente, pois os setores econômicos foram priorizados não garantindo a seguridade, proteção e equilíbrio ecológico dos ambientes físicos-naturais. A vista disso, a lei necessita ser revisada e complementada para garantir a proteção das nascentes e cursos d'água.

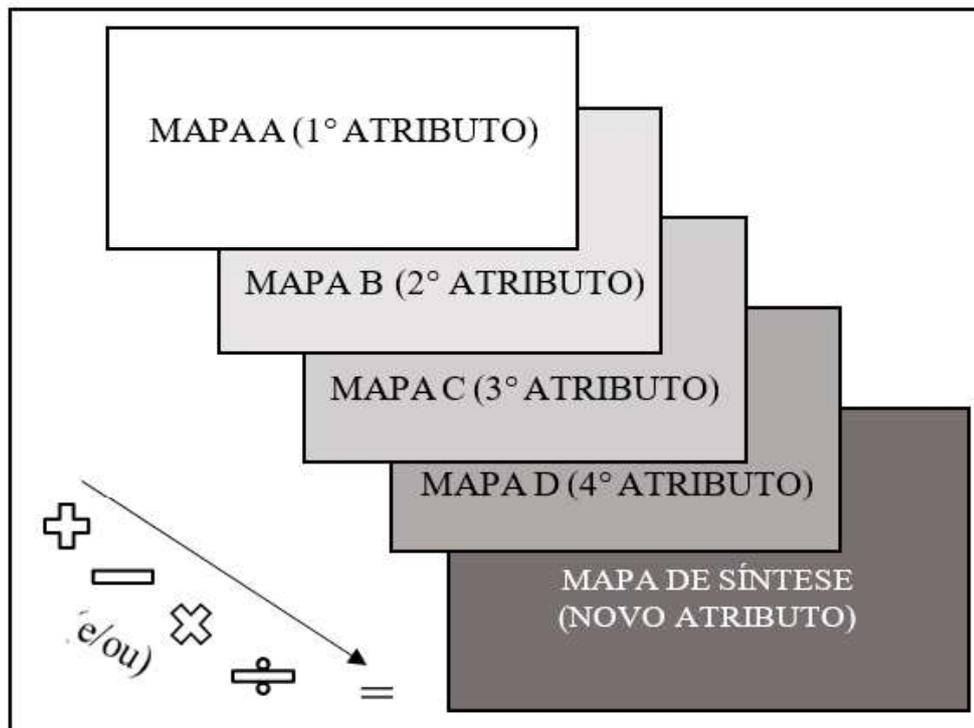
Assim, pelas discussões aqui apresentadas, esta pesquisa usou o recorte espacial pautado em bacias hidrográficas, mais especificamente a bacia hidrográfica do ribeirão Paracatu, localizado no município de Nova Esperança-PR, Atalaia e Presidente Castelo Branco.

2.5 Cartografia de Síntese e Geoprocessamento em análise ambiental

A Cartografia de Síntese está longe de ser uma prática moderna na Geografia. Sua gênese remonta o final do século XIX e início do século XX na escola francesa com Paul Vidal de La Blache com o objetivo de explicar, especialmente, a representação sistêmica e integrada da paisagem. A partir de então, a busca pelo raciocínio de síntese passa a ser intensamente explorada, sobretudo após a introdução do SIG (Sistemas de Informação Geográficas) na Cartografia (ZACHARIAS; VENTORINI, 2021).

Na Cartografia, a síntese constitui-se da combinação de duas ou mais variáveis (Figura 3), qualitativas ou quantitativas, para obter novas informações e fornecer um olhar diferente daquele obtido através dos atributos e ou/variáveis isoladas (SAMPAIO, 2012).

Figura 3 – Concepção teórica da Cartografia de Síntese



Fonte: Sampaio (2012), adaptado pelo autor

Isto posto, a Cartografia de Síntese propõe a elaboração de um mapa final resultante da fusão de informações, atributos e variáveis, no qual as informações contidas, gráficas e visuais,

juntamente às legendas autoexplicativas, podem servir aos agentes do planejamento como subsídios nas tomadas de decisões. Porém, na Cartografia contemporânea, ainda existe uma confusão acerca do que é de fato a Cartografia de Síntese (ZACHARIAS; VENTORINI, 2021).

Geralmente, mapas ditos de síntese, na verdade não são concebidos como sistemas lógicos e apoiam-se em justapor e sobrepor variáveis. Assim, o mapa final resulta em um emaranhado de hachuras, símbolos, cores e informações alfanuméricas, contrapondo a ideia de síntese (MARTINELLI, 2005).

Nos mapas de síntese, os elementos intrínsecos não são vistos e sim o resultado da fusão deles em tipos, diferenciando-se dos mapas de sobreposição ou justaposição (ARRUDA, 2011).

Este tipo de mapa é usado quando um número demasiado de temas, informações e ou/indicadores impossibilita a sobreposição simultânea dos mesmos devido à complexidade que envolveria sua leitura e compreensão. É neste viés que os mapas de síntese tendem assumir cada vez mais relevância na produção cartográfica de mapas temáticos, principalmente em pesquisas de cunho ambiental (MARTINELLI, 2005).

De acordo com Marques (2020), o conhecimento cartográfico alinhado à utilização de Sistemas de Informações Geográficas e técnicas de Geoprocessamento fornecem subsídios em estudos ambientais, bem como são relevantes para diversos segmentos e/ou áreas – construção civil, monitoramento/planejamento ambiental, energia, agricultura e mineração – pois essas técnicas possibilitam o armazenamento de informações em bancos de dados georreferenciados.

Além disso, Marques (2018, p. 61) considera que “por meio dessa importante ferramenta, é possível fazer todo o mapeamento do uso e da ocupação do solo e estabelecer quais serão os impactos sobre recursos hídricos, vegetação, fauna, áreas de preservação permanente”.

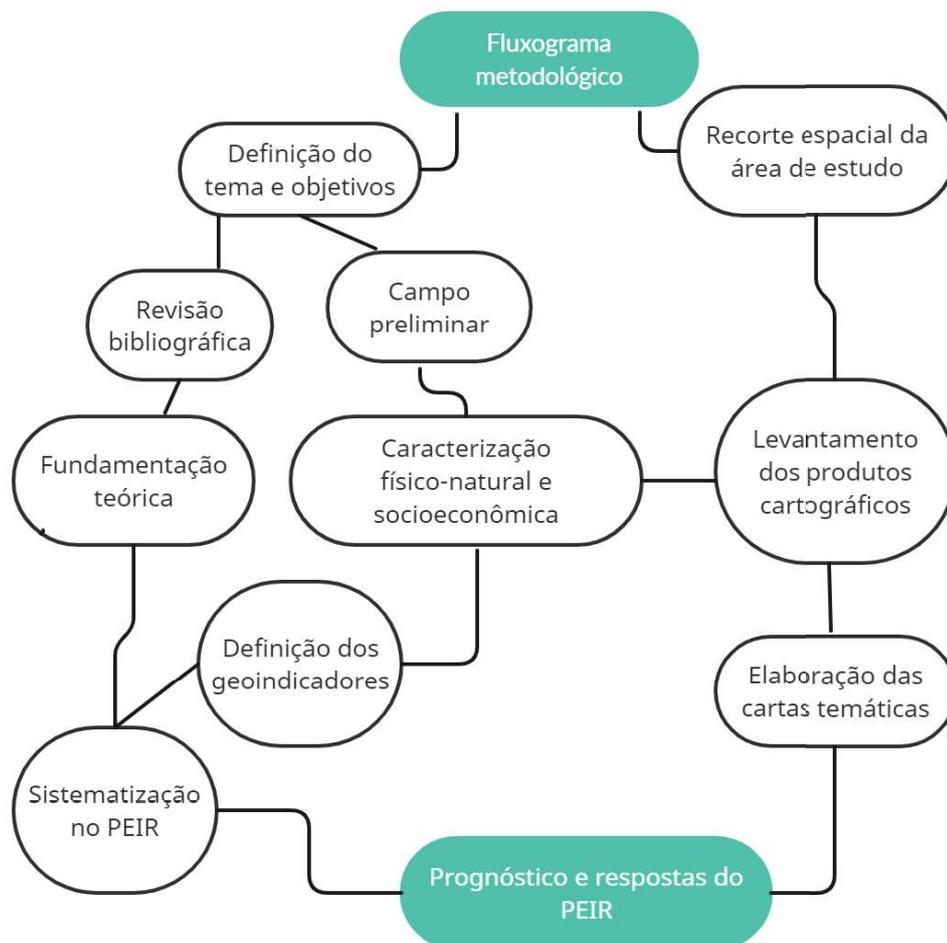
O Geoprocessamento consiste numa área que se dedica aos estudos do processamento de informações georreferenciadas. Essa técnica é feita através do uso de aplicativos e *softwares*, o qual possibilita a representação da superfície terrestre em produtos cartográficos (SILVA, 2018).

Desta forma, percebe-se que a Cartografia de Síntese, em conjunto com as técnicas de Geoprocessamento, pode fornecer aporte para a presente pesquisa, visto que sua aplicação integrada aos geoindicadores poderá permitir através do cruzamento de informações a elaboração de cartas temáticas/produtos cartográficos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta parte da dissertação trata dos procedimentos teóricos e metodológicos empregados na pesquisa, que correspondem de forma interligada na obtenção dos dados qualiquantitativos primários e secundários que foram subsidiados com o desenvolvimento da fundamentação teórica. Após a escolha do objeto de estudo, bacia hidrográfica do ribeirão Paracatu, foi realizada a sua geolocalização e a caracterização regional físico-natural da bacia que posteriormente, na parte dos resultados foi detalhada, em alguns aspectos na escala local conjuntamente aos aspectos socioeconômicos. Além da obtenção dos geoindicadores e da sua aplicabilidade no modelo PEIR, foi demonstrado o roteiro básico da elaboração dos produtos cartográficos com o uso do geoprocessamento. Na Figura 4, tem-se o fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Os temas/conceitos que fundamentaram a pesquisa, parte 2 da dissertação, foram investigados em dissertações e teses de doutorado no banco de dados do PGE (Programa de Pós-Graduação de Mestrado e Doutorado em Geografia da UEM) e em outras instituições de fomento à pesquisa, além de artigos disponíveis no portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), bases científicas e *sites* como o *Google Acadêmico*.

Ainda em relação ao levantamento de dados bibliográficos, utilizou-se também das bibliotecas dos órgãos públicos e privados como o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social), IAT (Instituto Água e Terra), antigo ITCG (Instituto de Terras Cartografia e Geociências), USGS (United States Geological Survey) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Posterior ao levantamento dos dados bibliográficos, foi realizada a caracterização físico-natural da área de estudo. Os temas abordados na caracterização foram os aspectos do contexto regional do substrato litológico, dos tipos de solos, das principais características do relevo, das variáveis climáticas com enfoque nos dados da estação meteorológica de Paranavaí e as principais características da fitogeografia.

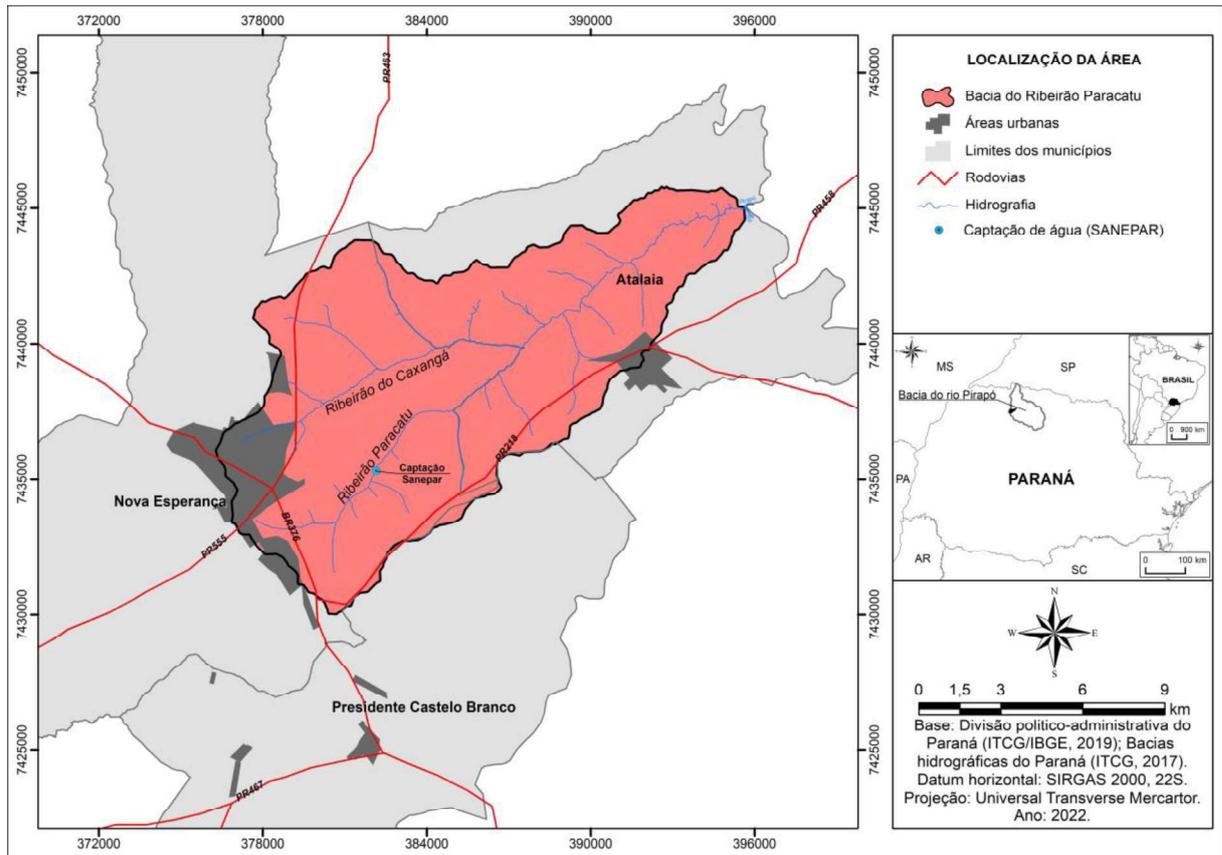
3.1 Objeto de Estudo

A área de estudo localiza-se na região Norte Central do Estado do Paraná – na unidade hidrográfica do Pirapó/Paranapanema 3 e 4, Piraponema, totalizando uma área aproximada de 13.147 km² – sendo Nova Esperança, Presidente Castelo Branco e Atalaia os municípios que são parcialmente drenados pela bacia (Figura 5). Os municípios situam-se respectivamente nas coordenadas de 23°1'03''S e 52° 12'18''W; 23° 16' 41" S e 52° 09' 06" W; 23° 9' 20" S e 52° 3' 33" W (PAIVA, 2017).

Segundo Graça (2019), o padrão de drenagem da bacia do ribeirão Paracatu é dendrítico e o regime fluvial é perene, ou seja, as águas escoam sob o leito fluvial durante todas as estações do ano, sofrendo variações apenas no volume de vazão entre as épocas de cheias e vazantes.

A respeito da utilização das águas da bacia para o abastecimento público, o ribeirão Paracatu, afluente do rio Pirapó, é responsável pelo fornecimento de cerca de 75% da água consumida pela população urbana de Nova Esperança (INSTITUTO DAS ÁGUAS PARANÁ, 2017).

Figura 5 – Localização da bacia do ribeirão Paracatu nos municípios abrangentes



Fonte: autor (2021)

A caracterização geral da área em estudo, regionalmente, incluiu os principais aspectos dos atributos do meio físico-natural (substrato litológico, pedológico, geomorfológico, climático e fitogeográfico).

3.1.1 Aspectos do Substrato litológico

A área de estudo está localizada geologicamente na Bacia Sedimentar do Paraná. É uma bacia sedimentar intracratônica continental de subsidência simples, pois, está inserida em área de regiões tectonicamente estáveis, que avança sobre a Placa Sul-Americana (ALMEIDA et al., 1981).

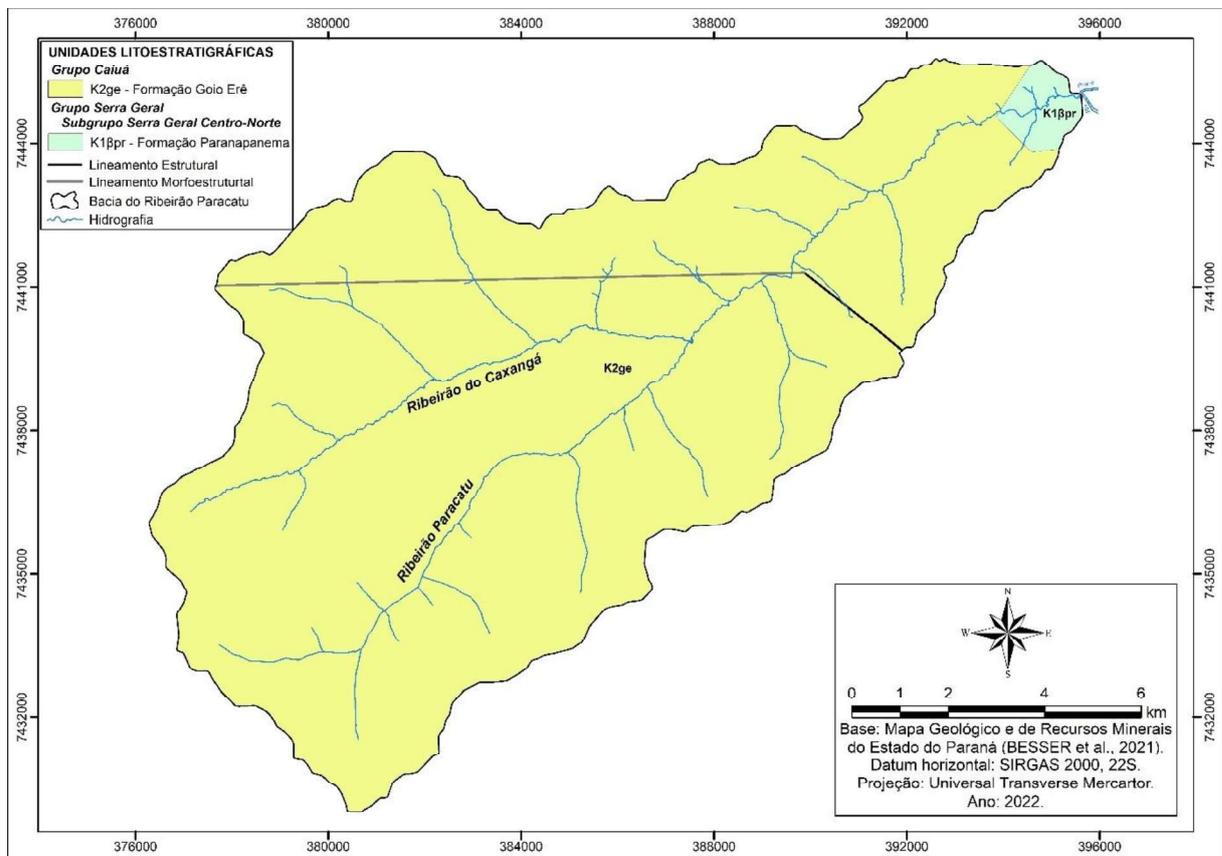
A origem da bacia se deu aproximadamente há 400 milhões de anos, durante o período Devoniano e se estendeu até o período Cretáceo. Sua natureza é de sedimentação continental, o ambiente deposicional é eólico e aluvio-fluvial (MINEROPAR, 2001).

A bacia de estudo abrange a extensão de ocorrência das rochas areníticas do Grupo Caiuá (Figura 6), este grupo engloba o Noroeste e algumas regiões do Norte Central do Paraná,

tendo como perímetro total correspondente a 23.900 km², o que corresponde cerca de 13% da área total do estado (FUMIYA, 2017).

Segundo o autor, o Grupo Caiuá (arenitos) assenta-se em discordância no que diz respeito as unidades litológicas do Grupo São Bento (basaltos) e exibem contato transicional com a Formação Adamantina, do Grupo Bauru. De acordo com Fernandes e Coimbra (1994) a gênese desses arenitos se correfere ao surgimento de uma depressão gerada por subsidência termomecânica ocasionada pela fragmentação do Gondwana no hemisfério austral, responsável pela origem da bacia Bauru e pela acumulação arenítica Caiuá e Bauru. Tal processo, segundo Fumiya (2017, p. 23), “data do intervalo Turoniano-Maastrichtiano do Cretáceo Superior, em ambiente predominantemente desértico, com ação de paleocorrentes eólicas”. Fúlvaro (1974), Coimbra et al., (1977) e Sá (2021) acrescentam que sua evolução sofreu influência decorrente de significativos altos internos, como os relacionados aos alinhamentos dos rios Tietê e Paranapanema, além do exercício ascensional de suas margens.

Figura 6 – Localização das unidades litológicas do Grupo Caiuá e da bacia hidrográfica estudada



Fonte: autor (2022)

Link de acesso ao mapa geológico do Paraná atualizado em 2021: (<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22492>).

O Grupo Caiuá da bacia Bauru integra três unidades areníticas deposicionais de

ambiente desértico, geneticamente paragonadas, homólogas a subambientes distintos: “zona central *the sand sea* (Fm. Formação Rio Paraná), zona de depósitos eólicos periféricos (Fm. GoioErê) e planícies de lençóis de areia (Fm. Santo Anastácio)”, segundo Fernandes e Coimbra (1994, p. 166).

Atinente a litologia e estrutura dos citados ambientes paleogeográficos, segundo Fernandes e Coimbra (1994), os arenitos da Formação Rio Paraná apresentam como características morfológicas coloração marrom-avermelhado a arroxeadado, sua textura pode variar de grãos finos a médios, quartzosos, secundariamente subarcoseanos. Contém fração muito fina subordinada, raramente apresentam estratos mais grosseiros de areia média e grossa. Possuem estratificação cruzada tabular de médio a grande porte contendo *sets* de até 10m de altura, com base tangencial, em corpos cuja geometria é cuneiforme limitados por superfícies de truncamento. Os arenitos desta unidade apresentam boa seleção por lâmina ou estrato, comumente os grãos são arredondados nas frações mais grosseiras, boa parte dos grãos expõe uma película ferruginosa, o que explica a superfície fosca.

Já a unidade paleogeográfica GoioErê, a qual a área de estudo é integrada, é formada por arenitos quartzosos amiudadamente subarcoseanos, de coloração que varia do marrom-avermelhado a cinza arroxeadado, de granulação fina a muito fina, e porventura média. Apresentam-se em estratos tabulares com estratificação cruzada, interpolados com bancos de espessura variável decimétrica a métrica, de característica maciça ou com estratificação sub-horizontal mal definida (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

A estratificação cruzada desta unidade litológica varia de médio a pequeno porte, até três metros de altura, é do tipo acanalada ou tabular tangencial na base e respectivamente apresentam corte perpendicular ou paralelo à direção do paleofluxo. De modo geral, os arenitos apresentam de 10 a 37% de silte e argila, contudo, parte dessa fração pelítica provém de neoformação, não representando a quantidade original de material fino a extremamente fino depositado como matriz. As partículas constituintes destes apresentam coloração fosca devido a película de óxido de ferro que o engloba (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

A Formação Santo Anastácio se caracteriza pela presença de arenitos finos a muito finos, contendo fração síltica subordinada, especialmente quartzosos de configuração maciça. Devido à presença do feldspato em quantidade secundária são de caráter subarcoseano. Exibem as vezes estratificação plano-paralela ou cruzada de baixa inclinação, e são mal definidas. Na matriz ocorre pouca fração silto-argilosa. Os grãos maiores são subarredondados e subangulosos, foscos, envolto a película de óxido de ferro, responsável pela tonalidade marrom-arroxeadado-claro dos arenitos (FERNANDES; COIMBRA, 2004).

Segundo Almeida et al., (1980), nessa unidade litológica, geralmente ocorre a formação de orifícios irregulares de forma tubular nas rochas, por causa da dissolução de nódulos e concreções carbonáticas. Segundo Fernandes e Coimbra (1994) em alguns locais é possível notar a cimentação carbonática, concreções tubulares e crostas duras.

De acordo com Sá (2021), o alto grau de erodibilidade dos solos vinculados aos arenitos friáveis do Grupo Caiuá é amplamente conhecido na literatura científica. Segundo ele, as práticas agropastoris têm propiciado intensos processos morfodinâmicos nos solos e conseqüentemente o engendramento de sulcos erosivos, constituindo-se prejudicial para a população e as municipalidades locais.

3.1.2 Aspectos pedológicos

Os principais aspectos pedológicos da área de estudo estão relacionados com a gênese e a textura, ou seja, os solos oriundos da degradação das rochas areníticas do Grupo Caiuá no Noroeste e parte do Norte Central do Paraná, apresentam texturas que variam de fina a média, apresentam coloração vermelha a arroxeada. São geralmente friáveis, ou seja, mais susceptíveis aos efeitos da meteorização mecânica, química e biológica. (CASAGRANDE, 2012).

As áreas abrangentes da bacia de estudo são constituídas pelas subordens de solos, segundo o autor, Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Distroférico; Argissolo Vermelho Distrófico; Nitossolo Vermelho Distroférico e Neossolos Quartzarênicos.

De acordo com Fonseca (2006) e Paiva (2017), esses solos, nos primórdios de sua exploração, contavam com razoável fertilidade natural. Entretanto, com o uso intensivo e a não adoção de práticas conservacionistas, tornaram-se depauperados num espaço de tempo relativamente curto. Esse fator associa-se também por se constituírem de um material de baixa reserva mineral e de gênese geológica de material “pobre” em fertilidade, conhecido como arenito Caiuá (GASPARETTO, 1999).

Avulta-se ainda, em conformidade com os autores citados no parágrafo anterior, que existe a presença de solos formados a partir de sedimentos fluviais em áreas de várzeas e solos desenvolvidos de rochas basálticas, em mistura com os fragmentos das rochas areníticas do Grupo Caiuá. Ainda em relação à degradação dos solos, os estudos realizados por Fonseca (2006) apontam que tal ocorrência se iniciou com a crise cafeeira, que mais tarde cedeu lugar à pecuária extensiva, cana-de-açúcar, mandioca, laranja e outras culturas. O uso e o manejo inadequado dos solos para a realização das referidas atividades econômicas, segundo a autora, culminou em uma miríade de impactos ambientais negativos, dentre eles, a redução de

fertilidade, acidificação, compactação e, principalmente, a formação de erosões.

3.1.3 Aspectos geomorfológicos

Segundo Maack (2002), as particularidades geomorfológicas da região estão inseridas na morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná, que por sua vez integra a unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense, também conhecido como planalto de *Trapp*, devido aos sucessivos derramamentos magmáticos fissurais ocorridos durante a Era Mesozóica.

De acordo com Santos et al., (2006), essa unidade se subdivide em cinquenta subunidades morfoesculturais, sendo a área de estudo integrada ao Planalto de Maringá-PR. Ainda de acordo com os autores, o relevo dessa subunidade morfoescultural ocupa uma área de 8032km², e se caracteriza com baixa dissecação, topos alongados e aplainados, vales em V abertos e vertentes convexas.

A amplitude altimétrica da subunidade morfoescultural é de 540 metros, 800 metros a altitude máxima e 260 metros a mínima. As classes de declividade que mais predominam no Planalto de Maringá são: < 6% e 6-12% (SANTOS et al, 2006). Essa caracterização dos aspectos geomorfológicos é importante na pesquisa devido as diferentes interações que as águas pluviais e as dinâmicas fluviais apresentam nas diferentes formas do relevo.

3.1.4 Aspectos climáticos

A área de estudo localiza-se numa zona de transição entre o clima tropical e subtropical, sendo uma região receptora de grande entrada de energia e influenciada por diversas dinâmicas de circulação atmosférica como a alta da Bolívia e a entrada das frentes frias, essas características, somadas a outras, fazem da região favorável a elevadas temperaturas (EDUVRIGEM; SOUSA; FERREIRA, 2018).

Segundo Destefani (2022), o clima da região de Paranaíba – local onde localiza-se a Estação Meteorológica mais próxima da área de estudo, aproximadamente 33 Km – na classificação de Koppen é o Subtropical Úmido Mesotérmico (cfa). A autora pautada nos dados do Instituto Agrônomo do Paraná (2020), discorre, sucintamente, que esse tipo de clima se caracteriza por apresentar verão quente e geadas pouco frequentes, além disso, a média de temperatura do mês mais quente é acima de 22°C e do mês mais frio inferior a 18 °C.

Os meses mais quentes são também os mais chuvosos, enquanto nos meses de junho, julho e agosto (inverno), ocorre a redução da temperatura e da quantidade de precipitação,

porém ao decorrer das estações do ano não ocorre déficit hídrico (DESTEFANI, 2022).

Segundo Nitsche et al., (2019), os dados da série histórica da média anual de chuvas em Paranavaí são de 1500 mm. Esta informação corrobora-se com a média pluviométrica anual expressa por Destefani (2022), 1527 mm, a qual obteve a informação através da série histórica -1975 a 2020 – do Instituto Agrônomo do Paraná, e, com o fenômeno ENOS, que pode intensificar os eventos de chuva no Sul do Brasil, em caso de El Niño, e prolongar os períodos de estiagem, no caso da La Niña (MONTANHER et al., 2023).

Essas informações climatológicas são relevantes para a pesquisa porque, se associadas a outras variáveis do sistema físico-natural, podem fornecer subsídios para a compressão e elucidação dos problemas ambientais da bacia em relação ao desenvolvimento de feições erosivas.

3.1.5 Aspectos fitogeográficos

A área de estudo integra o domínio do Bioma Mata Atlântica, cuja fitofisionomia é representada pela Floresta Estacional Semidecidual, tendo a perda parcial das folhas dos estratos superiores em estações climáticas desfavoráveis como principal característica (ZEIDAN; FERREIRA, 2020).

Segundo Roderjan et al. (2002), a unidade fitogeográfica contempla a espécie *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (Apocynaceae), popularmente conhecida como peroba – rosa, que se configura como a espécie mais característica em área submontana do domínio, constituindo um dossel de 30 a 40 metros de altura, são comuns também em área submontana as espécies: *Toledo* (Bignoniaceae) – ipê-roxo, *Astronium graveolens* Jack. (Anacardiaceae) – aroeira, *Diatenopteryx sorbifolia* Radlk. (Sapindaceae) – maria-preta, *Cordia trichotoma* (Vell.) – louro-pardo, *Peltophorum dubium* (Spreng.) – angico-amarelo, *Sorocea bonplandii*(Baill.) – espinheira-santa, *Allophylus guaraniticus* (St. Hil.) – vacum.

Ainda de acordo com os autores, essa formação fitogeográfica ocorre em diferentes unidades litológicas e classes pedológicas, podendo ser comuns em Latossolos, Nitossolos, Argissolos, Cambissolos, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos. Ao longo dos cursos d'água, têm-se os fragmentos da Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, que diferentemente da porção submontana se expressa menos desenvolvida, sendo as principais espécies: *Luehea divaricata* (ibatingui), *Syagrus romanzoffiana* (baba-de-boi), *Sebastiania commersoniana* (branquinha), *Calophyllum brasiliense* (jacareúba), *Campomanesia xanthocarpa* (gabirola-de-árvore), *Parapiptadenia rigida* (guarucaia), *Inga uruguensis* (ingá do brejo) e *Dalbergia*

frutescens (cipó). Em relação à formação montana, a fitogeografia se assemelha estruturalmente, fisionomicamente e floristicamente à formação submontana (RODERJAN et al., 2002).

Cabe destacar que a Floresta Estacional Semidecidual se encontra, atualmente, quase que numa totalidade, inexistente, limitando-se aos fundos de vale e nos fragmentos legais (PERIÇATO, 2018). As visitas em campo preliminares da pesquisa confirmam esta informação de degradação da vegetação mencionadas pelo autor.

3.2 Os geoindicadores e aplicabilidade no modelo PEIR

Por meio de visitas *in loco* em conjunto às revisões bibliográficas sobre levantamento e aplicabilidade de geoindicadores como ferramenta de análise ambiental, foram selecionados os geoindicadores mais adequados para a área de estudo. A metodologia adotada foi elaborada pela Comissão de Ciências Geológicas para Planejamento Ambiental, liderada por Berger (1996) que indicou uma lista de referência com 27 geoindicadores que permite a inserção de novos geoindicadores a depender das características do local. Posteriormente, a lista foi adaptada inicialmente no território brasileiro por Coltrinari (2002), como já explicitado anteriormente.

Nesta pesquisa, a lista de Berger (1996) foi adaptada de acordo com as especificidades e situação problema do objeto de estudo (bacia hidrográfica). Os geoindicadores da lista padrão identificados no levantamento preliminar, dados primários e secundários, da área de estudo, estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Os geoindicadores originais usados na pesquisa

Geoindicadores da lista original de Berger (1996) usados na pesquisa	Variáveis do geoindicadores analisadas
Morfologia dos canais fluviais;	<ul style="list-style-type: none"> • Morfometria dos canais; • Alterações no perfil dos canais e mudanças no padrão de drenagem.
Erosão dos solos e sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Espacialização das erosões na bacia; • Análise dos tipos de solos.
Qualidade da água superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Análise macroscópica de cunho qualitativo das águas das nascentes das cabeceiras de drenagem da bacia.

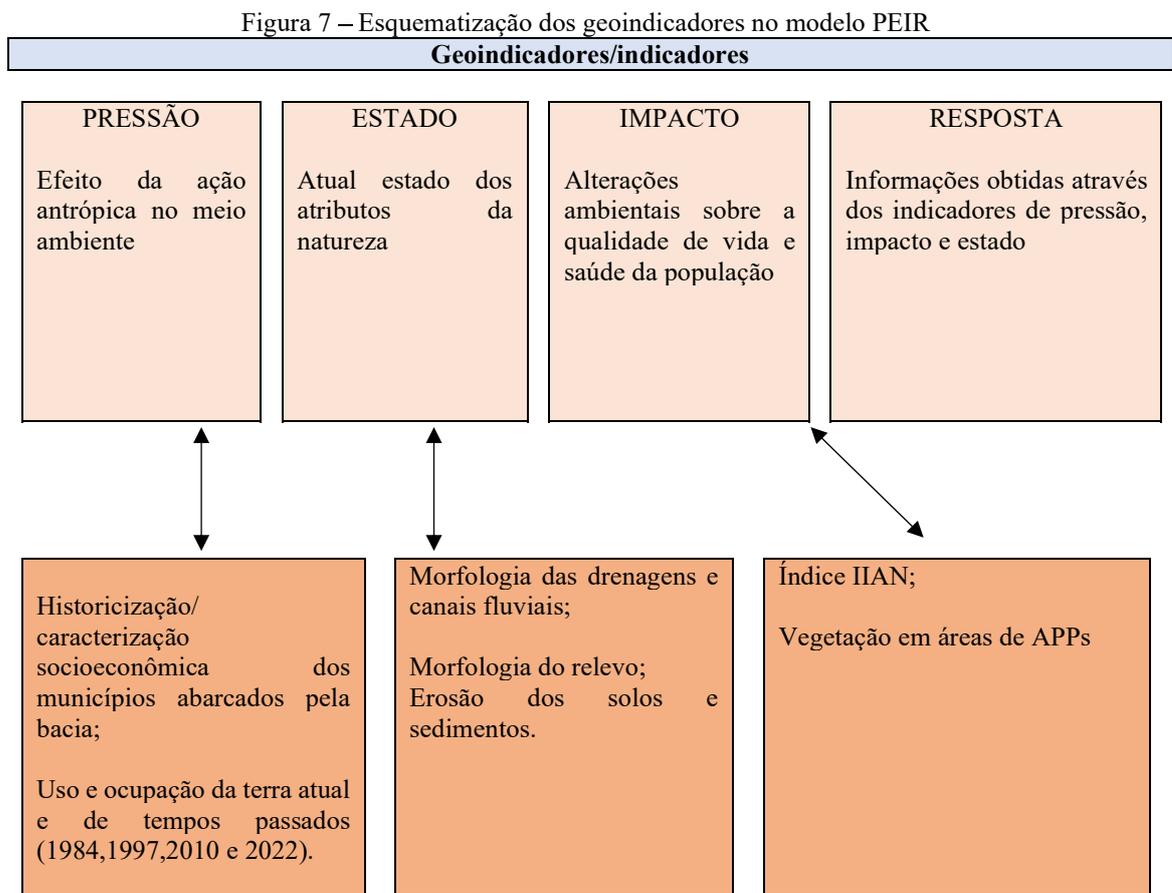
Fonte: Berger (1996)

A posteriori, os geoindicadores foram sistematizados no modelo PEIR (Pressão, Estado, Impacto e Resposta), conjuntamente outros indicadores foram levantados e adaptados na análise dos dados. No compartimento pressão, foram alocados os seguintes indicadores:

historicização/caracterização socioeconômica da área de estudo e o uso e ocupação da terra que foi analisado em períodos distintos (1984, 1997, 2010 e 2022).

No compartimento estado, os geoindicadores identificados foram: a morfologia do relevo incluindo a das drenagens e dos canais fluviais conjuntamente com a morfologia das vertentes que foi caracterizada com as altitudes (classes hipsométricas), as inclinações das vertentes (classes de declividade), o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) e a identificação de processos erosivos nos solos e sedimentos.

Já no compartimento do impacto ambiental foram identificadas as nascentes que foram avaliadas com o índice IIAN (Índice de Impacto Ambiental das Nascentes) e a degradação da vegetação em áreas de APPs (Áreas de Preservação Permanente). O compartimento resposta foi contemplado nas etapas finais da dissertação com proposições obtidas por meio dos geoindicadores e indicadores identificados e analisados de forma integrada nos estados de pressão, estado e impacto. Na Figura 7, observa-se as esquematizações dos geoindicadores no modelo PEIR.



Fonte: autor (2022)

3.2.1 Obtenção dos Indicadores de Pressão

Os indicadores de pressão correspondem aos efeitos da ação antrópica no meio ambiente. Na área em estudo foram considerados os seguintes: Historicização/caracterização da área de estudo e uso e ocupação da terra atual e de tempos passados, dos quais são respectivamente explicados nos parágrafos subsequentes.

A caracterização histórica da bacia em estudo foi desenvolvida através do levantamento de dados secundários disponíveis nos *sites* do IBGE e Iparde, e de artigos científicos disponibilizados pela CAPES, bases e *sites* de fomento à pesquisa científica. Os dados subsidiaram o levantamento da contextualização histórica de colonização dos municípios da bacia, da organização das propriedades rurais dentro dos limites hidrográficos da área de estudo, bem como o levantamento de dados socioeconômicos dos municípios abarcados pela bacia. Os dados socioeconômicos levantados referem-se ao número de habitantes, grau de urbanização das vias públicas, IDH – Índice de Desenvolvimento Humano, renda média mensal dos trabalhadores em empregos formais, PIB – Produto Interno Bruto e educação.

O segundo indicador de pressão – uso e ocupação da terra – foi identificado e analisado a partir da elaboração de cartas temáticas multitemporais do uso e ocupação da terra dos anos de 1984, 1997, 2010 e 2022. Além de checagens em campo para minimizar os erros de interpretação visual das classes de usos definidas, das quais referiram-se às áreas urbanizadas, gramíneas/pastagens, lavouras permanentes, lavouras temporárias, silvicultura, vegetação densa/mata, lagos, rodovias e estradas vicinais. As classes de uso e ocupação da terra selecionadas nesta pesquisa foram definidas pelo Manual de Uso da Terra (IBGE, 2013) como:

- a) Áreas urbanas: são os locais em que se encontram as cidades ou onde as superfícies naturais cederam lugar às superfícies artificiais;
- b) Cultivos permanentes: representam as áreas onde ocorre o cultivo de plantas com longo período de duração, ou seja, com ciclo vegetativo longo. Na presente pesquisa, a citricultura foi integrada a esta classe de uso da terra;
- c) Cultivos temporários: cultivo de plantas com ciclo vegetativo de média a pequena duração, após o ciclo a área fica livre para o próximo plantio;
- d) Pastagens: são áreas formadas pelo plantio de forragens permanentes, sendo destinadas ao pastoreio de gado. A pecuária de corte é a atividade predominante nestas áreas;
- e) Silvicultura: é a prática que utiliza a conservação, reprodução e cultivo de florestas para a manutenção e equilíbrio ambiental, bem como o extrativismo para atender as demandas do mercado;
- f) Vegetação densa/mata: são áreas com a presença de formações originais ou secundárias distribuídas ao longo de distintos ambientes e condições geográficas.

O período das cartas multitemporais de 1984, 1997, 2010 e 2022 de uso e ocupação da terra foram escolhidos em função da disponibilidade das imagens de satélite com características técnicas de resolução semelhantes. Ou seja, as cartas temáticas foram elaboradas a partir de imagens do LandSat 5 (1984, 1997 e 2010) e LandSat 9 (2022), disponibilizadas pela USGS. As imagens de ambos os satélites foram baixadas com passagem no mês de setembro, com resolução espacial de 30m e com taxa de cobertura de nuvens < 10%.

Nas imagens do LandSat 5, as bandas espectrais utilizadas foram 1 (Azul), 2 (Verde) e 3 (Vermelho); no LandSat 9, as bandas espectrais utilizadas foram 2 (Azul), 3 (Verde) e 4 (Vermelho). Foi utilizada a classificação Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood*) nas imagens com composição colorida RGB de falsa cor (3,2,1 – LandSat 5 ou 4,3,2 – LandSat 9) com, no mínimo, 50 pontos de treinamento por cada tipo de uso classificado na imagem.

As cartas de uso e ocupação da terra foram elaboradas no *software open source QGIS*, 3.16 *Hannover*. Foi empregue o Sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e Datum Sirgas 2000, sendo a escala de análise correspondente a 1:50.000.

3.2.2 Obtenção dos geoindicadores de Estado

Os geoindicadores de estado correspondem ao atual estado dos atributos da natureza. Os geoindicadores identificados foram relacionados com a morfologia do relevo e foram obtidos dados dos canais fluviais (hierarquia e mudanças no padrão de drenagem e perfil do canal), altitudes (classes hipsométricas) e inclinação do terreno (classes clinográficas ou de declividade), índice circular de rugosidade e processos erosivos.

A caracterização da morfologia dos canais fluviais, incluindo as nascentes localizadas nas cabeceiras de drenagens, envolveu a hierarquização dos canais fluviais segundo a proposta de Strahler (1952), que foi realizada com auxílio do arquivo *raster* (Modelo Digital de Elevação do ano de 2022), obtido pela USGS – *United States Geological Surve*, e o *software open source QGIS*, 3.16.

Além disso, foram coletadas, através de imagens de satélite do *Google Earth Pro*, as coordenadas geográficas das nascentes situadas nas cabeceiras de drenagens e as medidas morfométricas dos ribeirões Paracatu e Caxangá, como a extensão longitudinal dos canais fluviais, a amplitude altimétrica dos ribeirões das nascentes até a desembocadura no rio Pirapó e a largura das margens. Nessa parte da pesquisa, tais informações também foram verificadas em campo.

A análise das mudanças no padrão de drenagem e perfil do canal foi subsidiada através

da fotointerpretação de imagens de satélite atuais e do passado (1985, 2010 e 2022), disponíveis no *Google Earth Pro*. Sobre estas imagens, foram traçados perfis transversais multitemporais denominados de perfil A – B, C – D, E – F e G – H D, como por exemplo o perfil C - D da Figura 8.

Figura 8 – Perfil transversal C – D



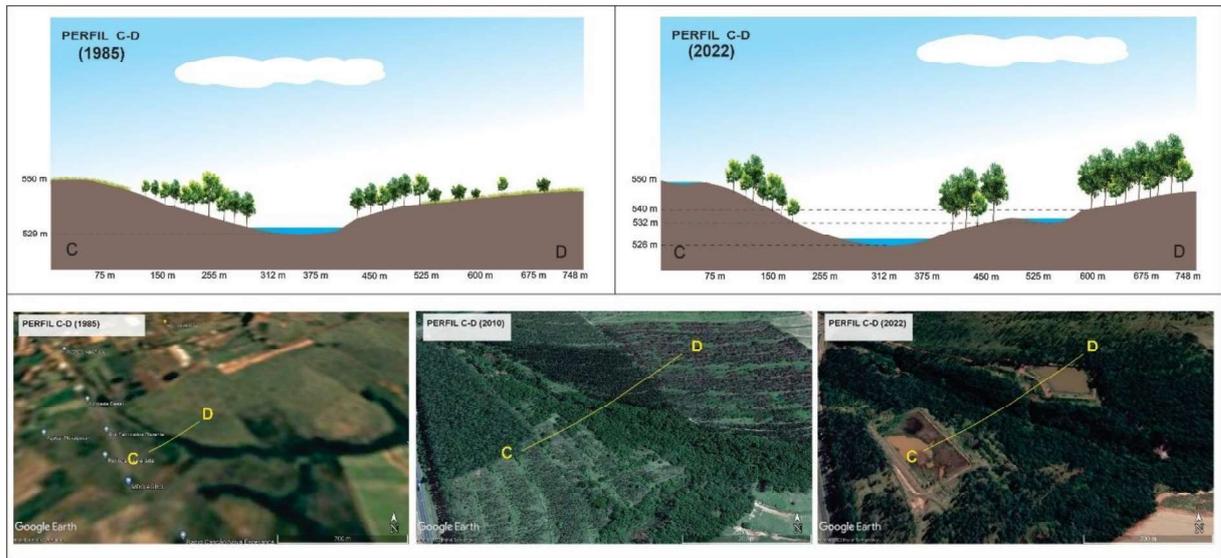
Fonte: adaptado do *Google Earth Pro* (2022)

Para cada perfil transversal multitemporal traçado sobre as imagens SRTM do *Google Earth Pro*, foram elaborados *croquis* representativos dos perfis transversais do relevo. Os perfis compreenderam os anos de 1985 e 2022, sendo eles elaborados no *Google Earth Pro*, 2022 e ajustados conforme a análise visual das próprias imagens de satélite, posteriormente a finalização dos *croquis* procedeu no programa *CorelDRAW Graphics Suite X8*.

O perfil de 1985 foi estimado; isto deve-se ao fato de que as imagens de satélites disponíveis apresentaram qualidade inferior nesta escala de análise (escala grande) para a bacia de estudo, para a sua elaboração foram levados em consideração as transformações ambientais que se sucederam nos anos posteriores. Na Figura 9, observa-se o perfil transversal C – D do relevo.

Para a análise das altitudes da bacia em estudo, foi elaborada a carta hipsométrica, que é uma representação gráfica das variações altimétricas do relevo, representada por classes. Na pesquisa, foram estabelecidas nove classes hipsométricas com equidistância de 25m e duas classes com equidistâncias de 4m e 12m, limites inferior e superior: 346-350; 350-375; 375-400; 400-425; 425-450; 450-475; 475- 500; 500-525; 525-550; 550-575 e 575-587. As cores adotadas para a representação das classes de altitude foram pautadas nas normas internacionais da Cartografia Temática (LIBAUT, 1975).

Figura 9 – Perfil transversal do relevo C – D



Fonte: autor (2022)

Já para a análise das inclinações do relevo, foi elaborada a carta clinográfica ou de declividade, que pode ser representada em graus ou, e o mais utilizado, porcentagens. Todavia, optou-se, nesta pesquisa, pelo estabelecimento das classes clinográficas em graus, e a justificativa se dá pela viabilidade de relacioná-la com o Código Florestal/Lei N° 12.651/2012 (BRASIL, 2012), que faz mensuração das declividades em graus. As declividades também foram enquadradas em conformidade com as classes de relevo definidas pela EMBRAPA (2006) que as classificou em relevo forte ondulado, ondulado, suave-ondulado e plano.

Ambas as cartas temáticas elaboradas na pesquisa tiveram como base matricial imagens (modelos digitais de elevação) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) – NASADEM, com resolução espacial de 30m, obtidos pela USGS. O *software* empregado foi o QGIS 3.16, Hannover, sendo empregado o sistema de projeção UTM e Datum Sirgas 2000.

Além disso, na análise da morfologia do relevo, foi elaborada uma carta das classes de vertentes, tendo como base o trabalho de Valeriano (2008) desenvolvido para o INPE. Os dados matriciais e o *software* empregado na elaboração da referida carta foram os mesmos descritos anteriormente na elaboração da carta hipsométrica e clinográfica. Com esta base cartográfica, no QGIS, 3.16, Hannover, foram gerados três perfis topográficos transversais do relevo, sendo denominados: perfil A – B (baixo curso da bacia), C -D (médio curso) e E – F (alto curso).

Outra variável analisada foi o ICR (Índice de Concentração de Rugosidade), que consiste numa análise de cunho tridimensional, o qual possibilita a obtenção de valores que são empregados no mapeamento do relevo em distintos padrões de dissecação (SAMPAIO; ALGUSTIN, 2014). Dessa forma, utilizou-se na pesquisa um Modelo Digital de Elevação –

MDE, imagem SRTM (*Shuttle Radar Topograph Mission*) – NASADEM, com resolução espacial de 30m, obtido pela USGS. Posteriormente, no *QGIS 3.16, Hannover*, foram obtidos através do MDE os valores de declividades em porcentagens (%), dos quais foram convertidos em dados vetoriais e a partir disso, aplicou-se o Estimador de Densidade por Kernel, obtendo-se o ICR da área de estudo.

A obtenção dos dados de estado também envolveu a pesquisa *in loco*, do qual buscou-se averiguar as transformações ambientais decorrentes de fatores antropogênicos no sistema fluvial e na cabeceira de drenagem da bacia, como, por exemplo, a retificação e canalização dos cursos d'água, construção de barragens, ocorrências de erosões marginais e assoreamento dos cursos d'água etc.

A caracterização das nascentes abarcou, na pesquisa, a análise histórica de ocorrência de processos erosivos, subsidiada pelo levantamento de dados primários (pesquisa de campo) e secundários, através de artigos e dissertações disponíveis sobre a área de estudo. Integrou-se também na referida análise a utilização de fotografias aéreas do IBC (Instituto Brasileiro do Café) de 1980 da nascente do ribeirão Paracatu, e imagens de satélite disponíveis no Google Earth *Pro* de 2000 e 2022 da nascente mencionada.

Na análise dos processos erosivos identificados na bacia, foram feitos levantamentos bibliográficos do assunto, como por exemplo, os trabalhos de Calegari (2004), Casagrande (2012) e Bonifácio (2019) que forneceram subsídios para a descrição dos tipos de solos da bacia do ribeirão Paracatu, bem como de suas características morfológicas. Esse levantamento de dados secundários teve por objetivo identificar as localidades mais propensas ao desenvolvimento de processos erosivos na bacia.

O trabalho desenvolvido por Bonifácio (2019) apresenta o mapeamento mais recente da fragilidade dos processos erosivos (fragilidade ambiental) e a EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo (*Universal Soil Loss Equation – ULES*), metodologia proposta por Wischmeier e Smith (1978), da bacia hidrográfica do rio Pirapó, onde está localizada a bacia de menor grandeza do ribeirão Paracatu. Adotando-o como base, os pontos de erosão da área de estudo foram mapeados, além disso, através da imagem do LandSat 9 com resolução espacial de 15m, do sensor OLI (223/076) e com passagem no dia 24 de setembro de 2022, foram identificados diversos processos erosivos na bacia que culminaram em feições erosivas diversas (sulcos, ravinas e voçorocas).

A carta de erosão dos solos foi elaborada no *software open source QGIS, 3.16 Hannover*, o qual empregou-se o Sistema de projeção UTM e Datum Sirgas 2000, sendo a escala de análise de 1:50.000.

Posteriormente, utilizando o mesmo *software* e o mesmo sistema de projeção, foi elaborada a carta de solos da bacia, cuja base utilizada foi o Mapa de Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA/ITCG, 2007).

3.2.3 Obtenção dos indicadores de Impacto Ambiental

Os indicadores de impacto ambiental foram identificados nas nascentes e nas áreas com vegetação que foram delimitadas para APPs.

3.2.3.1 Índice de Impacto Ambiental das Nascentes

A caracterização das nascentes abarcou na pesquisa a análise histórica de ocorrência de processos erosivos, sendo a mesma subsidiada pelo levantamento de dados primários (pesquisa de campo) e secundários, através de artigos e dissertações disponíveis sobre a área de estudo. Integrou-se também, na referida, análise de fotografias aéreas do IBC (Instituto Brasileiro do Café) de 1980 da nascente do ribeirão Paracatu, e imagens de satélite disponíveis no Google Earth *Pro* de 2000 e 2022 da nascente mencionada

O procedimento metodológico descrito a seguir foi aplicado no primeiro semestre de 2022 em três nascentes situadas no município de Nova Esperança – PR, na cabeceira de drenagem da bacia do ribeirão Paracatu, nomeadas nesta pesquisa de N1, N2 e N3, situadas respectivamente nas coordenadas de 23°10'42.24"S e 52°12'3.98"W; 23°12'10.68"S e 52°11'40.58" W; 23°13'11.24"S e 52°10'0.73"W.

Esta etapa da pesquisa procedeu através da análise macroscópica qualitativa do grau de impacto ambiental das nascentes (IIAN) proposta por Gomes et al. (2005) e, a posteriori, usada e aprimorada por Salles et al., (2008); Covre (2010); França Junior e Villa (2013); Malaquias (2013); Oliveira et al., (2013); Belizário (2015); Leal et al., (2017) e Fruet (2021). Os parâmetros analisados (Tabela 2) receberam uma pontuação de um a três, de acordo com o grau de degradação ambiental, sendo 1 (ruim), 2 (médio) e 3 (bom).

Tabela 2 – Parâmetros macroscópicos adotados no IIAN

Índice de Impacto Ambiental Macroscópico (IIAN)			
PARÂMETROS MACROSCÓPICOS DO IIAN			
Pontuação	Ruim (1)	Médio (2)	Bom (3)
Cor da água	Leitosa	Turva	Transparente
Odor da água	Fétido	Fraco	Ausente
Espuma na água	Muito	Pouco	Ausente
Materiais flutuantes na nascente	Muito	Pouco	Ausente
Resíduos sólidos nas margens	Muito	Pouco	Ausente
Vegetação (APPs)	Ausente	Pouco suprimida	Muito
Processos erosivos	Muito	Pouco	Ausente
Lançamento de esgoto	Presente	Provável presença	Ausente
Acesso a nascente	Fácil	Difícil	Inacessível
Afloramento	Assoreado	Difusa	Pontual
Uso por animais	Constante	Esporádico	Ausente
Proximidade da nascente com os estabelecimentos residenciais	<50	Entre 50 e 100	>100
X – Marcador de pontuação	Pontuação final:		

Fonte: Adaptado de Gomes et al., (2005) e Fruer (2021)

Com a pontuação de cada parâmetro estabelecido foi realizada a somatória dos valores, ao qual obteve-se o índice IIAN. As nascentes N1, N2 e N3 foram classificadas no IIAN conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do grau de preservação no IIAN

Classe	Grau de proteção	pontuação
A	Ótimo	36 – 34 pontos
B	Bom	33 – 31 pontos
C	Razoável	30 – 28 pontos
D	Ruim	27 – 25 pontos
E	Péssimo	< 25 pontos

Fonte: Adaptado de Gomes et al., (2005) e Ramos; Santos (2017).

3.2.3.2 Índice de Impacto Ambiental das APPs

O indicador de impacto ambiental relacionado à variável vegetação se referiu às áreas de APPs (Áreas de Preservação Permanente) presentes (ou não) nas margens dos cursos d'água e nas nascentes da bacia. Na análise do referido indicador, foi gerado um *buffer* de APPs no *QGIS*, 3.16, *Hannover*. Seguindo os critérios definidos pelo Código Florestal/Lei N° 12.651/2012 (BRASIL, 2012) no que tange à delimitação de APPS, foi gerado um *buffer* de

30m em cada linha de rio e de 50m de raio no entorno das nascentes, posteriormente subtraiu-se do *buffer* às áreas já mapeadas de uso da terra concernentes as áreas de vegetação densa (no caso desta pesquisa referiram-se as áreas de mata ciliar). Através desse cálculo, obtiveram-se os valores em porcentagens (%) das áreas que precisam ser reflorestadas.

O arquivo *raster* usado como base na geração do *buffer* foi uma imagem do LandSat 9 com resolução espacial de 30m. Utilizou-se o Sistema de projeção UTM e Datum Sirgas 2000, sendo a escala de análise de 1:50.000.

3.3 Produtos cartográficos

Os dados cartográficos foram obtidos por órgãos especializados, como: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); ex Instituto de Terra, Cartografia e Geociências (ITCG); Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE); *United States Geological Surve* (USGS); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que forneceram mapas, cartas e imagens de satélite para a elaboração dos produtos cartográficos que alimentaram o Sistema de Informações Geográficas - SIG. As cartas temáticas foram elaboradas em escala de 1:50.000 e a resolução das imagens de satélite (SRTM, LANDSAT 5 e LANDSAT 9) foi de 30 m/pixel.

A vetorização dos dados raster foi feita no *software open source QGIS, 3.16 Hannover*, todos reprojitados para o Sistema de Projeção UTM e Datum Sirgas 2000.

Os procedimentos adotados na elaboração das cartas multitemporais de uso e ocupação da terra, hipsométrica e clinográfica, das formas de vertentes, ICR, *buffer* de APPs, mapeamento das erosões na bacia do ribeirão Paracatu e dos perfis transversais para a análise das mudanças no padrão de drenagem e perfil do canal encontram-se explicadas respectivamente nos itens 3.2.1; 3.2.2 e 3.2.3.2, juntamente aos itens e subitens de obtenção dos dados do modelo PEIR.

Os demais produtos cartográficos serão explanados na sequência e são os seguintes: carta das unidades litológicas do Grupo Caiuá e Serra Geral, localização da área de estudo, localização das nascentes das cabeceiras de drenagens e a carta de hierarquização dos canais fluviais segundo a proposta de Strahler (1952).

A carta temática de localização das unidades litológicas do Grupo Caiuá e Serra Geral na Bacia Bauru teve como base o mapa geológico atualizado do Paraná, em escala de 1:600.000, disponibilizado pela Repositório Institucional de Geociências – CPRM (<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22492>). Sua elaboração procedeu no *QGIS, 3.16*,

Hannover, e foi empregue o Sistema de Projeção UTM e Datum Sirgas 2000.

O arquivo matricial usado para a espacialização da rede de drenagem foi um MDE (Modelo Digital de Elevação) extraído de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) – NASADEM, com resolução de 30 m/pixel. Por meio da imagem SRTM, foi possível delimitar o contorno da bacia hidrográfica e identificar a rede de drenagem. Os limites municipais de Nova Esperança, Atalaia e Presidente Castelo Branco foram obtidos através do SIG disponível no *site* do IBGE, desta forma, foi possível espacializar a bacia dentro dos contornos municipais.

Na carta de localização das nascentes, o dado matricial utilizado para a espacialização das nascentes nas cabeceiras de drenagens (N1, N2 e N3) foi uma imagem de satélite do *Google Earth Pro* e os limites estaduais, dados vetoriais, foram obtidos juntamente ao *site* do IBGE. A referida carta temática foi elaborada no, o qual empregou-se o Sistema de Projeção UTM e Datum Sirgas 2000, sendo a escala de análise de 1:50000.

A carta de hierarquização dos canais fluviais foi elaborada no *QGIS*, 3.16, *Hannover*, foram extraídos de um MDE, imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) – NASADEM, com resolução de 30 m/pixel, disponibilizada pela USGS, a rede de drenagem. No mesmo *software*, a bacia foi delimitada; e, com o uso da ferramenta “*Layout de Impressão*”, foi realizada a definição da hierarquização dos canais fluviais da bacia segundo a proposta de Strahler (1952). Utilizou-se, na carta temática, o Sistema de Projeção Geográfica e Datum Sirgas 2000, a escala de análise foi de 1:50.000.

3.4 Análise dos dados

Nesta etapa da pesquisa, foi realizada a triangulação dos dados obtidos por meio da análise dos geoindicadores e indicadores de pressão, estado e impacto, o que possibilitou responder às indagações que motivaram o desenvolvimento da pesquisa, bem como o fornecimento de respostas que poderão subsidiar ações mitigadoras e planos preventivos para o objeto de estudo, completando-se, assim, o compartimento resposta do modelo PEIR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões da dissertação dividiram-se em quatro partes. Na primeira parte, são apresentados os resultados dos indicadores que compuseram o componente “pressão” do modelo PEIR, composto pela historicização e caracterização socioeconômica das municipalidades englobadas pela bacia e a análise do uso e ocupação da terra em quatro períodos distintos (1984, 1997, 2010 e 2022).

Na segunda parte, têm-se os resultados dos geoindicadores do componente “estado” do modelo PEIR, dos quais corresponderam, sequencialmente, na caracterização físico-natural dos canais fluviais e das nascentes nas cabeceiras de drenagem, geoindicadores de relevo (clinografia, hipsometria, formas das vertentes, Índice de Concentração de Rugosidade – ICR), erosão dos solos e as mudanças no padrão de drenagem e perfil do canal.

A terceira parte trata do componente “impacto ambiental” do modelo PEIR, os indicadores analisados correspondem às áreas de nascentes nas cabeceiras de drenagem, analisados a partir do Índice de Impacto Ambiental das Nascentes - IIAN e as áreas de vegetação ciliar (APPs) ao longo das extensões marginais dos canais fluviais.

Finalmente, na quarta parte da dissertação, são apresentados os resultados do componente “resposta” do modelo PEIR, que consistem em ações mitigatórias que podem ser adotadas pelo comitê de bacias hidrográficas, no caso da área de estudo, representada pela unidade do Piraponema, poder público e privado, ações conjuntas das prefeituras municipais e órgãos ambientais estaduais que englobam a bacia de estudo.

4.1 Indicadores de Pressão

4.1.1 Historicização e caracterização socioeconômica da área de estudo

O histórico de colonização dos municípios abarcados pela bacia do ribeirão Paracatu está intrinsecamente associado a Companhia de Terras do Norte do Paraná (CTNP), empresa desbravadora de terras que, no ano de 1925, com o valor de 8.712 contos de réis, obteve, do Governo do Estado do Paraná, 450.000 mil alqueires de terras. Na época, o estado era governado por Dr. Caetano Munhoz da Rocha. Nessa aquisição, os atuais municípios de Nova Esperança, Atalaia e Presidente Castelo Branco foram compreendidos (IBGE, 2022).

A criação do município de Nova Esperança foi aprovada pela Lei Estadual nº 790, de 14/11/1951, com a ressalva de que a nova unidade administrativa só seria instalada com a posse

do primeiro prefeito eleito, que ocorreu no dia 14 de dezembro de 1952 (IBGE, 2022).

Nova Esperança é o resultado da divisão do município de Mandaguari desmembrado de Apucarana e que, por sequência, anos antes havia sido desmembrado de Londrina. A princípio, o município integrava um amplo território de 3.600km², tendo aproximadamente 60 milhões de cafeeiros e 16 patrimônios que mais tarde foram emancipados, sendo eles: Atalaia, Nova Bilac, Iroí, Florai, Esperança, Uniflor, Paranacity, Cruzeiro do Sul, Paranapoema, Paraná Real, Inajá, Sumaré, Santo Antônio do Caiuá, São João, Maristela e Alto Paraná (CASAGRANDE, 2012).

Segundo o IBGE (2022), em 25 de julho de 1960, foi sancionada a criação do município de Atalaia, que foi desmembrado de Nova Esperança, através da Lei nº 4.245. A instalação oficial do referido município ocorreu no dia 15 de novembro de 1961.

Já em 1964, o distrito de Iroí foi desmembrado de Nova Esperança e elevado à categoria de município por meio da Lei Estadual nº 4.992, passando a ser denominado de “Presidente Castelo Branco”; sua instalação oficial ocorreu no dia 29 de novembro de 1965 (IPARDES, 2022).

No início da colonização dos referidos municípios, a vegetação primária alterada era característica de suas paisagens. Posteriormente, esse tipo de vegetação cedeu lugar à cultura do café e, com a crise cafeeira em meados da década de 1970, à pecuária, à laranja, à cana-de-açúcar e a diversas outras ramificações agrícolas que passaram a constituir a matriz econômica do setor primário destes locais (FONSECA, 2006).

As propriedades agrícolas dos municípios colonizados pela CTNP, incluindo os da área de estudo, são estruturadas no formato espinha de peixe: geralmente, nas áreas de baixa vertente, próximos dos cursos d'água, encontram-se as residências e os pomares dos proprietários, enquanto, nos setores de alta vertente, tem-se a produção de diversas culturas (temporárias, permanentes e pastagens.). As rodovias e as estradas vicinais, na maioria das vezes, foram localizadas nos topos das vertentes (IMAY, 2000).

No caso de Nova Esperança, cuja localização geográfica integra as coordenadas de 23° 11' 49" S e 52° 13' 17" W e, a sede municipal nas coordenadas 23°1'03''Sul e 52° 12'18', abrange uma extensão territorial de 401.587km² e altitude de 550m, atualmente as principais atividades agrícolas do município estão relacionadas com a cultura da mandioca, cana-de-açúcar e a pecuária (IPARDES, 2022).

Enquanto o município de Atalaia, situado nas coordenadas geográficas de 23° 09 ' 06 " S e 52° 03 ' 21 " W e, a sede municipal nas coordenadas de 23° 09' 06. 29'' S e 52° 03' 14. 43 W, tendo uma área total de 137,246km² e altitude de 519m, tem o milho, a soja, a cana-de-açúcar e a laranja como as principais culturas do setor primário (IPARDES, 2022).

O município de Presidente Castelo Branco, encontra-se localizado nas coordenadas geográficas de 23 ° 16 ' 54 " S e 52 ° 09 ' 28 " W e altitude de 560m, tendo uma área total de 154, 631km². As culturas que mais se destacam no município são as de cana-de-açúcar, mandioca, milho, soja e laranja (IPARDES, 2022).

Se analisados sob uma perspectiva multitemporal, os referidos municípios apresentam paridade no que concerne à evolução histórica de uso e ocupação da terra, pois foram colonizados pela CTNP (após a Segunda Guerra Mundial denominada Companhia Melhoramentos do Norte do Paraná - CMNP) e passaram pela mesma transição da cultura cafeeira para a cultura da mandioca, laranja, cana-de açúcar e pecuária. Nesse período, segundo dados do IPARDES (2022), ocorreu a transição demográfica de parte expressiva da população do campo para as cidades; atualmente, a população urbana desses municípios é maior do que a rural, os dados populacionais de 2021 desses municípios podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 – População total do ano de 2021 dos municípios compreendidos pela bacia

População total dos municípios compreendidos pela bacia do ribeirão Paracatu em 2021		
Municípios	População urbana	Porcentagem da população rural
Nova Esperança - PR	28.062	8%
Atalaia - pr	3.781	14,46%
Presidente Castelo Branco - pr	5.395	12, 27%

Fonte: IBGE (2022)

Ou seja, destes municípios, Atalaia destaca-se atualmente com o menor contingente populacional municipal, porém acentua o maior número de habitantes residentes no campo se comparado a Nova Esperança e Presidente Castelo Branco. Segundo Scussato (2019), esse fator se explica devido ao setor da indústria e do comércio serem restritos e ofertarem poucas oportunidades de empregos aos cidadãos do referido município.

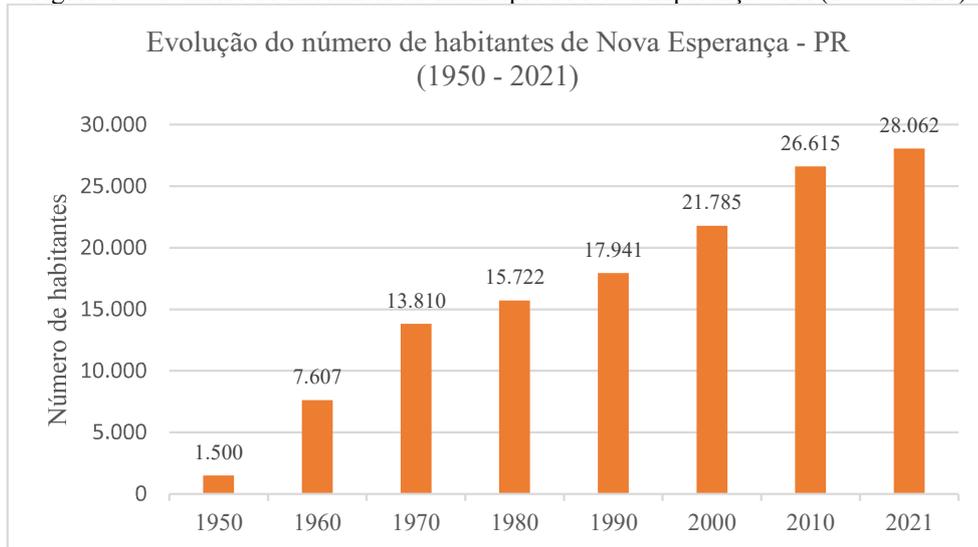
Similarmente, Presidente Castelo Branco tem o setor industrial e comercial bastante restrito, o que explica, em partes, o número maior de habitantes residindo no campo se comparado com a população rural de Nova Esperança (IPARDES, 2022).

O município de Nova Esperança, por sua vez, apresenta o maior contingente populacional em relação aos municípios de Atalaia e Presidente Castelo Branco. Contudo, é o que mais se destaca com o menor número de pessoas morando no campo. Esse fator pode ser explicado, parcialmente, em decorrência do setor industrial e comercial serem mais desenvolvidos do que em relação aos outros dois municípios e, conseqüentemente, haver mais

disponibilidade de empregos para a população urbana.

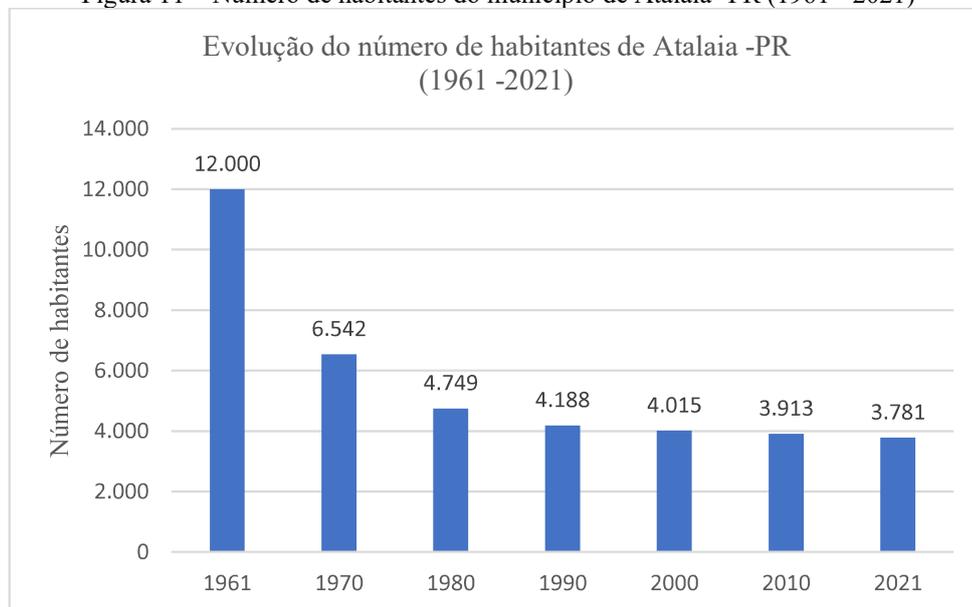
Ainda em relação aos aspectos demográficos, as Figuras 10, 11 e 12 mostram a evolução do número de habitantes dos referidos municípios, levando-se em consideração os dados populacionais mais antigos e recentes disponibilizados pelo IBGE.

Figura 10 – Número de habitantes do município de Nova Esperança - PR (1950 - 2021)



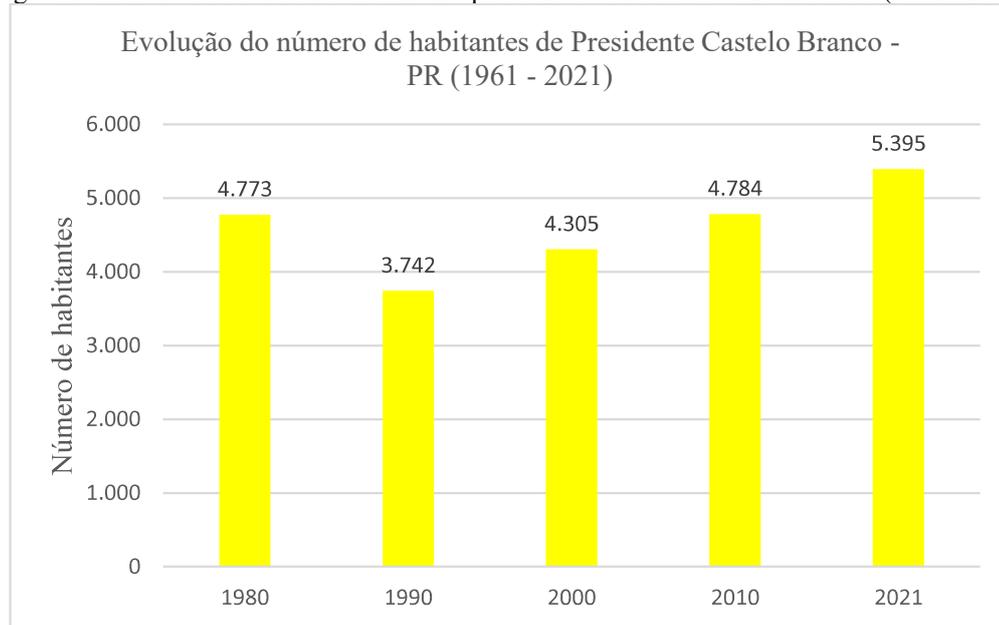
Fonte: IBGE (2022).

Figura 11 – Número de habitantes do município de Atalaia -PR (1961 - 2021)



Fonte: IBGE (2022).

Figura 12 – Número de habitantes do município de Presidente Castelo Branco -PR (1961 - 2021)



Fonte: IBGE (2012).

Percebe-se que a dinâmica populacional dos municípios da bacia de estudo se diferiu ao decorrer da evolução histórica, pois, enquanto Nova Esperança manteve uma população crescente, de 1950 a 2021, Atalaia, de 1961 a 2021 manteve sua população em declínio. Diferentemente desses dois municípios, Presidente Castelo Branco não sofreu mudanças expressivas no que diz respeito ao número de habitantes entre as décadas de 1980 e 2021.

Segundo dados do IPARDES (2022), em 2010, a densidade demográfica de Nova Esperança era de 69,46 hab/Km², Atalaia com 28,42 hab/km² e Presidente Castelo Branco com 30,72 hab/km², sendo então a maior densidade demográfica da bacia de estudo situada no município de Nova Esperança, abrangendo os setores de alto e médio curso da bacia.

De acordo com o IBGE (2022), os dados do censo demográfico de 2010 evidenciam Nova Esperança com o maior grau de urbanização das vias públicas (91,39%), em segundo lugar Presidente Castelo Branco (73,8%) e em terceiro, Atalaia (51,3%). Estes dados censitários refletem que Nova Esperança, em comparação aos outros dois municípios, tem o maior percentual de domicílios em vias públicas com a presença de pavimentação, calçada, meio fio e sarjeta, ou seja, com urbanização adequada.

Segundo a mesma fonte, apenas 51,3% dos moradores de Nova Esperança são atendidos com esgotamento sanitário adequado. Esse atendimento é ainda mais baixo nos municípios de Atalaia e Presidente Castelo Branco, pois respectivamente apenas 0,9% e 8,7% dos moradores desses municípios têm acesso a este serviço. Os dados revelam, nos municípios, a urgência da adoção de um sistema de esgotamento sanitário adequado que atenda toda a população, pois

esses sistemas contribuem para a redução de impactos ambientais nos cursos d'água, na redução de doenças de veiculação hídrica e até mesmo na melhoria da qualidade de vida.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) desses municípios é considerado médio, dado que em ordem crescente, do menor índice para o maior índice, Presidente Castelo Branco tem o IDH de 0,713, Nova Esperança de 0,722 e Atalaia com 0,736 (IBGE 2010). Dessa forma, o IDH médio da bacia é de 0,723.

Segundo o IPARDES (2022), a renda média mensal dos trabalhadores em empregos formais com registro em carteira em Nova Esperança é de dois salários mínimos e a população ocupada é de 21,25%. O PIB (Produto Interno Bruto) em 2019 foi de R\$26.324,58, dos quais 56,3% foram oriundos dos serviços, administração pública com 19,3%, a indústria correspondeu a 19,3% e agropecuária 13,4%. Sendo assim, o PIB per capita de Nova Esperança posicionou-se em 2019 muito abaixo da média do estado, que é de 40,8 mil.

Os trabalhadores com registro em carteira assinada no município de Atalaia têm uma média mensal de 2,5 salários mínimos e a população ocupada é 19,3% (IPARDES, 2022). Segundo o IBGE (2022), o PIB per capita de Atalaia em 2019 foi de R\$ 37.269,70; ou seja, assim como Nova Esperança, também configura uma posição abaixo da média estadual.

A renda média mensal dos trabalhadores em empregos formais no município de Presidente Castelo Branco é de dois salários mínimos e a população ocupada é de 22,3%. O PIB municipal representando o valor de R\$35.017,76 em 2019 se posicionou abaixo da média estadual do Paraná (IPARDES, 2022).

No que diz respeito à educação, em Nova Esperança, no ano de 2010 a taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade era de 98,7%, o IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica) dos anos iniciais do ensino fundamental, em 2021, é de 6,1 e dos anos finais do ensino fundamental corresponde a 5,3. Ou seja, apenas os anos iniciais do ensino fundamental tiveram um valor considerado alto no referido índice. Atualmente, Nova Esperança conta com 15 escolas destinadas ao ensino fundamental e duas escolas destinadas ao ensino médio (IBGE,2022).

Atalaia em 2010 teve uma taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade de 99,6%, sendo o IDEB, em 2021, dos anos iniciais do ensino fundamental de 7,2 e dos anos finais do ensino fundamental de 6,1. Assim, verifica-se que tanto nos anos iniciais quanto nos anos finais do ensino fundamental os resultados do IDEB foram considerados altos. O referido município tem três escolas do ensino fundamental e uma escola do ensino médio (IBGE, 2022).

Já no município de Presidente Castelo Branco, a taxa de escolarização registrada em 2010 de 6 a 14 anos de idade foi de 99%, o IDEB dos anos iniciais do ensino fundamental em

2021 foi de 6,9 e dos anos finais do ensino fundamental foi de 4,7 (valor baixo). O município conta com três estabelecimentos para o ensino fundamental e um estabelecimento para o ensino médio (IBGE, 2022).

Esses dados sobre escolaridade foram considerados relevantes na pesquisa devido aos problemas de cunho ambientais estarem vinculados também à falta de conhecimento da população sobre a importância de preservação do meio ambiente. Um exemplo das consequências do déficit do saber ambiental, é a disposição irregular de resíduos sólidos e líquidos na natureza e os consequentes danos socioambientais que impactam diretamente na qualidade de vida das pessoas. Por meio do ensino de educação ambiental nas escolas de forma transversal, boa parte destes problemas poderiam ser resolvidos ou amenizados.

Neste contexto, Girão (2018) acrescenta que os dados de escolaridade são importantes nas análises ambientais, isso atribui-se ao fato de que quanto maior o grau de escolaridade do indivíduo, maior a propensão do mesmo a ter consciência da necessidade de se preservar o meio ambiente.

Em suma, essa análise considera a caracterização em escala local dos aspectos históricos e socioeconômicos, que abrangeram o município de Nova Esperança, Atalaia e Presidente Castelo Branco. Esses aspectos são subsídios para o levantamento dos indicadores de pressão da área em estudo, pois se encontram conectados com o sistema físico-natural relacionados com os geoindicadores de pressão e os indicadores de impactos.

4.1.2 Uso e ocupação da terra (1984, 1997, 2010 e 2022)

A dinâmica geoambiental de uma bacia hidrográfica, segundo Muller (2021), é influenciada negativamente pelas formas como este espaço é apropriado ao longo do tempo, sendo a expansão urbana desordenada e a não adequação às práticas conservacionistas nos usos da terra, os fatores que mais têm acarretado, no Brasil, a degradação dos solos, da cobertura vegetal original e hídrica. Sob este viés, o uso e ocupação da terra na área de estudo se caracterizou na pesquisa como um indicador de intervenção antropogênica nas mudanças morfodinâmicas num espaço de tempo inferior a 100 anos, aproximadamente 38 anos entre 1984 e 2022 (setembro de 1984 a setembro de 2022).

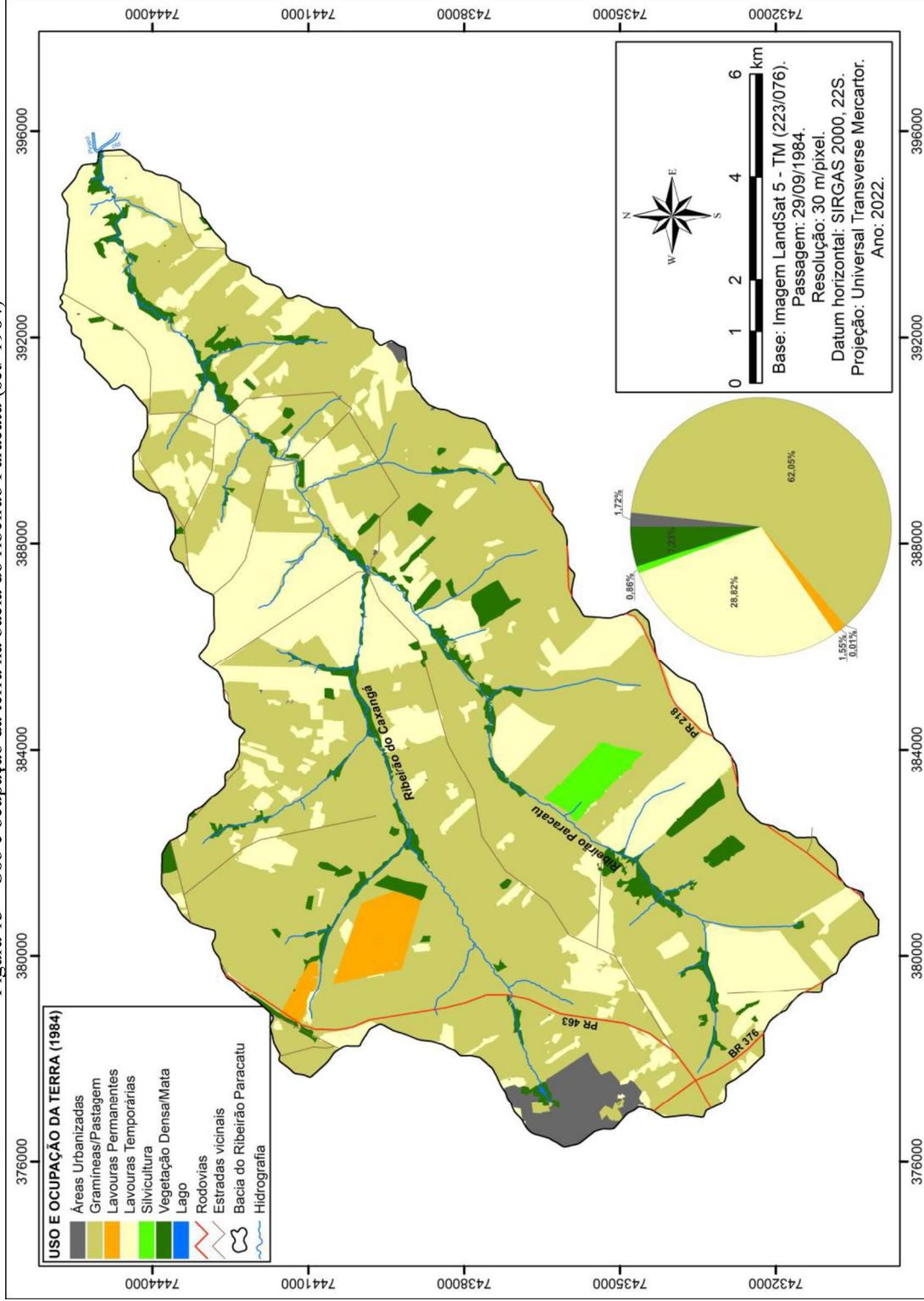
Na Tabela 4, observa-se a quantificação das áreas em km² e porcentagem (%) das classes de usos da terra para os anos de 1984, 1997, 2010 e 2022 e respectivamente, as cartas temáticas representadas pelas Figuras 13, 14, 15 e 16 mostram sua distribuição multitemporal de cada ano na bacia de estudo.

Tabela 4 – Quantificação das classes de uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu entre 1984 e 2022

USOS DA TERRA	1984 (Km²)	%	1997 (Km²)	%	2010 (Km²)	%	2022 (Km²)	%	Variância
Áreas Urbanizadas	2,48	1,72	3,88	2,68	5,10	3,53	6,60	4,56	2,30
Gramíneas/ Pastagens	89,77	62,05	110,08	76,09	45,09	31,17	27,86	19,26	1095,28
Lavouras Permanentes	2,23	1,55	0,30	0,21	0,39	0,27	6,78	4,69	6,90
Lavouras Temporárias	41,69	28,82	22,37	15,47	77,65	53,67	89,97	62,19	735,88
Silvicultura	1,23	0,86	2,69	1,86	1,91	1,33	2,39	1,65	0,30
Vegetação Densa/ Mata	7,22	4,99	5,32	3,68	14,49	10,02	11,05	7,64	12,49
Lago	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01%	0,01	0,01	0,00
Total	144,676	100	144,676	100	144,676	100	144,676	100	

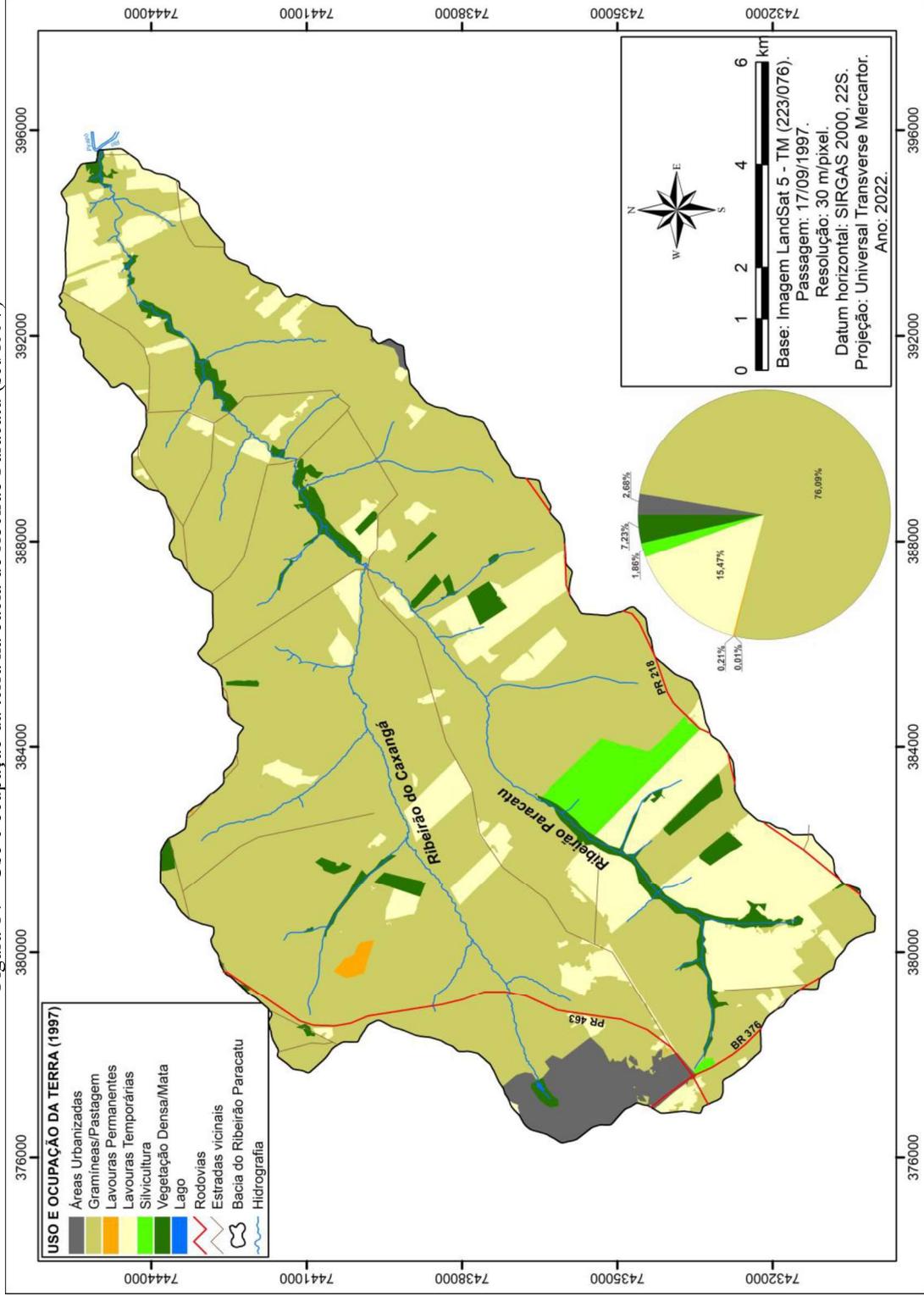
Fonte: autor (2022)

Figura 13 – Uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu (set/ 1984)



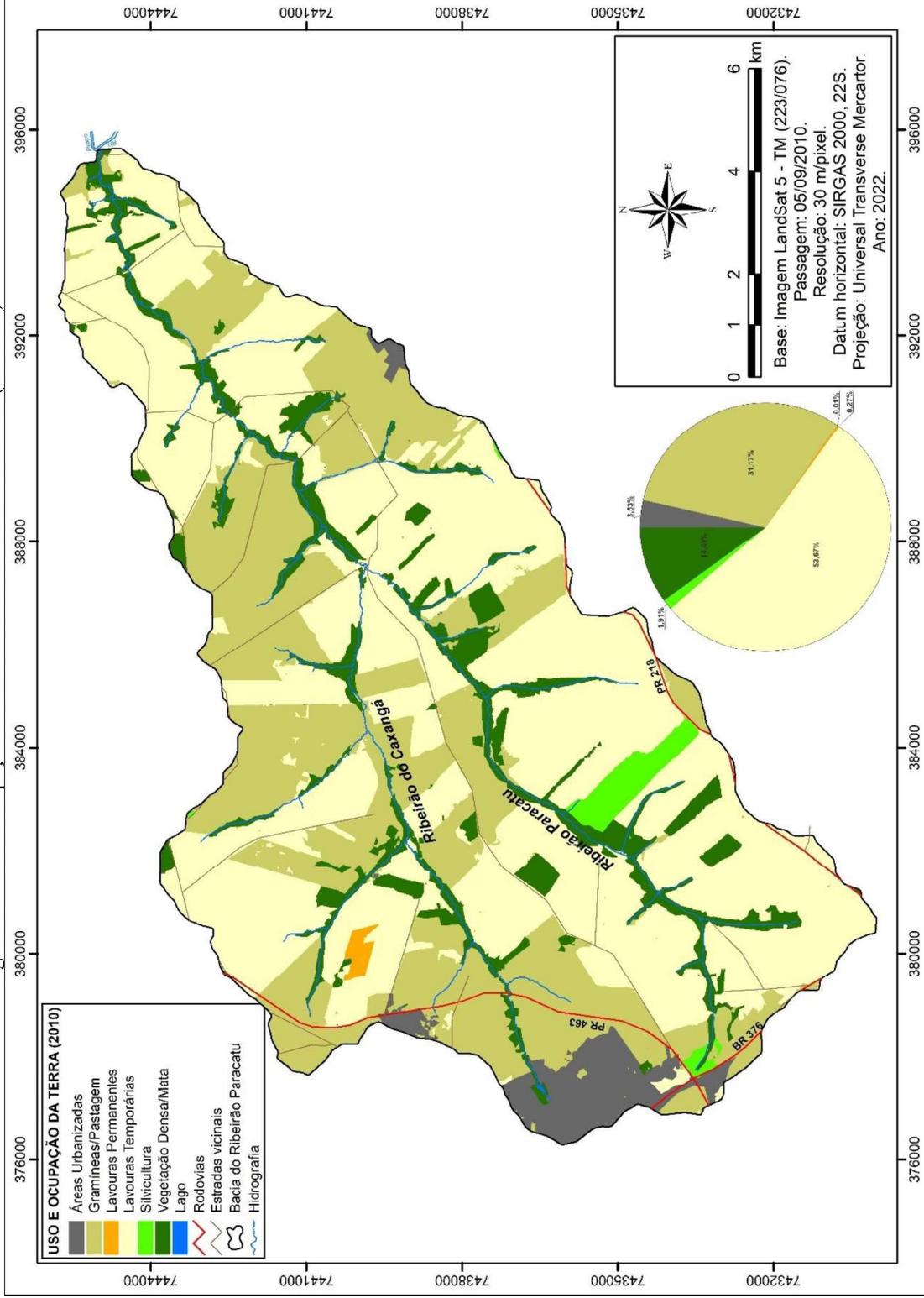
Fonte: autor (2022)

Figura 14 – Uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu (set/1997)



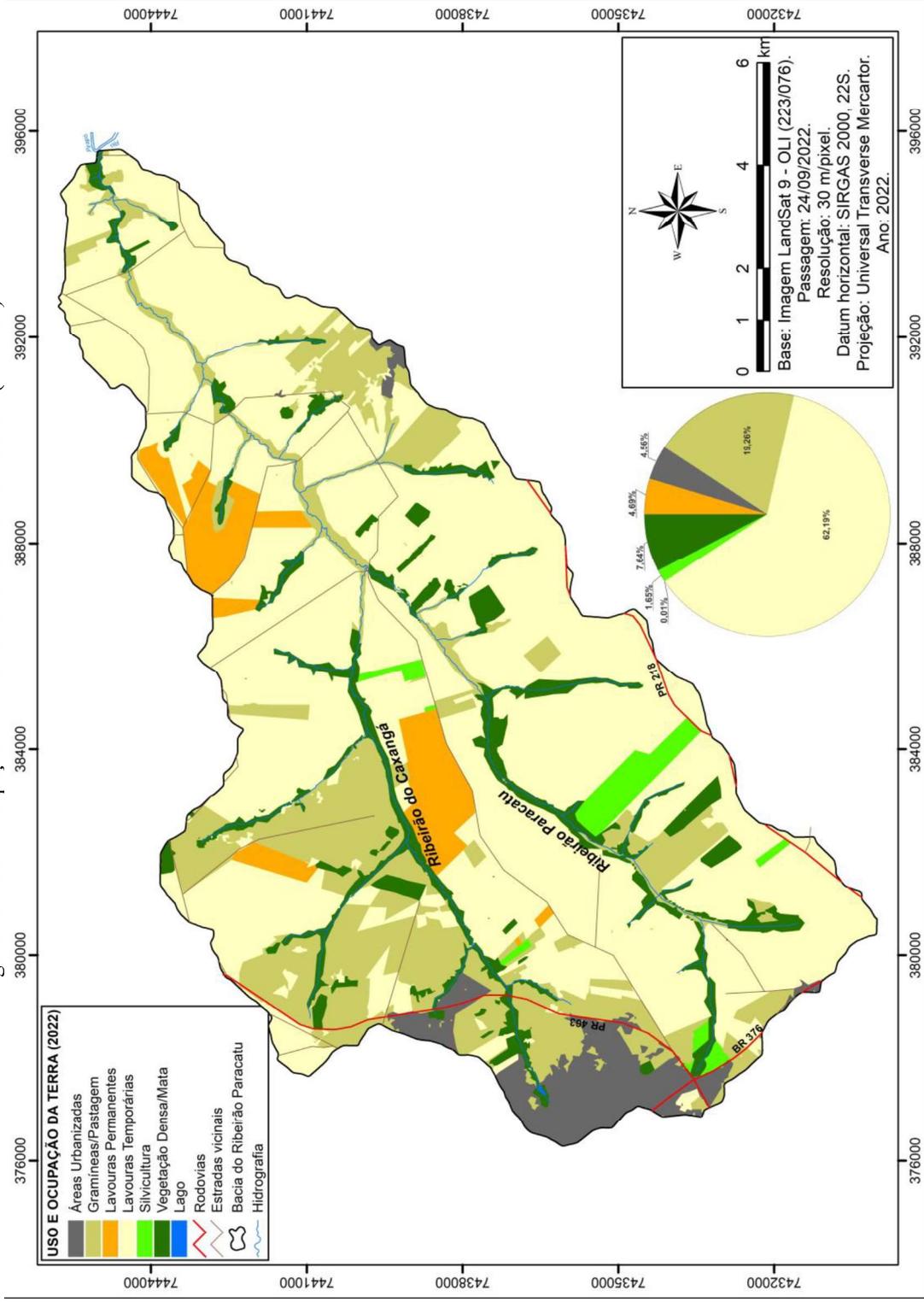
Fonte: autor (2022)

Figura 15 – Uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu (set/2010)



Fonte: autor (2022)

Figura 16 – Uso e ocupação da terra na bacia do ribeirão Paracatu (set/2022)



Fonte: autor (2022).

- **Áreas Urbanizadas:** a bacia do ribeirão Paracatu engloba partes da área urbana de Nova Esperança, no alto curso, e Atalaia, no baixo curso. Entre os anos de 1984 e 1997, houve um aumento percentual de 0,97% desta classe na bacia, que passou de 1,72% em 1984 para 2,68% em 1997. Em 2010, em comparação com a década anterior o aumento percentual foi menos expressivo (0,84%), sendo que, em 2022, a área total da bacia destinada ao referido uso da terra era de 3,53%. Já em 2022, verifica-se um aumento de 1,03% da referida classe em relação a 2010, totalizando uma área de 4,56%. A variação percentual entre 1984 e 2022 foi de 2,84%. Das cidades, Nova Esperança destaca-se com o maior crescimento urbano entre 1984 e 2022, tendo como destaque o crescimento do Parque Industrial em direção Sul (sentido a Maringá), que passou a localizar-se próximo de uma das nascentes do ribeirão Paracatu, que será ilustrada a geolocalização posteriormente, o qual pode se configurar como um possível agente causador de pressão do referido sistema ambiental. Entre 2010 e 2022, destaca-se em Nova Esperança, na vertente esquerda do ribeirão Caxangá, o surgimento de um novo loteamento de terras, o “Jardim Novo Horizonte”, o qual, por meio da intervenção antropogênica poderá acarretar a degradação ambiental do ribeirão Caxangá. A área urbana de Nova Esperança, dentro dos limites hidrográficos, localiza-se predominantemente em áreas de relevo plano a suave – ondulado (0,0°-4,57°). Já o município de Atalaia compreende principalmente o relevo plano, conforme será explanado posteriormente.
- **Gramíneas/Pastagens:** foram identificados e estão representados do alto ao baixo curso da bacia por áreas de gramíneas/pastagens, destinadas, principalmente, à pecuária de corte. Entre 1984 e 1997, esta classe manteve-se a mais expressiva, pois representava respectivamente uma área total de 62,05% e 76,09%, com um aumento de 14,04% entre essas décadas. Esse fator pode se caracterizar como o provável responsável pela supressão da vegetação ciliar dos ribeirões Paracatu e Caxangá entre 1984 e 1997. Na década seguinte, em 2010, houve o declínio de 44,92% das áreas destinadas às pastagens, que passou a abarcar 31, 97% da área total da bacia. Em 2022, as gramíneas passaram a compor 19,26% da área total da bacia, ou seja, ocorreu a redução de 11,91% em relação à década anterior. A variação percentual de redução ocorreu entre 1984 e 2022 e foi de 42, 80%. As áreas de pastagens, nos quatro períodos analisados, sempre ocuparam as classes de relevo plano e ondulado. Como sua abrangência foi maior entre os anos de 1984 e 1987, foi neste período que

a classe mais gerou pressão na supressão da vegetação ciliar nos sistemas fluviais da bacia, bem como engendrou pressão nos solos principalmente nos solos de origem arenítica com textura arenosa pelo pisoteio do gado.

- **Lavouras Permanentes:** entre 1984 e 1997, as lavouras permanentes limitavam-se ao alto curso da bacia, mais precisamente na vertente esquerda do ribeirão Caxangá, sendo representada em 1984, segundo estimativas baseadas em dados históricos de Nova Esperança, pelo cultivo do café e amora (sericicultura). Respectivamente, nos anos de 1984 e 1997 esta classe representava na área de estudo 1,55% e 0,20% da bacia, ou seja, teve um declínio de 1,34%. Com o aumento percentual de 0,07% da classe em 2010, a bacia passou a abarcar 0,27% da área total. Em 2022, verifica-se a expansão das culturas permanentes para o baixo curso da bacia, que passou a representar 4,87%. A variação percentual, o aumento, ocorrido entre 1984 e 2022 foi de 3,32%, sendo a mesma atualmente caracterizada principalmente pelos cultivos da laranja e amora, os quais abrangem áreas da alta a baixa vertente, compreendendo a classe de relevo suave – ondulado ($1,72^{\circ}$ - $4,57^{\circ}$).
- **Lavouras Temporárias:** esta classe de uso da terra define-se na bacia, principalmente, pelo cultivo da cana-de-açúcar e mandioca, distribuídas do alto ao baixo curso da bacia. No ano de 1984, os cultivos temporários eram baseados nas plantações de milho, mandioca, cana-de-açúcar e mamona, e integravam uma área total de 28,19%. Na década seguinte, em 1997, houve a redução de 13,36%, que passou a compor uma área total de 15,47%. Entre 1997 e 2010, a classe teve um aumento percentual de 38,21%, passando a totalizar uma área de 53,67%. Em 2022, se comparado à década anterior, houve o crescimento percentual de 8,52%, totalizando 62,19% de áreas na bacia destinadas às lavouras temporárias, sendo atualmente o uso mais expressivo. A variação percentual aumentou 33,37% entre 1984 e 2022. Este tipo de uso da terra, atualmente, integra áreas de relevo plano a ondulado, da alta a baixa vertente.
- **Silvicultura:** de 1984 a 2022 esta classe permaneceu sendo o uso da terra menos expressivo na bacia, sendo que dentro do período analisado, aproximados 38 anos, não chegou a compor 2% da área total da bacia, visto que em 1984 compreendia uma área de 0,86%, e em 2022 uma área de 1,65%. A variação percentual de 1984 a 2022 foi de apenas 0,80%. A silvicultura na bacia sempre foi representada por talhões de eucalipto, localizados no alto curso da bacia, nas adjacências do ribeirão Paracatu. Além disso, dentro dos quatro episódios temporais analisados, a

silvicultura sempre esteve integrada às áreas de relevo de baixa declividade (suave – ondulado). Das classes de uso e ocupação da terra, ela caracteriza-se associada à mencionada classe de relevo com o menor potencial de degradação ambiental da bacia.

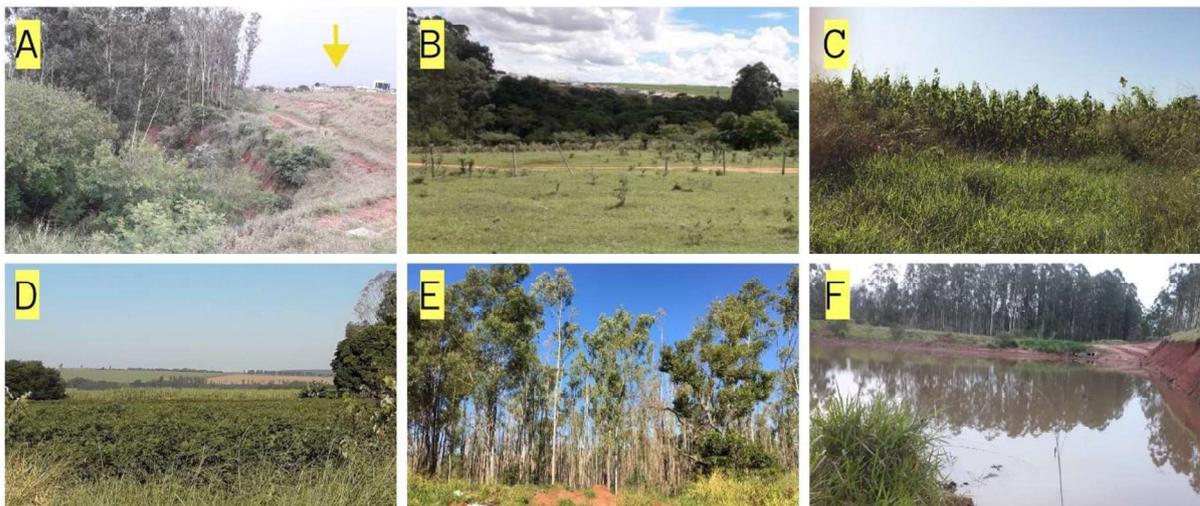
- **Vegetação Densa/Mata:** devido a predominância das áreas de pastagens no período de 1984 a 1997, a bacia encontrava-se nessa época degradada quanto à vegetação original, visto que ela representava apenas 4,99% em 1984 e 3,68% em 1997. O declínio das áreas de pastagens em 2010 favoreceu o aumento das áreas de vegetação ciliar na bacia, que passou de 3,68% em 1997 para 10,02% em 2010, ou seja, houve um aumento de 6% da classe. Além disso, o aumento da vegetação de mata densa em 2010 pode ser atribuído à intensificação da vigilância/fiscalização ambiental promovida pela BPAm (Batalhão de Polícia Ambiental-Força Verde) em conjunto com o antigo Instituto Ambiental do Paraná - IAP, nomeado a partir de 2019 de Instituto de Água e Terra - IAT, que nas situações de irregularidades ambientais encontradas nas propriedades rurais, os responsáveis eram sujeitos à cobrança e pagamento de multas. Outro fator condicionante para o aumento da vegetação densa na bacia dá-se pela adoção de políticas públicas de cunhos ambientais adotadas no estado do Paraná, como o programa criado em 2003 pela SEMA (Secretaria do Meio Ambiente do Paraná), chamado de “Programa Mata Ciliar”. O objetivo desse programa, segundo Araújo (2014), foi promover a conservação dos recursos naturais terrestres e recuperar áreas ambientalmente degradadas. Segundo Renner et al. (2010), entre 2003 e 2007, o programa distribuiu para as municipalidades do estado aproximadamente 80 milhões de espécies de mudas nativas. Em 2022, com o aumento das áreas destinadas às lavouras temporárias, ocorreu a supressão da vegetação ciliar na bacia que passou a representar uma área total de 7,64% (2,38% de redução). A variação percentual (aumento) de 1984 a 2022 foi de 2,65%. Em 2022 as lavouras temporárias e permanentes caracterizam-se como indicadores da degradação da vegetação ciliar ao longo das extensões marginais dos canais fluviais, que se encontravam suprimidas, principalmente no segmento de baixo curso da bacia. Essa classe localiza-se em terrenos declivosos de relevo ondulado (4,57-11,31°), o qual associada ao déficit de vegetação ciliar nos ribeirões e tributários da bacia, configura-se como um possível agente causador de erosões lineares e marginais.
- **Lago:** representa 0,01% da área total da bacia, sendo o uso da terra menos expressivo

durante o período analisado.

- Rodovias/Estradas Vicinais: a semiologia utilizada na identificação destas classes foi do tipo linha e não polígono, este fator associado a escala de mapeamento das cartas inviabiliza a noção da dimensão da área (quantificação). Contudo, a localização das rodovias BR-376 e PR- 463 podem ser observadas no alto curso da bacia e nas estradas vicinais distribuídas ao longo do alto ao baixo curso.

Observa-se, através dos registros *in loco*, na Figura 17, algumas dessas classes de usos da terra.

Figura 17 – Usos e ocupação da terra no alto curso da bacia do ribeirão Paracatu no ano de 2022



A – Área urbana de Nova Esperança e BR – 376 na cabeceira de drenagem da bacia, B – Pastagem na vertente esquerda do ribeirão Caxangá, C – Cultivo de amora, D – Cultivo de mandioca e cana-de-açúcar, E – Cultivo de eucalipto, F – Lago nas proximidades da nascente N2.

Fonte: autor (2022)

Cabe ressaltar que na figura 17A, sob influência do trevo que liga a BR-376 e PR- 463, formou-se uma antiga voçoroca. A provável explicação para a gênese do fenômeno citado dá-se em decorrência das estradas aumentarem o escoamento superficial das águas pluviais das áreas urbanas, que conseqüentemente transmitem toda a carga para os fundos de vale, engendrando processos erosivos.

O indicador de pressão relacionado ao uso e ocupação da terra tem interferido na morfodinâmica da bacia, a exemplo disso, o trecho do canal fluvial do ribeirão Caxangá inserido em área urbana foi retificado e canalizado. Esse fator altera as condições naturais do curso d'água, que acaba perdendo sinuosidade do canal e sofrendo alterações na velocidade dos

fluxos, no padrão de drenagem, no regime das descargas e na temperatura da água.

Os diversos tipos de cultivos na bacia têm engendrado a supressão da cobertura vegetal e acarretado áreas de solos expostos nos períodos de entressafra. Esses fatores de gênese antrópica associados à interferência climática, à suscetibilidade natural dos tipos de rochas e solos à erosão, além da morfologia do terreno, são geoindicadores de ocorrências de processos erosivos distintos (sulcos, ravinas, voçorocas e erosões marginais nos cursos d'água) e assoreamento dos canais fluviais da bacia. Registros fotográficos feitos *in loco* permitiram inferir que as erosões na área de estudo, geralmente, ocorrem em áreas com déficit de biomassa, em áreas de solos degradados pelo pisoteio do gado e pela monocultura da cana-de-açúcar, como retrata a Figura 18.

Figura 18 – Degradação da bacia do ribeirão Paracatu gerada pelos usos da terra



A – Ravina em área de solo exposto no alto curso do ribeirão Caxangá, B – Degradação dos solos/erosão em áreas de pastagens no alto curso do ribeirão Caxangá, C – Degradação dos solos gerada pela monocultura da cana-de-açúcar no alto curso do ribeirão Paracatu, D – Assoreamento no alto curso do ribeirão Caxangá.

Fonte: autor (2022)

Outro exemplo da influência do indicador de uso e ocupação da terra na morfodinâmica de uma bacia hidrográfica dá-se por meio da utilização e manuseio das técnicas de terraplanagens sem a devida readequação à morfologia original do terreno.

4.2 Geoindicadores de estado

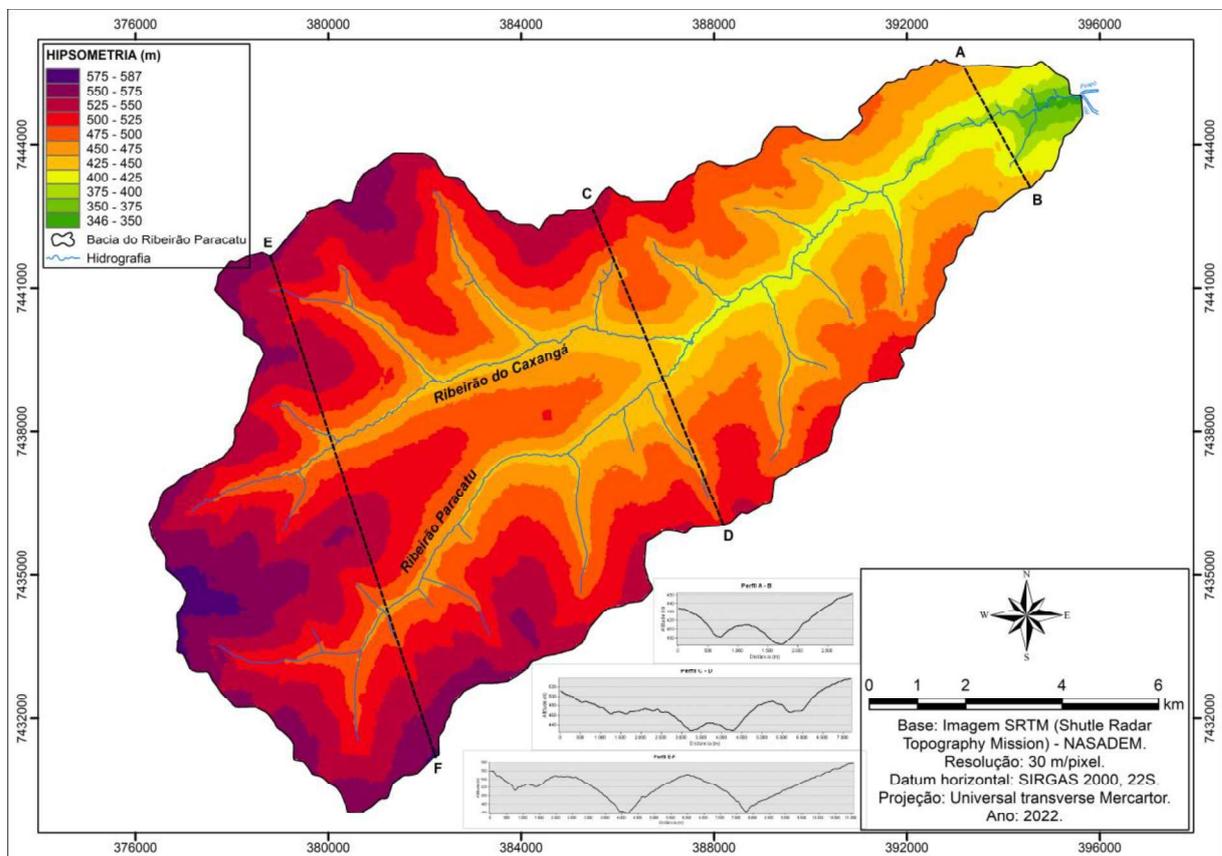
Os geoindicadores de estado identificados e analisados na bacia em estudo encontram-se relacionados com a morfologia e morfometria do relevo desde o levantamento das altitudes

(classes hipsométricas), das inclinações do terreno (classes clinográficas ou de declividade), do índice circular de rugosidade, até a caracterização físico-natural dos canais fluviais e nascentes de drenagem que incluíram a hierarquização dos canais fluviais, as mudanças no padrão de drenagem e perfil do canal aliados com o desenvolvimento de processos erosivos e de assoreamento.

4.2.1 Morfologia e morfometria do relevo

A bacia em análise (Figura 19) apresenta uma amplitude altimétrica, da cabeceira de drenagem até sua foz no rio Pirapó, de 241 metros, sendo a cota maior em relação ao nível do mar de 587 metros, e a menor cota correspondendo a 346 metros. A Figura 19 também destaca os dois canais fluviais principais, o ribeirão Caxangá e o ribeirão Paracatu, homônimo da bacia, e seus respectivos tributários, mostrando os locais escolhidos para a realização dos perfis transversais (A-B, C-D e E-F) utilizados na análise das formas do relevo.

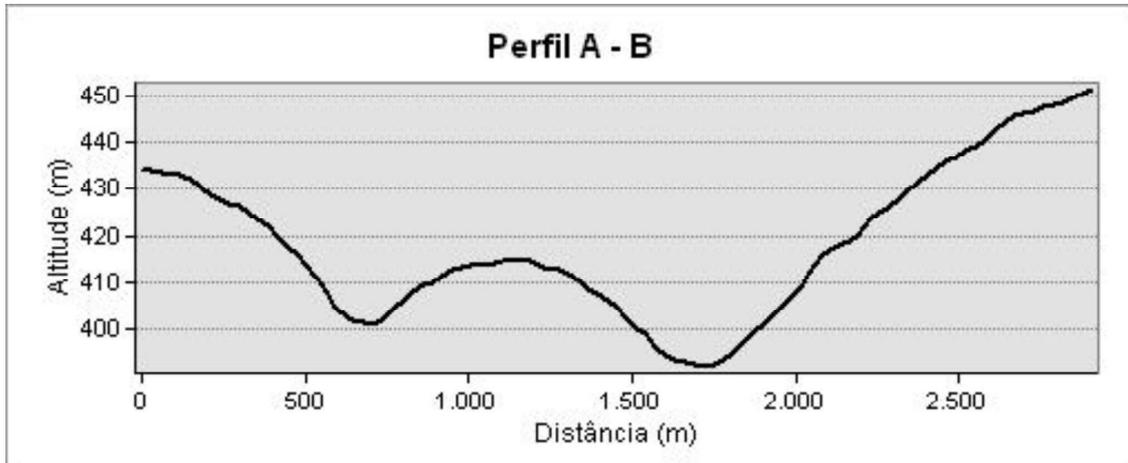
Figura 19 – Carta hipsométrica da bacia do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2022)

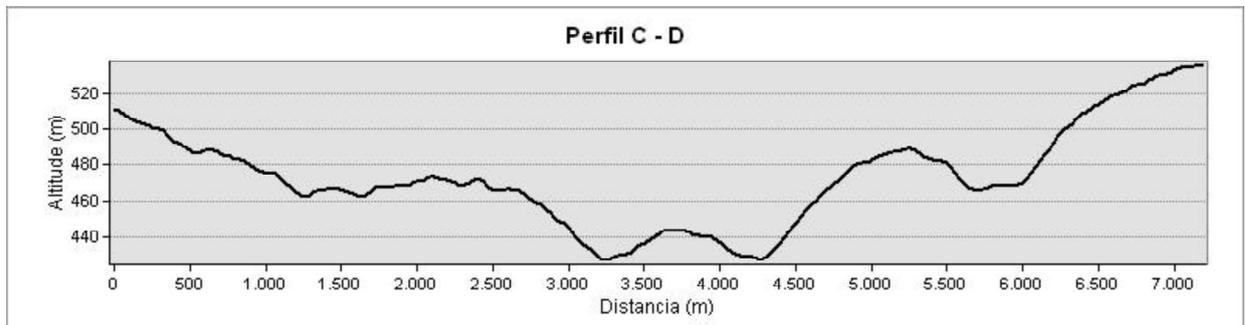
Nas Figuras 20, 21 e 22, observa-se respectivamente, em detalhes, os perfis transversais do relevo no baixo, médio e alto curso da bacia.

Figura 20 – Perfil transversal do relevo no baixo curso da bacia do ribeirão Paracatu



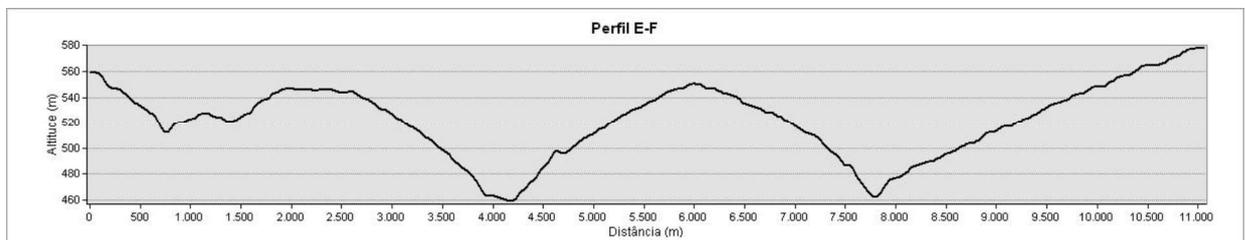
Fonte: autor (2022)

Figura 21 – Perfil transversal do relevo no médio curso da bacia do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2022)

Figura 22 – Perfil transversal do relevo no alto curso da bacia do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2022)

O perfil transversal A – B compreende o setor do baixo curso da bacia, com uma distância de 2.500 metros e altitudes que variam de 390 metros a 450 metros, sendo a variação altimétrica de 60 metros. Nesse perfil, verifica-se a predominância de vertentes convexas e retilíneas e vales em V abertos.

O perfil C – D representa as formas de relevo do setor de médio curso da bacia, com uma distância de 7.000 metros e altitudes que variam de 430 a 530 metros, sendo a variação altimétrica de 100 metros. As formas de relevo características deste perfil, em partes, são configuradas pelas dinâmicas fluviais dos ribeirões Paracatu e Caxangá, uma vez que a drenagem destes ribeirões são intrínsecas ao perfil.

No setor oeste desse perfil (lado C), o relevo apresenta a transição entre as formas de vertentes retilíneas, côncavas e convexas, desde as menores altitudes (430 metros) até as maiores altitudes (510 metros). Já o lado D do perfil, porção leste, as vertentes predominantes são convexas da alta a baixa vertente, tendo a presença do relevo côncavo apenas nas altitudes de 470 metros e 490 metros.

Finalmente, no perfil transversal E – F tem-se representado o seguimento do alto curso da bacia de estudo, tendo uma distância de 11.000 metros e altitudes que variam de 460 metros a 580 metros, sendo a variação altimétrica de 120 metros.

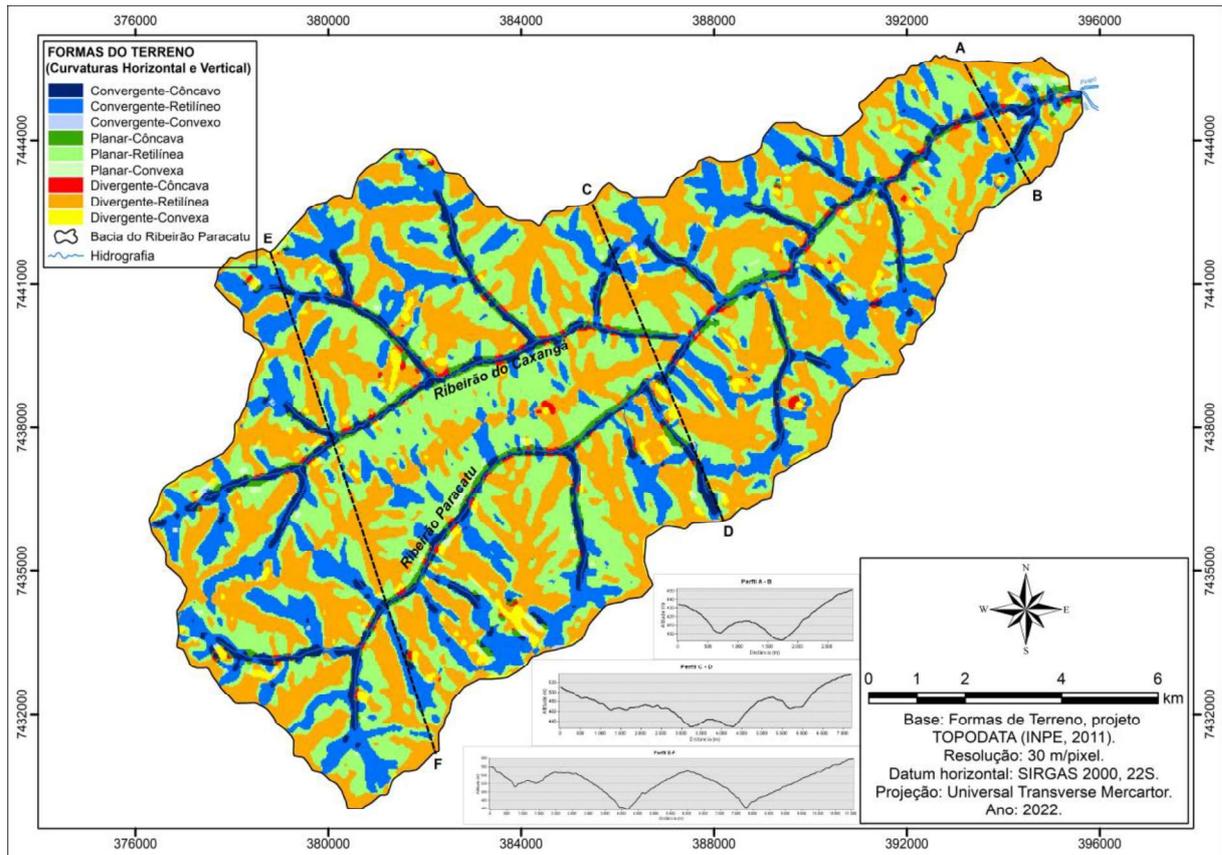
No lado E do perfil (setor oeste), observa-se as variações das formas das vertentes entre o relevo convexo e côncavo, sendo o primeiro predominante entre a alta e baixa vertente e o relevo côncavo predominante nos setores associados aos fundos de vales. Nesse seguimento, o fundo de vale drenado pelo ribeirão Caxangá apresenta-se em V aberto.

As vertentes do setor leste do perfil (lado F) apresentam variações em suas formas, sendo marcado desde as menores altitudes (aproximadamente 462 metros) até as maiores elevações (560 metros) pela transição do relevo convexo, côncavo e retilíneo. O fundo de vale neste setor, drenado pelo ribeirão Paracatu, apresenta a forma de V fechado.

Os perfis transversais analisados estão sujeitos a sofrerem alterações em suas formas de relevo devido a intervenção antropogênica e aos processos naturais da Terra. Da interferência antropogênica destacam-se, principalmente, nos perfis A – B e C – D os usos da terra destinados às culturas temporárias, enquanto no perfil E - F as pastagens, as lavouras temporárias e a área urbana de Nova Esperança se caracterizam como as principais fontes estressoras.

Em maior escala de detalhes, na Figura 23, observa-se as formas de relevo presentes na bacia e na Tabela 5 a quantificação em Km² e porcentagem (%) das formas de terreno que compreendem a bacia de estudo.

Figura 23 – As formas do terreno na bacia do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2022)

Tabela 5 – Quantificação das formas do terreno na bacia do ribeirão Paracatu

Formas do Terreno			
Curvaturas		Área	
Horizontal	Vertical	(km ²)	(%)
Convergente	Côncavo	9,703	6,71
	Retilíneo	25,800	17,83
	Convexo	0,257	0,18
Planar	Côncavo	3,088	2,13
	Retilíneo	46,512	32,15
	Convexo	1,014	0,70
Divergente	Côncavo	1,175	0,81
	Retilíneo	54,146	37,43
	Convexo	2,981	2,06

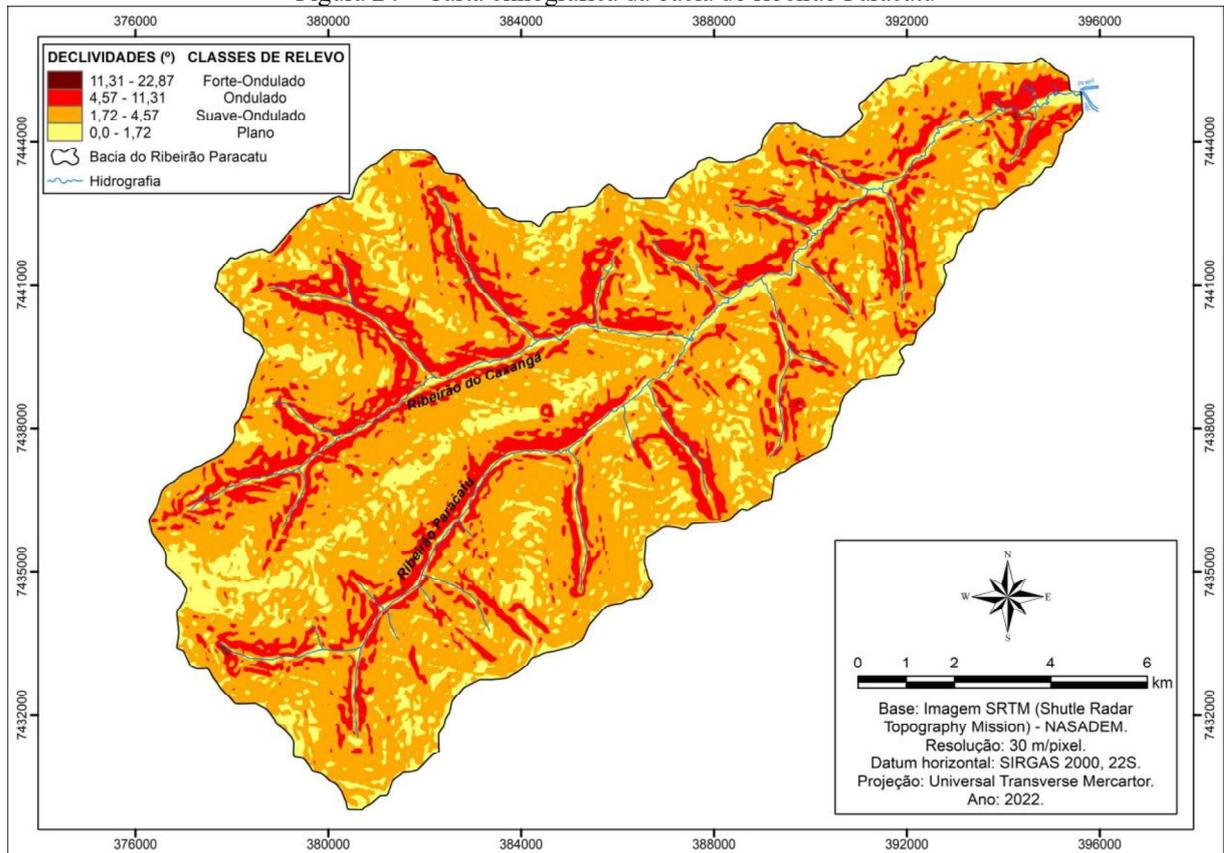
Fonte: autor (2022)

Outro geoindicador relevante nos estudos das dinâmicas das vertentes se refere às inclinações do terreno que foram analisadas na forma de classes clinográficas ou de declividades do relevo, pois fornecem subsídios para a compreensão dos fenômenos a ela relacionadas, como por exemplo, as dinâmicas de erosão, transporte e deposição sedimentar

(PERIÇATO, 2018).

A bacia do ribeirão Paracatu apresenta valores da inclinação do terreno que variam de 0,0 – 1,72° (relevo plano) a 22, 87° (relevo forte-ondulado), sendo os valores médios entre 1,72° - 11, 31° (relevo leve-ondulado a ondulado), como mostra a Figura 24 e a Tabela 6.

Figura 24 – Carta clinográfica da bacia do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2022).

Tabela 6 – Quantificação das classes de declividade da bacia do ribeirão Paracatu

Decl. (°)	Area (m ²)	Area(ha)	Area(km)	Área (%)
11,31-22,87	284.872,72	28,49	0,28	0,20
4,57-11,31	32.819.167,88	3.281,92	32,82	22,68
1,72-4,57	89.219.535,37	8.921,95	89,22	61,67
0,0-1,72	22.351.957,42	2.235,20	22,35	15,45
Total	144.675.533,39	14.467,55	144,68	100,00

Fonte: autor (2022)

As declividades entre 11,31° e 22,87° (relevo forte-ondulado) correspondem a 0,20% da bacia, e são localizadas nas proximidades de nascentes, local dominado pela presença de vegetação arbórea e gramíneas, e próximo ao exultório no rio Pirapó.

Nos setores de baixa vertente, ao longo das extensões longitudinais dos canais principais da bacia e de seus tributários, há o predomínio do relevo ondulado ($4,57^\circ - 11,31^\circ$), correspondendo a 22,8% da área total da bacia.

Essa classe de relevo, quando associada ao déficit de biomassa e aos intensos eventos de precipitação, contribuí para um maior fluxo e velocidade de escoamento das águas pluviais sobre a superfície, gerando instabilidade e favorecendo a formação de erosões lineares e consequentemente o assoreamento de canais de drenagens (LEPESCH, 1991).

Corroborando com o exposto, as visitas *in loco* possibilitaram inferir que a degradação dos solos por erosões na área de estudo ocorre, principalmente, nos locais com os maiores índices de declividade (próximos aos cursos da água) relacionados à falta de vegetação arbórea e aos usos da terra por pastagens e culturas temporárias. Na Figura 25, observa-se a formação de ravinas em área declivosa ocupada por pastagens nas adjacências da margem direita do ribeirão Caxangá.

Figura 25 – Erosão do tipo ravina em área declivosa na bacia do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2022).

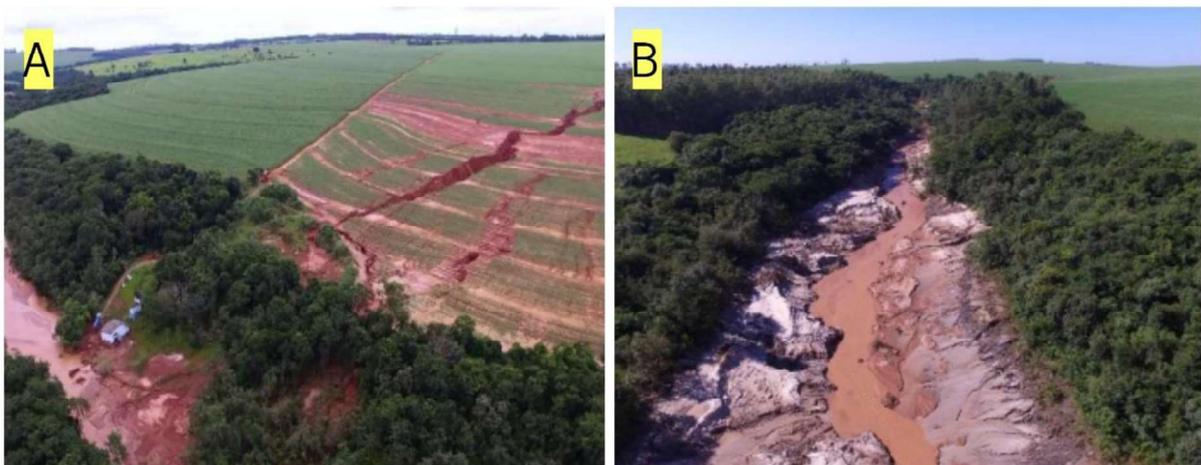
Na média vertente as declividades entre $1,72^\circ$ e $4,57^\circ$ (relevo suave-ondulado) são predominantes, correspondem 61, 67% da área total da bacia. Nesses setores, as vertentes são mais alongadas e apresentam baixa declividade, o que contribui na formação de solos mais profundos e na produção de diversas culturas, já que o acesso aos maquinários agrícolas acaba sendo facilitado neste tipo de relevo.

A predominância dessa classe de relevo na bacia remete, aos proprietários rurais, a falsa

sensação de terrenos planos e conseqüentemente a não adesão das curvas de nível como mecanismos de contenção de escoamento das águas pluviais, já que, nesse relevo, as águas das chuvas, geralmente, tendem a escoar sobre a superfície numa velocidade intermediária ou lenta, dependendo da cobertura vegetal presente na área.

Segundo Paiva (2017), as áreas de solos expostos nos períodos de entressafra adjunto à referida classe de declividade, os eventos de chuvas e a existência de poucas curvas de nível nas propriedades rurais têm se caracterizado como um geoindicador de assoreamento do ribeirão Paracatu. A exemplo disso, a Figura 26 retrata os processos erosivos ocorridos em 2016 em áreas de relevo suave – ondulado (dominado pela cultura da cana-de-açúcar) e conseqüentemente o assoreamento do ribeirão Paracatu.

Figura 26 – Erosões e assoreamento do ribeirão Paracatu após as chuvas do dia 16/01/2016

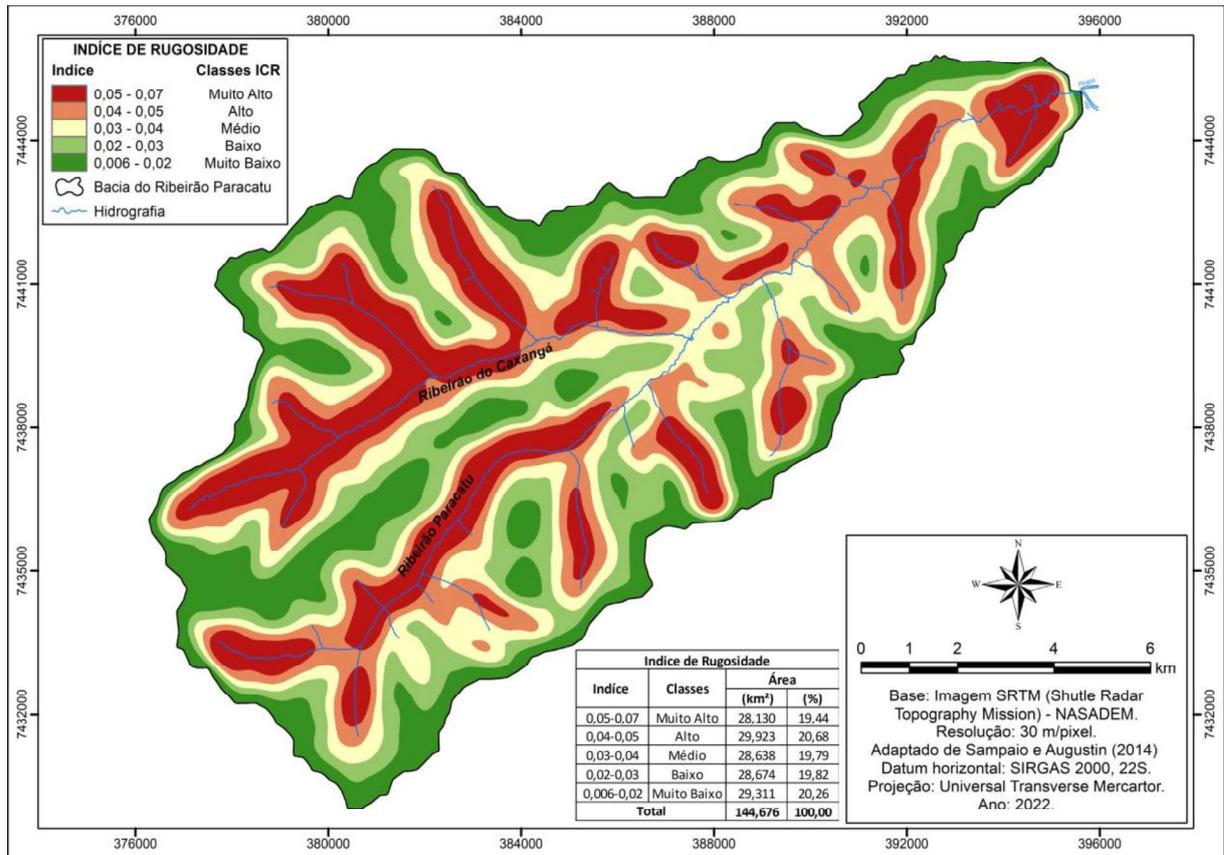


Fonte: Prefeitura Municipal de Nova Esperança (2016)

O relevo plano ($0,0^{\circ}$ - $1,72^{\circ}$) corresponde a 15, 25% da bacia, tendo forte presença nos setores de alta vertente entre os interflúvios dos ribeirões Caxangá e Paracatu e de seus tributários. Nesta classe de relevo, as erosões são menos recorrentes, já que as águas pluviais tendem a ecoar mais lentamente sobre o terreno. Predomina-se, nestes setores da bacia, as culturas temporárias (mandioca, cana-de-açúcar e laranja).

Na Figura 27, tem-se o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) da área de estudo. O ICR da bacia do ribeirão Paracatu se relaciona proporcionalmente aos valores das classes de declividades, pois verifica-se que, nos setores mais aplainados da bacia, localizados nos topos dos interflúvios, os valores no padrão de rugosidade são baixos se comparados às áreas mais dissecadas do relevo, áreas próximas aos cursos d'água, cuja concentração de rugosidade é maior.

Figura 27 – Carta de Concentração de Rugosidade da bacia do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2022)

A bacia de estudo apresenta uma certa homogeneidade no padrão de ICR, pois os maiores valores, 0,04 a 0,07 (alto a muito alto), encontram-se distribuídas ao longo do alto ao baixo curso da bacia, localizadas no entorno das margens direita e esquerda dos ribeirões Paracatu e Caxangá, bem como de seus tributários.

Os valores médios do ICR (0,03 a 0,04), correspondem às localidades de média vertente, e estendem-se do alto ao baixo curso da bacia.

Finalmente, os valores entre 0,006 e 0,02 (baixo a muito baixo) do ICR encontram-se localizadas nas altas vertentes e nos topos dos interflúvios dos ribeirões inerentes à bacia de estudo.

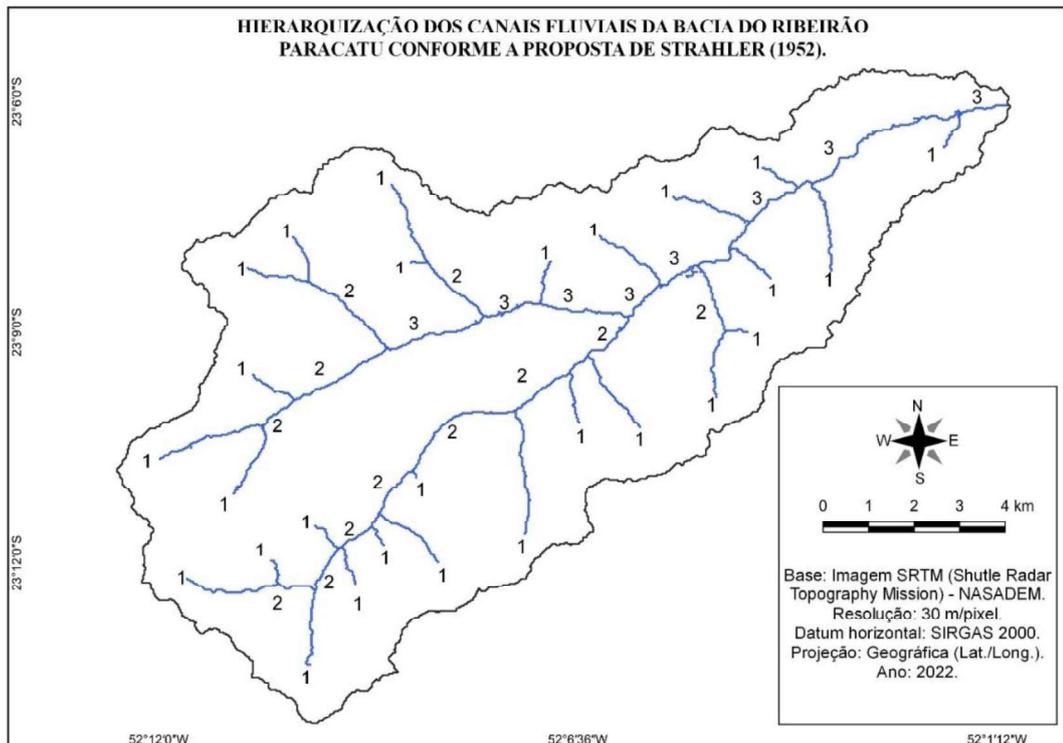
4.2.2 Caracterização físico-natural dos canais fluviais e nascentes das cabeceiras de drenagem da área de estudo

Esse subitem analisa os dados obtidos na caracterização físico-natural dos canais fluviais a partir da hierarquização dos canais, a localização das nascentes e as mudanças.

Conforme já explanado no subitem anterior, a bacia de estudo é formada por dois canais fluviais principais, o ribeirão Caxangá e o ribeirão Paracatu, e seus respectivos tributários.

Segundo a proposta de Strahler (1952) da hierarquização dos canais fluviais, a bacia do ribeirão Paracatu enquadra-se como de terceira ordem (Figura 28).

Figura 28 – Hierarquização dos canais fluviais da bacia segundo a proposta de Strahler (1952)



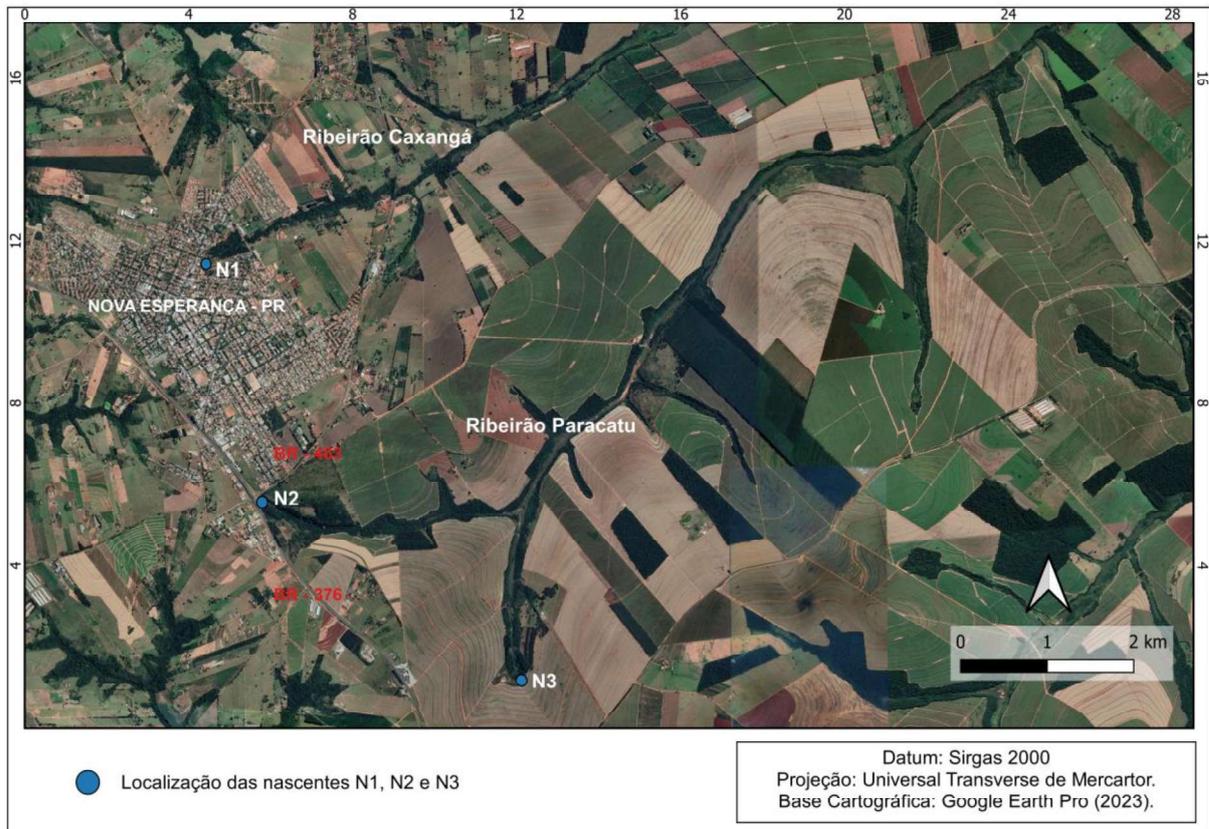
Fonte: autor (2022)

Nas cabeceiras de drenagens encontram-se três nascentes, N1, nascente do ribeirão Caxangá, e N2 e N3, nascentes do ribeirão Paracatu (Figura 29).

O ribeirão Caxangá tem sua nascente (N1) localizada na área urbana de Nova Esperança -PR, na coordenada de $23^{\circ}10'42.24''\text{S}$ e $52^{\circ}12'3.98''\text{W}$, numa altitude de 531 metros. Sua confluência com o ribeirão Paracatu ocorre no município de Atalaia, na coordenada de $23^{\circ}8'47.21''\text{S}$ e $52^{\circ}5'57.75''\text{W}$, numa altitude de 423 metros, tendo como amplitude altimétrica 108 metros.

Este mesmo ribeirão, em relação à largura e à profundidade, foi verificado no alto curso larguras que variam de 2 a 10 metros, e a profundidade do curso d'água raramente ultrapassa 1 metro.

Figura 29 – Localização das nascentes nas cabeceiras de drenagens da bacia do ribeirão Paracatu



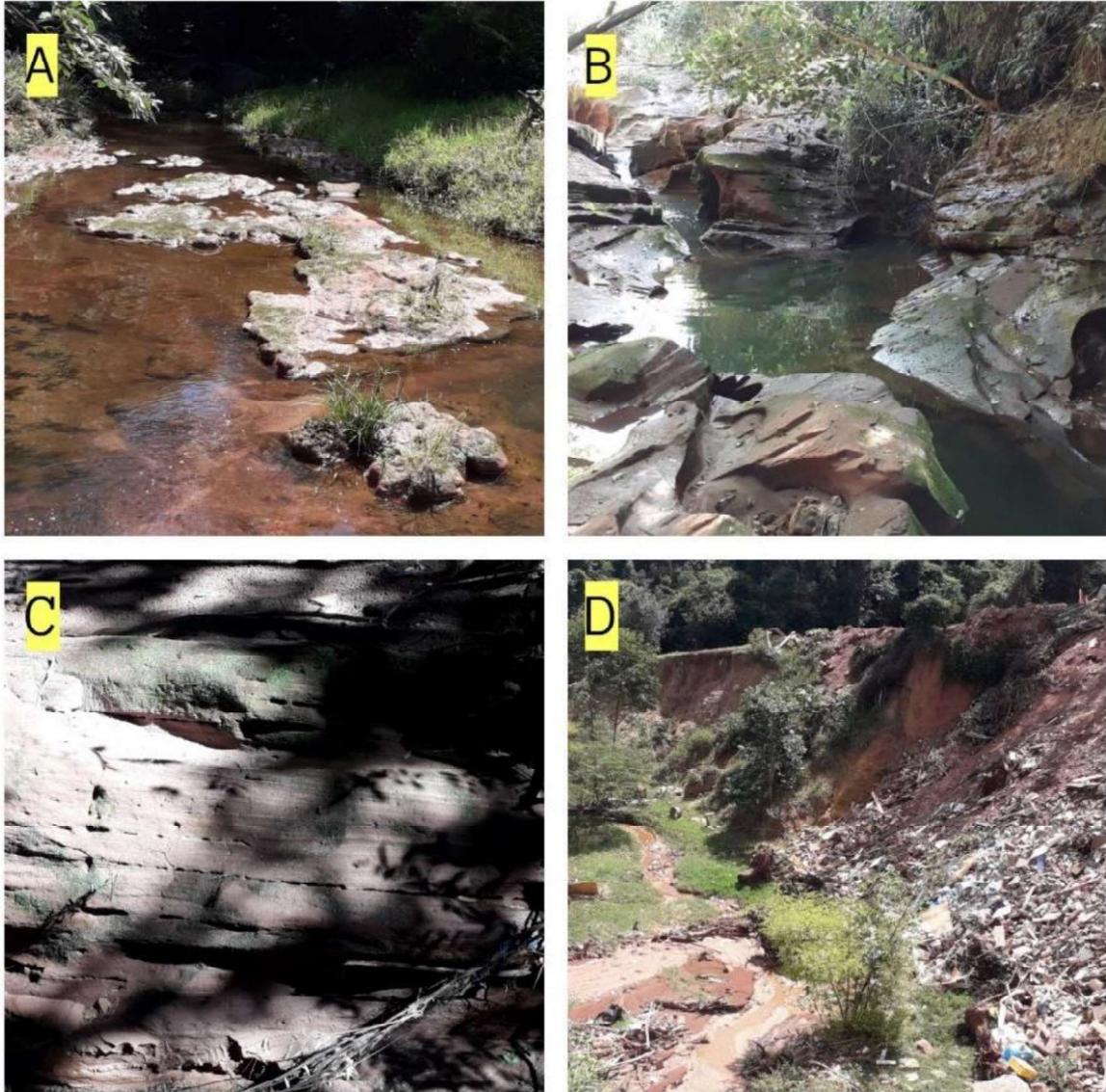
Fonte: autor (2022)

Ao longo de sua extensão fluvial, que é de 11,01 km em linha reta até o ponto de confluência com o ribeirão Paracatu, as águas superficiais deste ribeirão escoam sob um leito fluvial de rochas areníticas com estratificação cruzada com as características da subunidade litológica GoioÊre do Grupo Caiuá, como já ressaltado na dissertação, normalmente, formam-se pequenas quedas d'água (cachoeiras). Na Figura 30, observa-se o ribeirão Caxangá no setor de alto curso.

Já o ribeirão Paracatu tem uma de suas nascentes, N2, localizada em área demarcada como urbana, situada nas proximidades do Parque Industrial de Nova Esperança, aproximadamente 161 metros, situada numa latitude de 23°12'10.68"S e longitude de 52°11'40.58"O, sob uma altitude de 548 metros.

Devido à proximidade com a BR-376 e PR-463 (Figura 29), a referida nascente está sujeita ao risco de desastres tecnológicos. É, portanto, de responsabilidade dos gestores públicos e ambientais desenvolverem mecanismos de respostas como ação mitigadora em casos de ocorrência do infortúnio.

Figura 30 – Registros fotográficos do ribeirão Caxangá



Ribeirão Caxangá; B- Rochas areníticas; C- Rocha com estratificação; D – Feição erosiva em um dos tributários do ribeirão Caxangá.

Fonte: autor (2022)

Já a nascente N3 está localizada na área rural de Nova Esperança e compreende as coordenadas de 23°13'11.24"S e 52°10'0.73"O, numa altitude de 514 metros.

O ribeirão Paracatu tem uma extensão longitudinal da N2 até a desembocadura no rio Pirapó, de 21,2km, deságua numa altitude de 356 metros, sendo sua amplitude altimétrica de 192 metros. Próximo à cabeceira de drenagem, o ribeirão tem as margens estreitas, medindo aproximadamente de 1 a 5 metros de largura, e profundidade centimétrica. Diferente do ribeirão Caxangá, a presença de rochas expostas no leito fluvial é menor, as águas escoam superficialmente com mais facilidade, não havendo uma quantidade expressiva de quedas

d'água como no ribeirão Caxangá. Na Figura 31 A, observa-se a largura e profundidade do ribeirão Paracatu em seu alto curso e, na Figura 31 B, as áreas de entorno da N3 do referido ribeirão.

Figura 31 – Registros fotográficos do ribeirão Paracatu



A – Ribeirão Paracatu no alto curso; B – Entorno da nascente N3

Fonte: autor (2022)

4.2.3 Mudanças no padrão de drenagem e perfil dos canais

As mudanças no padrão de drenagem e perfil do canal em geral advém de fatores como a intervenção antrópica no sistema fluvial, das dinâmicas naturais terrestres, ou ainda, de ambos os fatores atuando em simultâneo. A exemplo das alterações geradas pelo homem, geralmente, em âmbito urbano, os canais fluviais são retificados e canalizados de forma que se altera a sua dinâmica de fluxo, como a velocidade de escoamento das águas, a profundidade do canal e a capacidade de carga e descarga de sedimentos, ou seja, ocasiona-se a degradação do sistema hidrológico (MACHADO; SILVA; MACHADO, 2021).

O padrão de drenagem e a morfologia dos canais também estão sujeitas às alterações ambientais decorrentes das dinâmicas naturais do sistema físico-natural terrestre, determinante nas mudanças de largura, profundidade, meandramento e dimensão dos canais o fluxo de carga e descarga de sedimentos. Porém, as dinâmicas naturais de fluxo de carga e descarga de sedimentos podem sofrer alterações devido aos usos da terra e pela expansão de áreas urbanas

sem o devido planejamento, caracterizando-se assim as alterações hidrológicas de origem mista (GEOINDICATORS, 2010).

Através de revisões bibliográficas, observações em campo e dos perfis transversais elaborados com os respectivos croquis dos perfis topográficos multitemporais, Figura 32, realizou-se a síntese das principais mudanças ocorridas entre 1985 e 2022 no padrão de drenagem e perfil dos canais da bacia.

Perfil A – B

Observa-se, no perfil transversal A – B traçados sobre as imagens do *Google Earth* de 1985, 2010 e 2022 (Figura 32), as alterações ambientais ocorridas no sistema fluvial da N1. Em 1985, tem-se a presença de vegetação densa no entorno da nascente, segundo Casagrande (2012), caracterizada pela presença arbórea de Grevíleas. O croqui do perfil topográfico estimado deste ano mostra que a N1 formava um vale em V aberto com vertentes simétricas, com talvegue bem definido e situado a 531 metros de altitude. Já na imagem de satélite do *Google Earth* de 2010, nota-se que o sistema fluvial da N1 foi alterado devido à construção de um lago artificial. Além disso, percebe-se a supressão da vegetação arbórea em direção a montante dela, fator que pode potencializar a formação de erosões marginais e o assoreamento da nascente. Finalmente, em 2022, verifica-se a tendência do aumento de vegetação ciliar em direção a montante da nascente. Além disso, constata-se no croqui do perfil topográfico de 2022 que o talvegue passou a se localizar aproximadamente 5 metros mais profundo do que em relação a 1985, que se localizava a 531 metros de altitude e passou a localizar-se a 526 metros de altitude em 2022, engendrando o aumento da profundidade do canal fluvial. Devido à intervenção antropogênica (construção do lago), alterou-se também a forma do vale, que deixou de ter talvegue definido.

Por meio das revisões bibliográficas e checagens *in loco*, como já salientado na dissertação, constatou-se a retificação e canalização de parte do canal fluvial do ribeirão Caxangá. Em campo, as medidas métricas do trecho canalizado e retificado verificadas corresponderam a 164 metros de extensão e 5 metros de largura. Estima-se que, anterior a tais alterações, o canal fluvial tinha entre 1 e 2 metros de largura, já que tais medidas correspondem a jusante do trecho modificado.

Perfil C – D

O perfil C – D localiza-se nas proximidades da N2 e do Parque Industrial de Nova Esperança. Em 1985, verifica-se a ausência de vegetação ciliar em detrimento do predomínio de áreas de pastagens. Dados históricos do município sobredito ressaltam a ocorrência de voçorocamento na área da N2, além da formação de erosões marginais no ribeirão Paracatu, que podem ser decorrentes das condições físicas do ambiente (clima, solos, rochas, declividade etc.) e de fatores antrópicos como a supressão da vegetação ciliar acarretada pelos usos da terra.

Ainda relativo a 1985, o croqui dos perfis topográficos (Figura 32) revela uma amplitude

altimétrica de 21 metros entre o terraço da vertente C, situado a 550 metros de altitude, e o talvegue do canal fluvial, localizado a 529 metros de altitude. Ou seja, levando-se em consideração que o perfil transversal C -D representa uma escala grande, pode-se inferir que o terreno possui vertentes íngremes, fator que favorece o arranque de materiais sedimentares durante os intensos eventos de precipitação, bem como o carreamento destes materiais até o corpo hídrico.

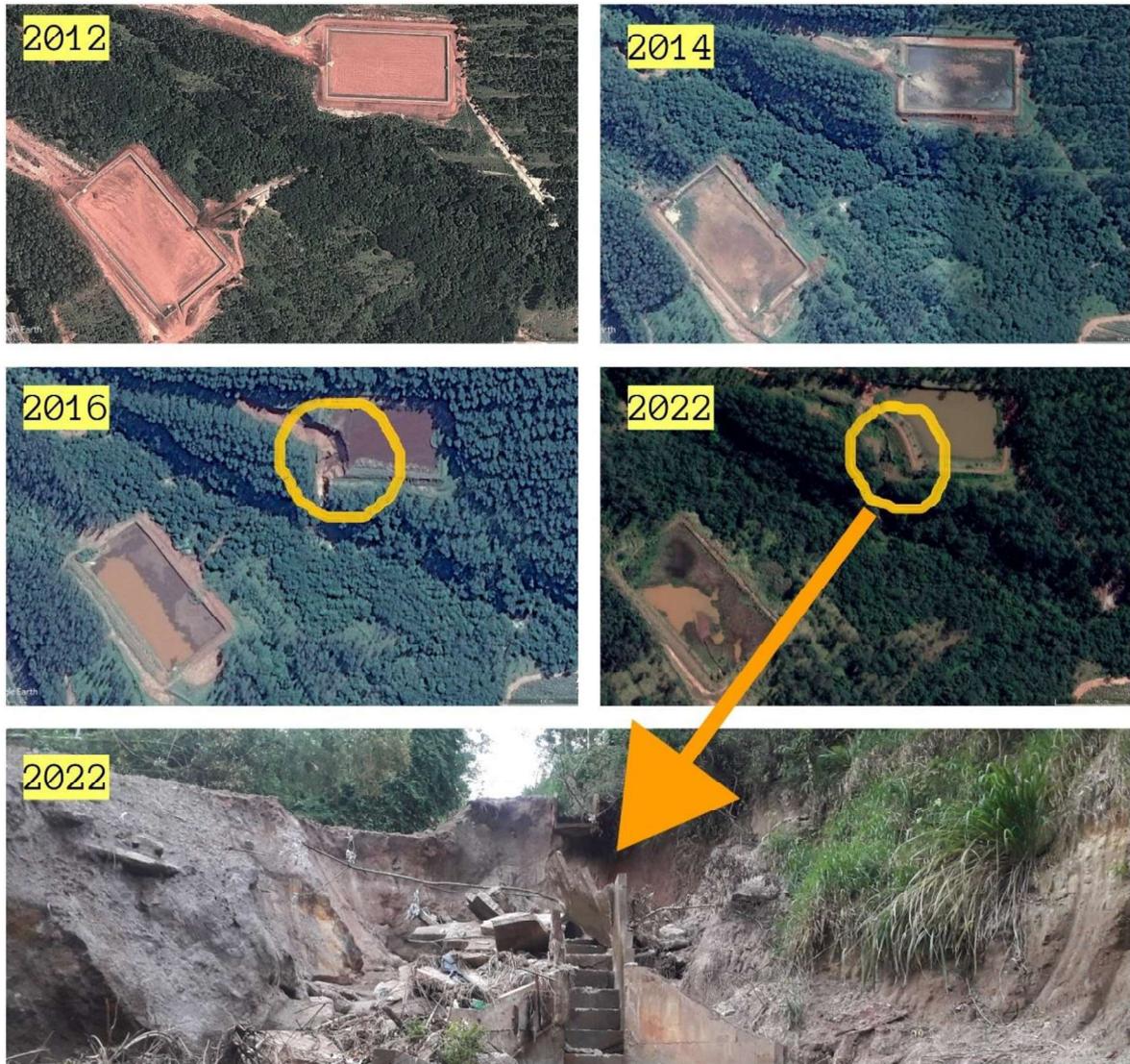
Em 2010, constata-se o aumento de áreas de proteção por APPs em ambas as margens do ribeirão Paracatu. Essa tendência se manteve na década seguinte. Porém, as alterações ambientais no sistema fluvial do referido ribeirão são mais perceptíveis em 2022, quando se verifica a ação da dinâmica erosiva com o respectivo rebaixamento de 6 metros do leito do canal em relação a 1985, pois o talvegue passou a localizar-se a 526 metros de altitude.

Outra alteração ambiental vista na imagem do *Google Earth* de 2022 e croqui dos perfis topográficos (Figura 32) é concernente à implementação de dois sistemas de caixa de contenção responsáveis por receber as drenagens da BR-376 e da parte urbanizada da bacia. As obras de implementação destes sistemas tiveram início em 2012 através da Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná), sendo que no final de 2013 e início de 2014 já estavam em pleno funcionamento (PERES; SÁ, 2021). Na Figura 33, tem-se cronologicamente – 2012, 2014, 2016 e 2022 – a evolução dos referidos sistemas de drenagens.

Em 2012, observa-se as caixas de contenção na fase inicial de implementação. Em 2014, tem-se as caixas já em funcionamento. A imagem de 2016 mostra uma erosão que se formou na caixa à direita bem como a destruição de parte da margem do ribeirão Paracatu (erosão marginal). Finalmente, a imagem de 2022 evidencia que o processo erosivo formado em 2016 não foi tratado, sendo ainda mais evidente no registro fotográfico realizado *in loco* (Figura 33).

Buscando compreender a gênese da erosão de 2016, chegou-se ao trabalho de Peres e Sá (2021), que salientam que, nos anos antecessores à ocorrência do fenômeno, as caixas de contenção encontravam-se assoreadas, necessitando de serviços de dragagem. Este fator, segundo os autores, foi responsável pela redução da capacidade de contenção das drenagens da área urbanizada da bacia e da BR – 376, que, em janeiro de 2016, após intensos eventos de precipitação, romperam-se, de maneira que o canto inferior à esquerda da caixa situada a direita erodiu carreando material sedimentar até o corpo hídrico e assoreando-o.

Figura 33 – Caixas de contenção de drenagens no ribeirão Paracatu entre 2012 e 2022



2012 – Implementação das caixas de contenção, 2014 – Caixas de contenção em funcionamento, 2016 – Rompimento das caixas de contenção e processo erosivo, 2022 – Caixas de contenção atualmente e erosão marginal no ribeirão Paracatu.

Fonte: *Google Earth* (2012, 2014, 2016 e 2022), elaborada pelo autor (2022)

O assoreamento do ribeirão Paracatu em 2016 acarretou a redução de sua vazão e da qualidade d'água. Além disso, as adutoras usadas pela Sanepar na captação de água foram soterradas. Simultaneamente, estes fatores implicaram na interrupção do abastecimento de água para a população urbana de Nova Esperança por 7 dias, o que gerou, segundo o portal de notícias G1 (2016), estado de calamidade pública. Como meio de mitigação, os gestores do município citado providenciaram a dragagem, a perfuração de poços artesianos, a contratação de uma equipe de agentes ambientais para a criação de uma APA - Área de Preservação Ambiental – (nos anos seguintes o projeto não foi aprovado), além de um projeto de utilização do ribeirão

Esperança como manancial (PERES; SÁ, 2021).

Perfil E – F

Localizado a jusante do perfil C – D, o perfil E – F caracteriza-se por significativas alterações no canal. Por volta de 1970, a Sanepar através do projeto de captação d'água realizou a construção da barragem no ribeirão Paracatu, que nos anos sucessores teve sua dinâmica de carga e descarga de sedimentos, a largura das margens e a profundidade do corpo hídrico modificadas.

Tais alterações são mais perceptíveis entre 1985 e 2022 através dos perfis transversais e croquis dos perfis topográficos (Figura 32). A vista disso, em 1985, na direção F do perfil (margem direita do ribeirão), constata-se a ausência de vegetação ciliar, fator que pode contribuir para o carreamento de sedimentos em intensos eventos de precipitação até o canal fluvial. Ainda nesse ano, percebe-se que as vertentes formavam um vale em V aberto, com talvegue situado a 462 metros e terraço da vertente a 485 metros de altitude, o que correspondia uma amplitude altimétrica de 23 metros, isso referente a vertente esquerda (lado E do perfil), cuja extensão corresponde a 250 metros.

Em 2010, constata-se a possível influência dos usos da terra no processo de assoreamento do canal fluvial porque, em direção à margem esquerda da imagem de satélite, verifica-se uma extensa área de solos expostos no período de entressafra, provavelmente da cana-de-açúcar ou da mandioca, o que pode ter favorecido na formação de erosões e o consequente transporte do material sedimentar até o fundo de vale. Cabe salientar que anualmente os solos são revolvidos para um novo plantio (período entressafra), ficando expostos à ação intempérica e susceptíveis à erosão hídrica, fator este que pode ter contribuído para as alterações ambientais no padrão de drenagem e perfil dos canais.

Devido à friabilidade dos solos presentes na bacia associados, a rotatividade das culturas temporárias e de fatores climáticos, detecta-se no croqui do perfil topográfico de 2022 o remodelamento das formas das vertentes, das quais perderam convexidade e adquiriram formas retilíneas. Os sedimentos oriundos de processos erosivos ao decorrer do tempo foram sendo remobilizados da alta vertente para o canal, gerando o assoreamento, a redução do volume de vazão e o alargamento das margens. Vale destacar que o represamento/barramento do canal contribuiu para que ao decorrer destes anos os sedimentos advindos do montante do canal fossem remobilizados até a área represada. Outro fator fundamental no assoreamento do ribeirão foi o desastre de 2016, que provocou o desenvolvimento de erosões do tipo voçorocas

e o rompimento das caixas de contenção, como já salientado na explicação do perfil C – D.

Metricamente, com o aumento da descarga de sedimentos neste trecho do ribeirão, o canal passou a se localizar 3 metros acima do que se localizava em 1985, de modo que atualmente o talvegue encontra-se a 465 metros de altitude. Tal fator requer a atenção da gestão municipal de Nova Esperança para recuperar a área degradada e garantir a qualidade e disponibilidade hídrica para a população de Nova Esperança.

Perfil G – H

O perfil G – H está localizado à jusante do perfil E – F, sendo caracterizado por apresentar vertentes simétricas formando um vale em V aberto. Além disso, entre os perfis analisados, esse é o que apresenta maior sinuosidade das vertentes, sendo a amplitude altimétrica entre o talvegue e o topo da vertente (lado G) de 74 metros de altitude, numa distância de 200 metros.

Entre 1985 e 2022 verifica-se que neste trecho do canal a vegetação ciliar ou ripária se manteve preservada em ambas as margens do ribeirão, fator que pode ter contribuído para que metricamente não ocorressem mudanças no padrão de drenagem e perfil do canal visíveis na escala de análise das imagens do *Google Earth* e perfis topográficos transversais adotados na pesquisa. Na tabela 7 tem-se uma síntese das alterações ambientais ocorridas no padrão de drenagens e nos perfis dos canais da bacia, especificadamente dos dois principais canais, o ribeirão Caxangá e o Paracatu.

Claramente, no decurso do período analisado, 1985 a 2022, os canais fluviais da bacia alteraram-se, principalmente, devido a fatores mistos como a intervenção antropogênica associadas as dinâmicas fluviais naturais. Tais alterações podem impelir impactos socioambientais negativos para as populações que utilizam dos recursos naturais da bacia, o que requer dos agentes ambientais e governamentais uma gestão que vise assegurar o equilíbrio ecológico do sistema ambiental.

Tabela 7 – Alterações ambientais entre 1985 e 2022 nos ribeirões da bacia

Alterações no padrão de drenagem e perfil do canal entre 1985 e 2022		
	1985	2022
Aprofundamento do canal/talvegue	Não detectável nos perfis transversais deste ano.	Perceptíveis nos perfis A - B (no alto curso do ribeirão Caxangá) e C - D (no alto curso do ribeirão Paracatu).
Erosões lineares	Presentes principalmente no alto curso do ribeirão Caxangá (dados históricos).	Presentes do alto ao baixo curso dos ribeirões da bacia (mapeamento das erosões, checagens em campo e imagens de satélite dos perfis transversais)
Erosões marginais	Presentes no ribeirão Caxangá e Possível ocorrência no ribeirão Paracatu (dados históricos).	Presentes nos ribeirões Caxangá e Paracatu (perfis transversais e checagens em campo)
Assoreamento	Não evidente nos perfis transversais deste ano.	Visto no perfil E -F, área próxima à central de captação de água da Sanepar (croqui do perfil topográfico).
Alterações nas formas das vertentes	Provável alteração no perfil A – B, C – D e E –F devido à pressão da área urbana de Nova Esperança e aos usos da terra.	Alterações visíveis nos croquis dos perfis topográficos para os perfis A -B, C -D e E – F.
Canalização/retificação do canal fluvial	Presente no alto curso do ribeirão Caxangá desde 1979 (segundo dados históricos).	Presente no alto curso do ribeirão Caxangá. A retificação e canalização foram restauradas entre 2018 e 2019 (dados bibliográficos e checagens em campo).
Construções de barragens e lagos	Anterior a 1985 foi construída uma barragem para a captação de água no ribeirão Paracatu, no perfil E - F (dados históricos).	Anterior a 2022, em 2008 foi construído um lago artificial na área da N1, perfil A – B (dados históricos e checagens em campo).
Alterações na vegetação ciliar	Vegetação suprimida devido aos usos da terra, principalmente por áreas de pastagens destinadas a pecuária.	Aumento de vegetação no alto curso da bacia. No baixo curso, tem-se a predominância da ausência de vegetação ripária devido às lavouras temporárias.
Fluxo de carga e descarga de sedimentos	No ribeirão Paracatu era controlada principalmente pelas dinâmicas naturais do sistema fluvial, onde predominava-se no alto curso a carga de sedimentos e no baixo curso a descarga. Já no ribeirão Caxangá essa dinâmica de carga e descarga de sedimentos foi alterada em detrimento da canalização e retificação de parte do alto curso do canal.	Dinâmica influenciada por fatores antrópicos e naturais. A principal alteração é verificada no perfil E -F (área de barragem no ribeirão Paracatu) em que passou a predominar a descarga de sedimentos e o consequente assoreamento, além do aumento da largura entre as margens do ribeirão Paracatu.

Fonte: autor (2022)

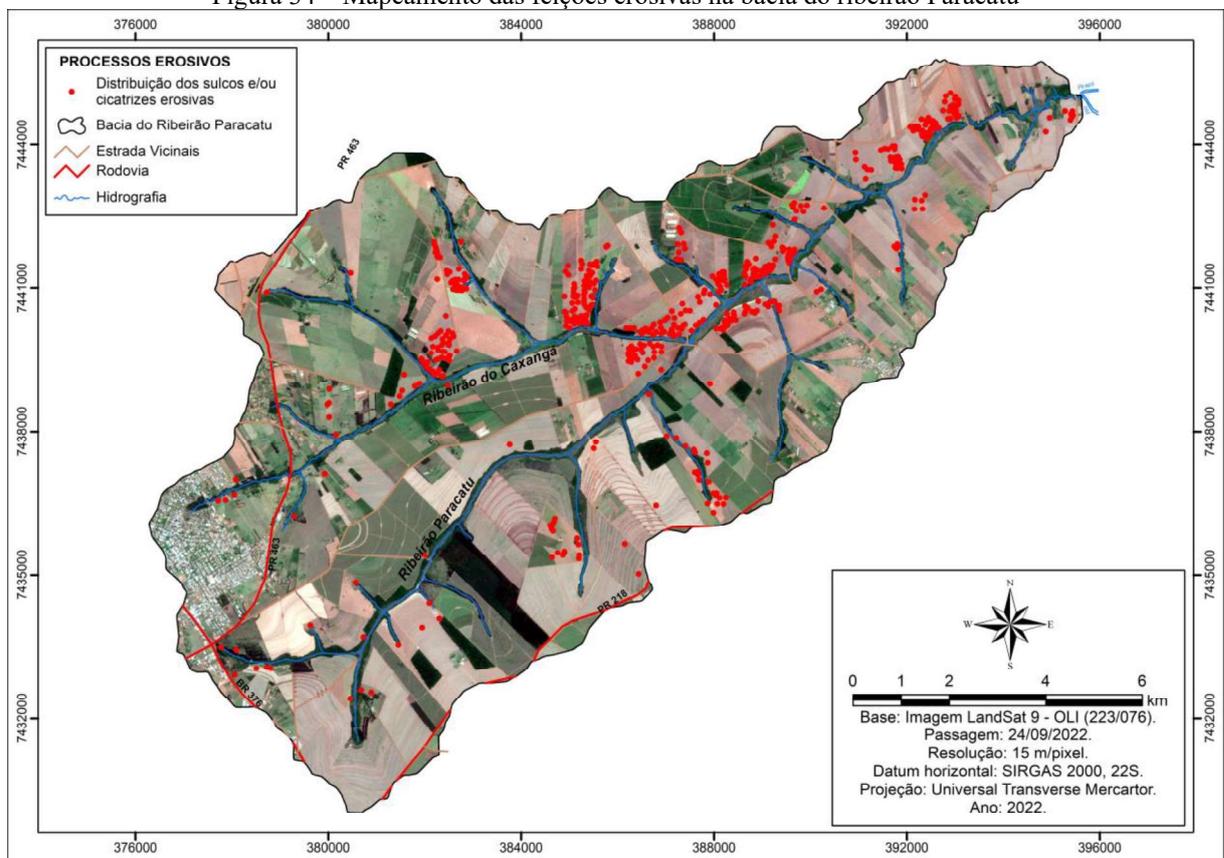
4.2.4 Erosão nos solos e assoreamento dos cursos d'água

A erosão hídrica dos solos ocorre devido a múltiplos fatores como o relevo, a cobertura vegetal, a suscetibilidade natural dos materiais constituintes dos solos sofrerem ou não o destacamento de suas partículas sob ação intempérica (grau de erodibilidade) e a própria ação

antrópica, que se caracteriza nesse processo como um agente intensificador do fenômeno (BASTOS, 1999).

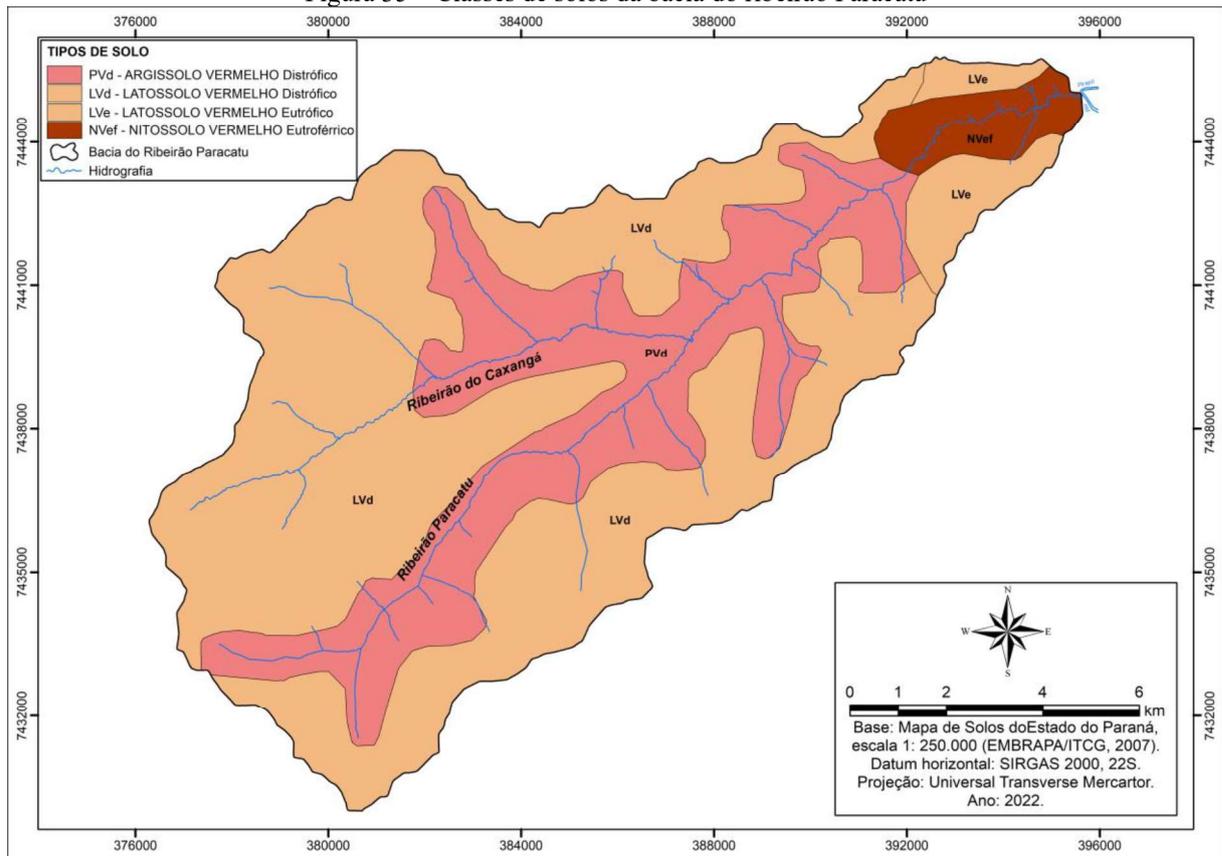
Visando a compreender as áreas de maior propensão a erosão hídrica do solo na bacia de estudo, tanto a partir de fatores naturais como de fatores antrópicos, foi realizado na pesquisa o mapeamento das feições erosivas (Figura 34) e dos tipos de solos (Figura 35) da bacia. Além disso, a caracterização morfológica das classes de solos se deu através de fontes secundárias e foi integrada a análise dos mapeamentos citados (mapeamento das erosões em conjunto com as classes de solos) auxiliaram na análise do componente “estado” do modelo PEIR.

Figura 34 – Mapeamento das feições erosivas na bacia do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2022)

Figura 35 – Classes de solos da bacia do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2021)

Naturalmente, os solos da área de estudo, em sua maioria, são oriundos da degradação das rochas sedimentares do Grupo Caiuá (Formação GoioÊre), que por sua vez, segundo Almeida et al., (1981), Gasparetto e Carvalho (1999) apresentam textura que varia de média a fina, tem coloração arroxeada devido à presença da película de óxido de ferro envolta e são, geralmente, friáveis. Esses fatores naturais explicam, parcialmente, a susceptibilidade da bacia à erosão hídrica.

Ao analisar a carta de erosão dos solos da bacia do ribeirão Paracatu, Figura 34, percebe-se a padronização das erosões nos setores próximas dos cursos d'água, bem como a influência dos usos da terra na ocorrência do referido fenômeno, pois as erosões foram identificadas, principalmente, nas áreas de cultivos da cana-de-açúcar nos períodos de entressafra e nas áreas de pastagens degradadas.

Nestas áreas, como ilustra a Figura 35, representado em rosa, têm-se o Argissolo, solos profundos com horizontes A, Bt (textural) e C, facilmente identificáveis em análise macroscópica. Essa classe de solo na bacia é o que mais apresenta a ocorrência de processos erosivos, tendo como a principal característica a diferenciação textural do horizonte A, mais

arenoso, e o subsuperficial Bt, mais argiloso (CASAGRANDE, 2012; PERES e SÁ, 2021).

Segundo os autores, a alta concentração de argila no horizonte Bt em relação ao horizonte A, superficial arenoso, relacionados aos baixos valores de matéria orgânica e à alta porcentagem de argila dispersáveis em água, são forçantes da susceptibilidade a erosão que a referida classe de solo apresenta. Com a ocorrência de intensos eventos de precipitação, a tendência é que a água infiltre rapidamente sobre o horizonte A e mais lentamente no horizonte Bt, gerando um acúmulo hídrico no topo deste horizonte subsuperficial e conseqüentemente o escoamento lateral, favorecido pela declividade do terreno. Dado isso, o horizonte A tende a saturar de água rapidamente, fazendo que o excesso de água passe a escoar superficialmente e subsuperficialmente (Bt), acarretando a erosão.

Segundo Sousa e Lobato (2020), nessa classe de solos, durante as épocas de plantio o risco de erosão é maior, devido à exposição dos solos às chuvas.

Nos setores de alta e média vertente da bacia, as erosões são menos recorrentes, como mostra a Figura 34. Nesses setores, têm-se o Latossolo Vermelho Eutrófico e o Latossolo Vermelho Distrófico (Figura 35), um tipo de solo profundo, poroso, com textura variável e que contém, geralmente, elevado teor de alumínio e óxido de ferro, mas pouca fração de silte (SILVA; SILVA; CAVALCANTI, 2005). Cabe ressaltar que, na bacia de estudo, os locais ocupados pela referida classe de solo são dominados por áreas de relevo suave-ondulado onde o escoamento superficial das águas das chuvas é mais lento; esse fator pode explicar a menor ocorrência de erosões, já que o escoamento das águas pluviais sobre a superfície é, geralmente, lento.

Percebe-se que os solos da área de estudo apresentam propensão natural à erosão. Esse fator, somado à antropização da paisagem, principalmente devido aos usos da terra, historicamente tem contribuído com a formação de erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas). Neste contexto, a Figura 36 retrata uma voçoroca em épocas distintas, 1980 e 2022, destacado em vermelho nas figuras 36A e 36B, no alto curso do ribeirão Caxangá.

Figura 36 – Processos erosivos em épocas distintas, 1980 e 2022, no alto curso do ribeirão Caxangá



A - Vista aérea da voçoroca na margem direita do ribeirão Caxangá em 1980 (ITC-PR, 1980), B - Vista aérea da voçoroca na margem direita do ribeirão Caxangá em 2022 (Google Earth Pro, 2022), C – Registro fotográfico da voçoroca localizada na margem direita do ribeirão Caxangá em 2022.

Fonte: autor (2022)

Na fotografia aérea de 1980, Figura 36A, observa-se destacado em verde a voçoroca (estabilizada) formada na década de 1960 na N1, enquanto o destaque em vermelho (figura 37A) retrata uma de suas ramificações.

Na Figura 36B, nota-se que a voçoroca, destaque em vermelho, sofreu redução em sua dimensão, sendo atualmente menor do que em 1980. Na extremidade desse fenômeno erosivo, há a surgência da nascente (antrópica) de um dos tributários do ribeirão Caxangá. A prefeitura municipal de Nova Esperança, na tentativa de adequar este sistema ambiental ao Código Florestal – (BRASIL, 2012) e proteger as águas subterrâneas, fez o tamponamento da mesma diversas vezes, entretanto, em intensos eventos de precipitação a erosão sempre retornou a sua forma.

Na sequência, explana-se sobre os detalhamentos dos processos erosivos desenvolvidos nas nascentes N1 e N2 dos ribeirões Caxangá e Paracatu.

4.2.4.1 Análise documental histórica dos processos erosivos da N1

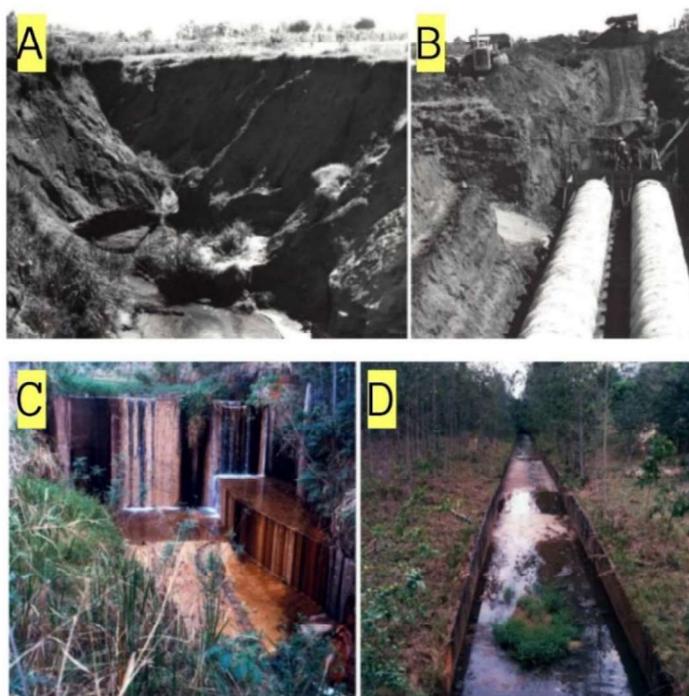
Na década de 1960, somando os fatores físicos-naturais dos solos e rochas e a pressão

antrópica sobre a paisagem local, formou-se no talvegue da N1 uma voçoroca de 700 metros de extensão, com ramificações que mediam até 200 metros (CASAGRANDE, 2012).

Segundo o autor, em 1979, foram adotadas medidas de reestruturação da paisagem e contenção do fenômeno pela gestão municipal de Nova Esperança. Uma das medidas foi a construção do Parque das Grevíleas, que contou com a plantação de 10.000 mudas de grevíleas com espaçamento de 5 x 10 metros. O parque media, na época, 5.176 metros quadrados. Ainda em 1979, foram implementados terraços, caixas para a contenção de água e tubulações, para conter a velocidade de escoamento das águas oriundas do centro da cidade que eram drenadas através de tubulações de concreto até o ribeirão Caxangá.

Durante a construção do parque (Figura 37), nas áreas de margens instáveis, parte do canal fluvial do ribeirão Caxangá foi retificado e canalizado, além disso, foi construída uma obra de dissipação de energia das águas, com o intuito de estabilizar as erosões marginais recorrentes na época (CASAGRANDE, 2012).

Figura 37 – Construção do Parque das Grevíleas



A-Voçoroca na N1, B-Instalação das tubulações, C- Obra de dissipação de energia (1985), D – Canal fluvial retificado e canalizado seis anos após a construção do parque.

Fonte: Casagrande (2012).

Após quarenta e três anos de sua construção, o parque passou por duas revitalizações, uma em 2008, e outra em 2018. Na primeira, foi construído um lago artificial no ponto de

surgência da N1, enquanto na segunda revitalização o parque ganhou duas pistas de calçadas ecológicas, além da manutenção/reparação do trecho canalizado e retificado e da obra de dissipação de energia das águas (PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA ESPERANÇA, 2022). Na Figura 38, observa-se o parque em 2022.

Figura 38 – Registros fotográficos de 2022 do ribeirão Caxangá/N1 nos limites do Parque das Grevíleas



A – Lago artificial, B- Canal canalizado e retificado, C- Obra de dissipação de energia, D- Calçada ecológica.

Fonte: autor (2022).

4.2.4.2 Análise histórica subsidiada por produtos de sensores remotos da erosão da N2

A N2, nascente do ribeirão Paracatu, tem seu ponto de surgência situado na extremidade de uma erosão linear do tipo voçoroca. Devido ao rápido avanço, durante anos a erosão engendrou preocupações a população de Nova Esperança. A vista disso, podemos nos questionar sobre se foram adotados planos de ações de contenção do fenômeno supracitado pela gestão dos municípios drenados pela bacia. Para compreender se houve tais medidas mitigatórias, a Figura 39 foi analisada sob uma perspectiva multitemporal (1980, 2000 e 2022)

com o uso de produtos de sensores remotos, fotografias aéreas e imagens de satélite.

Figura 39 – Vista aérea da N2 nos anos de 1980 (A), 2000 (B) E 2022 (C)



A- Fotografia aérea da N2 (IBC, 1980), B- Vista aérea da N2 em 2000 (Landsat/Copernicus), C- Vista área em 2022.

Fonte: *Google Earth Pro* (2022).

Em 1980, como mostra a Figura 39 – A, no entorno da N2, verifica-se a ausência de vegetação arbórea e a presença de pastagens destinadas à pecuária de corte. Possivelmente, o déficit de vegetação ciliar associada às alterações do ambiente gerada pelo uso da terra pode ser considerado como fatores causadores de erosões aceleradas na área.

Devido ao rápido avanço do fenômeno erosivo, por volta dos anos 2000, os gestores municipais de Nova Esperança iniciaram o plano de recuperação da área degradada através da recuperação da vegetação ciliar, bem como de sua preservação no entorno da nascente. Porém, na Figura 39– B, observa-se ainda uma vegetação suprimida, decorrente dos usos econômicos da terra.

Em 2022, Figura 39 – C, verifica-se que os resultados do plano de recuperação da área degradada foram mais efetivos, sendo a densidade de biomassa vegetal no entorno da N2 maior do que nas décadas anteriores. Atualmente, a erosão da N2 se encontra estabilizada e protegida pela vegetação ciliar. Além desses fatores, destaca-se o avanço da urbanização em direção a N2, este fator associado a falta de infraestrutura urbana, principalmente, entre as décadas de 1960 e 1980 pode ter contribuído para o avanço do fenômeno erosivo, que somente mais tarde foi estabilizado com o referido plano de recuperação da área degradada adotado pela gestão municipal de Nova Esperança, como já mencionado.

4.3 Indicadores de Impacto Ambiental

Foram identificados dois componentes como os indicadores de impacto ambiental do modelo PEIR na bacia em estudo. O primeiro está relacionado com as áreas degradadas das nascentes dos principais cursos d'água, já citadas anteriormente, e as implicações ambientais na qualidade da água que foram analisadas a partir do índice do grau de impacto ambiental das nascentes (IIAN). Assim como, um segundo indicador de impacto ambiental relacionado com a vegetação em áreas de APPS.

4.3.1 Índice de Impacto Ambiental - IIAN –áreas de nascentes

No Quadro 3, observa-se a pontuação atribuída a cada parâmetro macroscópico do indicador do índice de impacto ambiental (IIAN), aplicados na nascente (N1) do ribeirão Caxangá, esta análise considerou 100 metros de raio do entorno da nascente.

Quadro 3 – IIAN da nascente do ribeirão Caxangá

ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL (IIAN) – N1, RIBEIRÃO CAXANGÁ			
Visita: 28/05/2022	Coordenadas: 23°10'42.24"S e 52°12'3.98"W	Área urbana de Nova Esperança	Altitude: 531 metros
PARÂMETROS MACROSCÓPICOS DO IIAN			
Pontuação	(1)	(2)	(3)
Cor da água	Leitosa	Turva	Transparente X
Odor da água	Fétido	Fraco	Ausente X
Espuma na água	Muito	Pouco	Ausente X
Materiais flutuantes na nascente	Muito	Pouco X	Ausente
Resíduos sólidos nas margens	Muito	Pouco	Ausente X
Vegetação (APPs)	Ausente	Pouco suprimida X	Muito
Processos erosivos	Muito	Pouco X	Ausente
Lançamento de esgoto	Presente X	Provável presença	Ausente
Acesso a nascente	Fácil X	Difícil	Inacessível
Afloramento	Assoreado	Difusa	Pontual X
Uso por animais	Constante	Esporádico	Ausente X
Proximidade da nascente com os estabelecimentos residenciais	<50	Entre 50 e 100 X	>100
X – Marcador de pontuação		Pontuação final: 26	

Fonte: autor (2023)

Na N1, a água apresentou-se transparente, inodora e ausente de espuma. Todavia, foi verificado a presença de materiais flutuantes, sujeira da rua como folhas e galhos de árvores, advindos do escoamento superficial das águas pluviais. No entorno da nascente, não foram vistos resíduos sólidos.

Considerando o alto grau de antropização da N1, a vegetação a montante é suprimida, porém, em direção a jusante é expressiva e biodiversa. Segundo Giacomini e Souza (2021, p. 10), as espécies arbóreas presentes no entorno são:

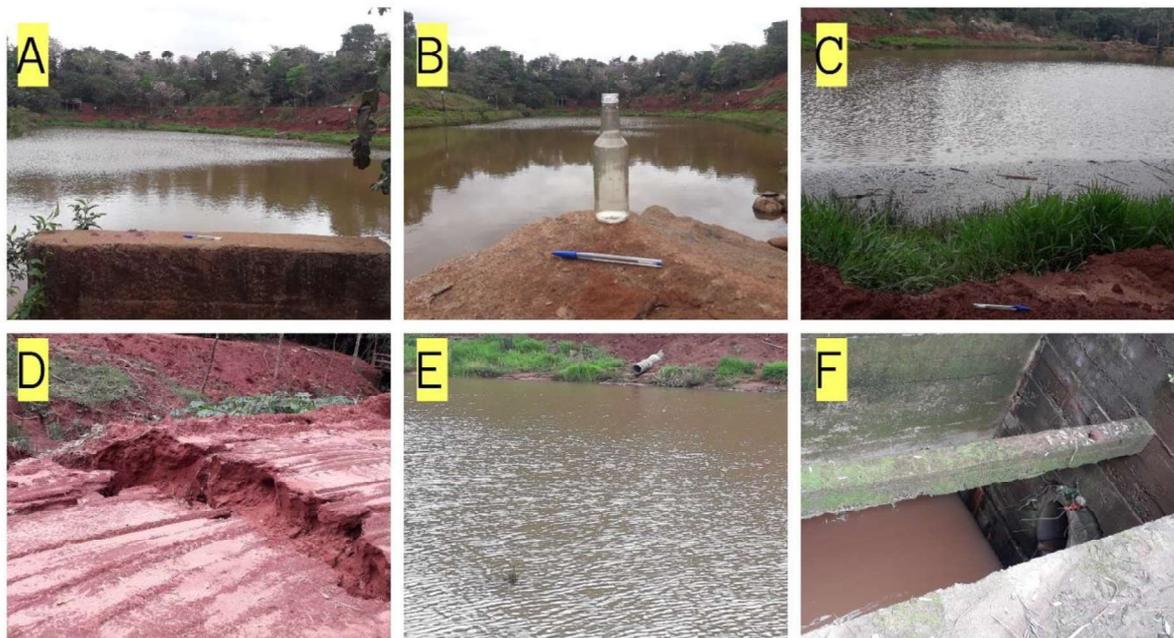
“Aspidosperma polyneuron - Peroba-Rosa; Galesia integrifolia – Pau - D’ - Alho; Schinus terebinthifolius – Aroeira - Pimenteira; Syagrus romanzoffiana – Coqueiro - Jerivá; Ocotea sp - Canelão; Calliandra brevipes - Caliandra; Sessea regnellii – Peroba - D’-Água; Anstronium graveolens - Guaritá; Eriobotrya japonica - Nêspera; Jaracatia spinosa - Jaracatiá; Syzygium cumini - Jambolão; Campomanesia sp - Guabioba; Crataeva tapia - Tapiá; Coffea sp - Café; Mangifera indica - Mangueira; Trema micrantha – Pau - Pólvora; Cytharexylum myrianthum - Tucaneira; Bauhinia forficata – Pata – de - vaca; Magnolia champaca – Magnólia - Amarela; Jacaranda mimosifolia - Jacarandá Mimoso; Patagonula americana - Guajuvira; Cecropia sp - Embaúba; Sebastiana sp - Branquinho e Cedrela fissilis – Cedro”.

Constatou-se também a presença de erosões lineares do tipo “ravinas” num raio de 100 metros da nascente, além do lançamento de efluentes domésticos como uma fonte de poluição/contaminação pontual do ribeirão Caxangá.

Houve certa dificuldade no que concerne à classificação da tipologia da nascente quanto à surgência (pontual ou difusa) devido à existência de um lago. Contudo, registros fotográficos de antigos moradores dão indícios de surgência pontual. Também, constatou-se que o acesso à nascente é fácil.

Finalmente, foi verificado que o uso por animais é ausente e que a distância mínima da nascente dos estabelecimentos residenciais é de 70 metros, estando em conformidade com o que preconiza o Código Florestal (BRASIL, 2012). Os registros fotográficos dos parâmetros do IIAN da N1 estão representados na Figura 40.

Figura 40 – Parâmetros macroscópicos do IIAN analisados na N1 do ribeirão Caxangá



A – Nascente do ribeirão Caxangá, B – Cor da água, C – Materiais flutuantes, D – Erosão linear, E- Lançamento de efluentes, F – Lançamento de efluentes a 70 metros em direção a jusante da nascente.

Fonte autor (2022)

A soma dos parâmetros macroscópicos analisados resultou 26 pontos no IIAN. Assim, a N1 foi classificada como D, ou seja, situação ambiental ruim. Os resultados dos parâmetros de análise da N2 estão dispostos no Quadro 4.

Quadro 4 – IIAN da N2, nascente do Ribeirão Paracatu

ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL (IIAN) – N2, RIBEIRÃO PARACATU			
Visita: 28/05/2022	Coordenadas: 23°12'10.68"S e 52°11'40.58" W	Parque Industrial de Nova Esperança	Altitude: 548 metros
PARÂMETROS MACROSCÓPICOS DO IIAN			
Pontuação	(1)	(2)	(3)
Cor da água	Leitosa	Turva X	Transparente
Odor da água	Fétido	Fraco	Ausente X
Espuma na água	Muito	Pouco	Ausente X
Materiais flutuantes na nascente	Muito	Pouco	Ausente X
Resíduos sólidos nas margens	Muito	Pouco X	Ausente
Vegetação (APPs)	Ausente	Pouco suprimida X	Muito
Processos erosivos	Muito X	Pouco	Ausente
Lançamento de esgoto	Presente	Provável presença	Ausente X
Acesso a nascente	Fácil	Difícil X	Inacessível
Afloramento	Assoreado	Difusa X	Pontual
Uso por animais	Constante	Esporádico	Ausente X
Proximidade da nascente com os estabelecimentos residenciais	<50	Entre 50 e 100 X	>100
X – Marcador de pontuação		Pontuação final: 28	

Fonte: autor (2023).

Na N2, a água apresentou-se turva devido aos sedimentos em suspensão, sem odor e ausência de espuma e materiais flutuantes. Em seu entorno, foi verificado o descarte irregular de pneus.

A vegetação é suprimida em direção à montante, as erosões lineares e marginais são recorrentes. Quanto ao lançamento de esgoto, é ausente, o acesso à nascente é difícil devido às condições de relevo e vegetação.

A nascente tem surgência em meio às gramíneas, *Paspalum notatum* 'Flugge', popularmente conhecida como “mato grosso”, apresenta tipologia de surgência difusa, pois forma-se em meio às gramíneas um “brejo” e, somente após alguns metros da jusante, têm-se a formação do canal de drenagem.

O uso por animais é ausente, a proximidade da nascente dos estabelecimentos residenciais é superior a 100 metros, ou seja, está em conformidade com as diretrizes do Código Florestal (BRASIL, 2012). A N2 obteve 28 pontos no IIAN, classificada como C. Esse índice reflete que as condições ambientais estão num nível intermediário (razoável). Na Figura 41, pode-se observar os parâmetros macroscópicos do IIAN analisados na N2.

Figura 41 – Parâmetros macroscópicos do IIAN analisados na N2 do ribeirão Paracatu



A - Nascente do ribeirão Paracatu, B – Nascente difusa, C – Coloração da água, D – Descarte irregular de pneus, F – Acesso a nascente.

Fonte: autor (2022)

No Quadro 5, observa-se os resultados dos parâmetros macroscópicos analisados do

índice IIAN da N3.

Quadro 5 – IIAN da N3, nascente do ribeirão Paracatu

ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL (IIAN) – N3, RIBEIRÃO PARACATU			
Visita: 28/05/2022	Coordenadas: 23°13'11.24"S e 52°10'0.73"W	Área rural de Nova Esperança	Altitude: 514 metros
PARÂMETROS MACROSCÓPICOS DO IIAN			
Pontuação	(1)	(2)	(3)
Cor da água	Leitosa	Turva	Transparente X
Odor da água	Fétido	Fraco	Ausente X
Espuma na água	Muito	Pouco	Ausente X
Materiais flutuantes na nascente	Muito	Pouco	Ausente X
Resíduos sólidos nas margens	Muito	Pouco	Ausente X
Vegetação (APPs)	Ausente	Pouco suprimida	Muito X
Processos erosivos	Muito	Pouco X	Ausente
Lançamento de esgoto	Presente	Provável presença	Ausente X
Acesso a nascente	Fácil	Difícil X	Inacessível
Afloramento	Assoreado	Difusa	Pontual X
Uso por animais	Constante	Esporádico	Ausente X
Proximidade da nascente com os estabelecimentos residenciais	<50	Entre 50 e 100	>100 X
X – Marcador de pontuação		Pontuação final: 34	

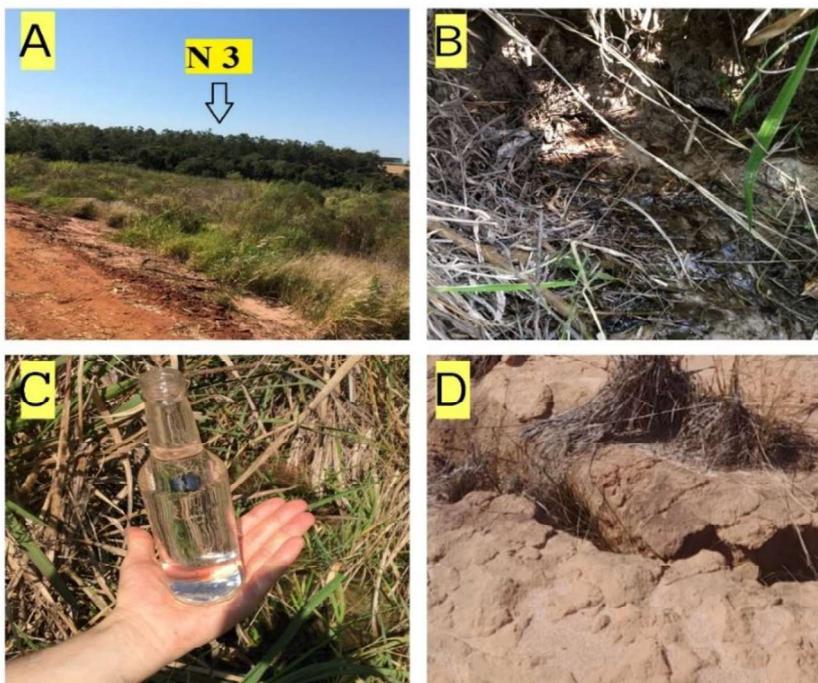
Fonte: autor (2023).

A N3 apresentou água de coloração transparente, ausente de odor, espuma, materiais flutuantes e resíduos sólidos no entorno. A vegetação está regulamentada com o Código Florestal (BRASIL, 2012), no que tange o raio de 50 metros de delimitação de APPs.

Nas proximidades da N3, foram vistos sulcamentos erosivos, não foram identificados lançamentos de esgotos domésticos ou industriais. O acesso à nascente é difícil devido às condições de relevo e vegetação. Ela tem a tipologia de surgência pontual, sendo o uso por animais ausente e sua proximidade com os estabelecimentos residenciais/industriais é superior a 100 metros, com mais exatidão, é de 3.571, 61 metros.

A N3 obteve o valor 34 no IIAN, sendo então classificada como “A”, ou seja, segundo a proposta de Gomes et al., (2005), esta classificação remete a uma ótima condição ambiental. Os parâmetros de avaliação do IIAN podem ser vistos na Figura 42.

Figura 42 – Parâmetros macroscópicos do IIAN analisados na N3 do ribeirão Paracatu



A – Nascente N3, B – tipologia de surgência pontual, C – Coloração transparente, D – Sulco erosivo.

Fonte: autor (2022)

A classificação das nascentes no geoindicador IIAN foi a seguinte:

- a) N1: 26 pontos (D – ruim);
- b) N2: 28 pontos (C – razoável);
- c) N3: 34 pontos (A – ótimo).

Constatou-se na pesquisa que a metodologia de Gomes et al. (2005) é eficaz no sentido de caracterizar e de apresentar uma ideia geral das condições ambientais do objeto analisado. Contudo, devido à sua subjetividade (depende da percepção e do grau de conhecimento do pesquisador), e ao não enquadramento no princípio geográfico de “conexidade” de Jean Brunhes, que diz que os fatos não são isolados, mas sim inseridos num sistema de relações locais e interlocais (NOGUEIRA; CARNEIRO, 2009), a metodologia de Gomes et al. (2005) é limitada para análises mais precisas, uma vez que não considera tais externalidades.

A exemplo do exposto, na N1, a coleta d’água mostrou a coloração transparente e ausente de odor; porém, a 200 metros em direção à jusante, a realidade é distinta: a coloração da água apresenta-se leitosa, com odor fétido e presença de espuma.

Já a N2, devido à proximidade com o Parque Industrial de Nova Esperança e com a BR-

376 e PR- 463, está sujeita ao risco de desastres tecnológicos e contaminação das águas por agentes químicos das indústrias e dos herbicidas usados nas lavouras nas áreas adjacentes, o que pode comprometer a qualidade da água do manancial de abastecimento e até mesmo provocar efeitos deletérios aos organismos bióticos expostos a mesma.

A N3 que obteve “A” na classificação do IIAN é circundada, fora dos limites de delimitação de APPs, pelo plantio da cana-de-açúcar. Em períodos de entressafra, os solos ficam expostos e suscetíveis à ocorrência de fenômenos erosivos (em casos de intensos eventos de precipitação).

Isso pode gerar erosões e assorear a nascente/ribeirão. Além disso, suas águas podem ser contaminadas pelo uso de herbicidas utilizados nas lavouras de cana-de-açúcar e de outras culturas produzidas nas áreas de entorno.

Devido a estes pontos fracos apontados na aplicação do IIAN, na Figura 43, observa-se alguns dos problemas ambientais das nascentes não identificadas no IIAN. A Figura 43 A retrata a aparente poluição do ribeirão Caxangá (análise macroscópica); a Figura 43 B retrata a proximidade da nascente do ribeirão Paracatu com o Parque Industrial de Nova Esperança e com a BR – 376. A Figura 43 C retrata as áreas de entrono de uma das nascentes do ribeirão Paracatu dominadas pelo plantio da cana-de-açúcar.

Figura 43 – Problemas ambientais nas nascentes e canais fluviais não identificadas no IIAN



A – Ribeirão Caxangá poluído/contaminado, B – Proximidade da N2 com o parque industrial e BR – 376, C- Período entressafra da cana-de-açúcar no entorno da N3.

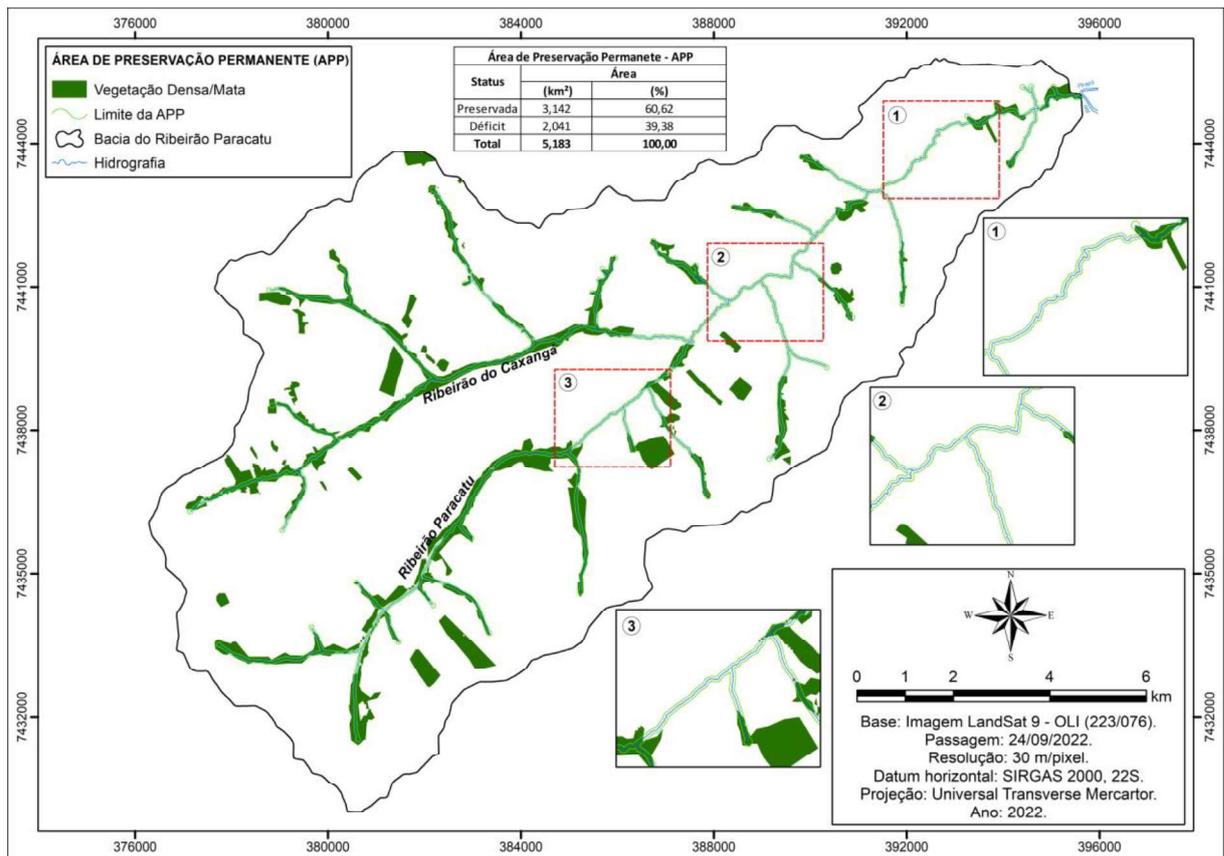
Fonte: autor (2022)

Essa análise que ultrapassou os limites das nascentes é relevante, pois as áreas de entorno destes sistemas ambientais podem influenciar na dinâmica de funcionamento e engendrar impactos ambientais.

4.3.2. Impactos Ambientais: análise da vegetação em APPs

Como já mencionado nesta pesquisa, a legislação ambiental vigente que regula a delimitação de áreas de APPs (Áreas de Preservação Permanentes) nas faixas marginais dos cursos d'água é o Código Florestal, instituído pela Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012). As municipalidades que a bacia de estudo abarca não dispõe de leis ambientais específicas que regulamentam a delimitação das APPs, pois estas se pautam unicamente na legislação federal citada. Assim, a delimitação das APPs nas áreas de nascentes e ao longo das extensões longitudinais dos canais de drenagens da bacia obedeceram respectivamente aos 50 metros (de raio no entorno das nascentes) e 30 metros (de vegetação ciliar) estabelecidos pela referida legislação, como ilustra a Figura 44.

Figura 44 – Carta de delimitação das áreas de APPs do ribeirão Paracatu



Fonte: autor (2022)

Primeiramente, constata-se através do produto cartográfico que a N1 e algumas outras nascentes dos tributários dos ribeirões Paracatu e Caxangá não atendem o raio de delimitação de 50 metros de APPs estipulados pela legislação federal, o que as coloca em situação de

irregularidade ambiental e susceptibilidade à degradação, como por exemplo, à redução do volume de água, à alteração da tipologia de surgência (de perene para efêmera) e até mesmo ao secamento.

Nos setores de alto e médio curso da área de estudo, em alguns trechos das extensões marginais dos ribeirões principais e de seus tributários, a vegetação ciliar não cumpre os 30 metros de delimitação. Essa situação se agrava após a confluência dos ribeirões Paracatu e Caxangá, no setor de baixo curso, onde as pastagens e culturas temporárias estão ocupando o lugar da vegetação ciliar.

De modo geral, a bacia apresenta um déficit de 39,38% de áreas de APPs, e é necessário o reflorestamento dessas áreas para garantir a manutenção do equilíbrio hídrico e da ictiofauna e para assegurar o controle de erosões marginais e assoreamento dos canais de drenagens.

4.4 Geoindicadores/Indicadores de Resposta

Os geoindicadores e indicadores selecionados e analisados evidenciaram que a bacia do ribeirão Paracatu vem sofrendo alterações ambientais nos últimos 38 anos, decorrentes principalmente da pressão antrópica sobre a paisagem tanto da área rural quanto da urbana que compõem a bacia hidrográfica. Sobretudo, do uso e ocupação da terra em consonância com as dinâmicas naturais do sistema físico-natural, ou seja, a gênese dessas mudanças ambientais é mista.

Pode-se destacar também que a análise multitemporal, tempos curtos, revelou um cenário de degradação ambiental, destacando-se o desmatamento da cobertura vegetal original, principalmente da vegetação ciliar no baixo curso da bacia, a formação de erosões lineares e marginais e consequentemente o assoreamento dos canais fluviais, fator este que tem impelido a redução da disponibilidade hídrica do ribeirão Paracatu para o consumo humano.

Com isso, a proposição da análise ambiental da bacia com o uso do modelo PEIR na componente resposta teve como objetivo apontar ações destinadas às municipalidades abarcadas pela bacia, juntamente aos órgãos ambientais municipais e estaduais, comitês de bacias hidrográficas – neste caso, a unidade do Piraponema – e órgãos públicos e privados, capazes de amenizar ou prevenir a degradação dos atributos do sistema físico-natural levantados na pesquisa. Assim, no Quadro 6, tem-se os principais problemas ambientais da bacia com as possíveis medidas mitigadoras (respostas).

Quadro 4

Problemas ambientais	Possíveis soluções (respostas do PEIR)
Degradação das APPs em área de vegetação ciliar.	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperação/preservação da vegetação ciliar; • Criação de programas de conscientização para os agricultores no que tange a preservação das áreas de reserva legal.
Erosões dos solos	<ul style="list-style-type: none"> • Criação de programas de controle a erosão; • A criação de programas de conscientização para os agricultores no que tange a preservação das áreas de reserva legal; • Implementação anual do sistema de dragagem nas caixas de contenção localizadas na cabeceira de drenagem do ribeirão Paracatu; • Aprovação do Plano de Bacia Hidrográfica, o qual pode incluir mecanismos para a cobrança pelo uso das águas.
Assoreamento dos canais fluviais da bacia	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação anual do sistema de dragagem nas caixas de contenção localizadas na cabeceira de drenagem do ribeirão Paracatu; • Criação de uma APA na área do manancial; • Aprovação do Plano de Bacia Hidrográfica, o qual pode incluir mecanismos para a cobrança pelo uso das águas;

Fonte: Autor (2022)

A recuperação e a preservação da vegetação ciliar podem reduzir a formação de erosões marginais na bacia e contribuir com a redução na produção de sedimentos que são remobilizados para os canais fluviais, podendo amenizar o processo de assoreamento. Nesse contexto, a criação da APA na área do manancial é uma medida que através de um zoneamento ecológico pode recuperar a área degradada e assegurar a qualidade e disponibilidade hídrica para a população consumidora de tal recurso.

Além da criação de programas de controle a erosão, o tratamento delas caracteriza-se como uma importante ação mitigatória no sentido de evitar a degradação pela perda de solos e suas consequentes implicações socioambientais negativas para a sociedade.

A realização anual de limpeza do sistema de dragagem nas caixas de contenção do ribeirão Paracatu poderá garantir a capacidade de contenção dos solos oriundos das drenagens da área urbana de Nova Esperança e da BR – 376, reduzindo as chances de rompimento das caixas durante os eventos de precipitação. Dessa forma, poderá evitar processos erosivos nos terrenos adjacentes e o arraste de sedimentos até o ribeirão, amenizando o processo de assoreamento.

No que se refere à inclusão de mecanismos de cobrança pelo uso d'água, cabe salientar que tal medida foi instituída no Brasil pela Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), como o escopo de garantir o uso racional d'água e a partir dos recursos financeiros arrecadados poderá haver investimentos na recuperação e preservação de mananciais de bacias hidrográficas. Assim, as unidades consumidoras das águas da bacia do ribeirão Paracatu dos setores primário, secundário

e terciário, potencialmente capazes de alterar a qualidade e a disponibilidade hídrica devem ser cobradas pelo uso d'água. Contudo, esse tipo de cobrança por tipo de usuário e consumo não foi implementada na bacia e encontra-se atualmente em estudo pelo comitê do Piraponema.

Finalmente, a criação de programas de conscientização para os agricultores no que concerne à preservação das áreas de reserva legal consiste numa medida relevante a ser adotada, já que, em diversas propriedades da bacia, principalmente no baixo curso, constatou-se o não cumprimento das áreas de reserva legal nas proximidades dos cursos d'água devido as atividades econômicas. O programa incentivaria os agricultores a preservar essas áreas a partir da conscientização/sensibilização sobre a importância ambiental de manter as áreas de vegetação ciliar em suas propriedades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do conceito de geoindicadores e a sua sistematização no modelo PEIR contribuíram, nesta pesquisa, para uma análise ambiental de caráter integrativo, compondo-se dos sistemas físico-natural e socioeconômico da bacia do ribeirão Paracatu. Nesse sentido, apresenta-se nos parágrafos subsequentes o desfecho conclusivo da análise.

Primeiramente, a estruturação dos geoindicadores no modelo PEIR subsidiou a compreensão das alterações ambientais na bacia supracitada, decorrentes de gênese natural e daquelas ocasionadas pela intervenção antropogênica ou mista, pois o modelo citado considera a ação do homem no meio ambiente como fonte de pressão sobre os atributos intrínsecos da paisagem.

Além disso, as checagens *in loco* em conjunto com a utilização de dados de sensoriamento remoto – imagens de satélite e fotografia aérea– associada às técnicas de geoprocessamento e o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), disponíveis em bancos de dados georreferenciados, foram primordiais para a elaboração das cartas temáticas, auxiliando na análise dos geoindicadores e indicadores. Dessa forma, infere-se que o conhecimento cartográfico alinhado ao emprego do SIG é relevante para o planejamento/gerenciamento ambiental e para a tomadas de decisões.

O objetivo dos indicadores que compuseram o componente “pressão” do PEIR / historicização/caracterização da área de estudo e o uso e ocupação da terra – foi investigar como a influência antrópica contribuiu para a degradação dos atributos físicos da bacia. Com isso, constatou-se que diversas alterações ambientais no decurso dos últimos 38 anos analisados tiveram como fonte primordial de degradação os usos da terra.

Nesse contexto, por exemplo, na década de 1980, a vegetação ciliar ao longo das extensões marginais dos canais fluviais da bacia encontrava-se suprimidas em decorrência dos usos da terra destinados às pastagens para a pecuária. Já em 2022, a principal fonte de pressão antrópica da vegetação passou a ser o cultivo de lavouras temporárias, totalizando 62,19% da bacia. Este tipo de uso da terra, durante os períodos de entressafra e devido à exposição dos solos à ação intempérica, promove um aumento da susceptibilidade à ocorrência de erosões hídricas e de assoreamento dos cursos d’água. Na bacia de estudo, o desastre hidrometeorológico ocorrido em janeiro de 2016 – acelerou o voçorocamento e o assoreamento do ribeirão Paracatu – enquadrando-se nesta conjuntura.

O indicador de uso da terra evidenciou também a pressão que o crescimento da área urbana de Nova Esperança tem desencadeado nas cabeceiras de drenagens da bacia, sobretudo,

nas nascentes N1 e N2. Esse quadro requer que os dirigentes adotem planos de ações considerando as dinâmicas de âmbito social, econômico e ambiental no gerenciamento/planejamento urbano/ambiental da área estudada.

Através da análise do componente estado do modelo PEIR, foram elencados os geoindicadores dos atributos físico-naturais, como a caracterização da morfologia do relevo (altitude, declividade, formas das vertentes e ICR), acrescentados os processos erosivos e as mudanças no padrão de drenagem e perfil do canal. Esses geoindicadores subsidiaram a compreensão da atual condição ambiental dos componentes físico-naturais dos sistemas e subsistemas que compõem o ambiente hidrográfico. Portanto, a categoria de indicador consiste-se relevante para que durante o planejamento ambiental as relações sociedade e natureza sejam consideradas de forma que se busque reduzir os efeitos adversos da ação antrópica no meio ambiente.

Sumariamente, os geoindicadores de estado mostraram, além da intervenção antropogênica, a susceptibilidade natural da bacia às alterações ambientais decorrentes de processos erosivos e carreamento de materiais sedimentares nos leitos fluviais. Essa afirmação corrobora-se com o mapeamento realizado das erosões adjunta a caracterização físico-natural, pois se verificou a ocorrência concentrada de erosões em áreas de solos friáveis (Formação GoioErê do Grupo Caiuá) e de relevo ondulado a forte – ondulado, nas adjacências dos ribeirões Paracatu e Caxangá e de seus tributários. Esses fatores naturais, somados ao uso e à ocupação da terra, caracterizam as alterações ambientais ocorridas como de gênese mista.

Como já exposto nesta pesquisa, os indicadores do componente do “impacto ambiental” apontaram o índice de impacto ambiental das nascentes, o IIAN, que analisou a qualidade da água de forma qualitativa, mas que se recomenda em análises futuras que os índices de qualidade da água sejam avaliados de forma quantitativa conforme preconizado por normativas. Outro tipo de impacto ambiental analisado foi o relacionado à variável vegetação nas áreas de APPs, que também necessitam ter estudos fitogeográficos detalhados.

O componente “resposta” do modelo PEIR baseia-se em informações obtidas através da análise integrada entre os componentes “pressão, estado e impacto” Essas informações fornecem aporte para os agentes sociais, econômicos, ambientais e para a população no que concerne a formulação de ações mitigadoras quanto a degradação ambiental, ou seja, são importantes para minimizar ou evitar futuras alterações ambientais que possam impactar de forma negativa na qualidade de vida das pessoas.

Diante das alterações ambientais levantados na pesquisa – erosões, assoreamento, desmatamento da cobertura vegetal, alterações na morfologia dos canais e no padrão de

drenagem – os geoindicadores/indicadores de resposta apontaram a urgência da adoção das seguintes medidas mitigadoras: recuperação/preservação da vegetação ciliar, tratamento das feições erosivas, criação de programas de controle a erosão, implementação anual do sistema de dragagem nas caixas de contenção localizadas na cabeceira de drenagem do ribeirão Paracatu, criação de uma APA na área do manancial, aprovação do Plano de Bacia Hidrográfica, o qual pode incluir mecanismos para a cobrança pelo uso das águas e, finalmente, a criação de programas de conscientização para os agricultores no que tange a preservação das áreas de reserva legal e para a população geral programas de Educação Ambiental. Tais medidas podem evitar futuros problemas de degradação ambiental na bacia, bem como propiciar para que as relações sociais e econômicas neste ambiente sejam sustentáveis.

Em suma, conclui-se que os geoindicadores constituem uma ferramenta valiosa que fornece uma estrutura conceitual para análise, avaliação e/ou diagnóstico das alterações ambientais de tempos curtos, de até 100 anos. Essa metodologia, em conjunto com o modelo PEIR, destaca-se pela possibilidade da integração do sistema físico-natural com as dinâmicas sociais e econômicas, fator que tem contribuído para a sua utilização em pesquisas de cunho ambiental em vários países, incluindo o Brasil.

REFERÊNCIAS

ADÃO, N. M. L.; POLETE, M. Sistema de Indicadores de Qualidade Ambiental Urbana para Metrôpoles Costeiras (SIMeC): uma proposta de instrumento de análise territorial. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, São Paulo, v.18, n.2, p. 325 – 340.

ALMEIDA, E. P. C; ZARONI, M. J. **Solos tropicais: Neossolos Quartzarênicos**. Embrapa Solos: 2021. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos/neossolo-quartzarenicos>>. Acessado em: 01 nov. 2022.

ALMEIDA, M. A. de; STEIN, D. P.; MELO, M. S. de; BISTRICHI, C. A.; PONÇANO, W. L.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M. de. Geologia do Oeste Paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: CONG. BRAS. GEOL., 31. Camboriú, 1980. **Anais...** Camboriú, SBG. v.5, p. 2799-2812.

ALMEIDA, M. A.; FERNANDES, L. A.; DANTAS, A. S. L.; SAKATE, M. T.; GIMENEZ, A. F.; TEIXEIRA, A. L.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Bauru na região do Pontal do Paranapanema no estado de São Paulo. In: Simpósio Regional de Geologia, 2, Curitiba, 1981. **Atas**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, v.2, p.77-89, 1981.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Disponível em:< <https://www.gov.br/ana/pt-br>>. Acessado em 05 mar. 2022.

ARAÚJO, J. A. **O Programa Mata Ciliar no Estado do Paraná**. Pato Branco: 2014. Disponível em:< http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/23083/3/PB_GP_IV_2014_06.pdf>. Acessado em: 06 dez. 2022. p. 17.

ARRUDA, H. M. R. F. **Cartografia de Síntese para análise integrada da paisagem do município de São Gabriel/RS: uma proposta de zoneamento ambiental**. 2011. 149f. Dissertação de Mestrado em Geociências (Universidade Federal de Santa Maria), Santa Maria: 2011.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BECKAUSER, M. C. **Os solos e a dinâmica erosiva de uma voçoroca no distrito de Sumaré em Paranavaí – PR**. ANO? 104f. Dissertação de Mestrado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá), Maringá, ANO?

BELIZÁRIO, W. da S. Avaliação Da Qualidade Ambiental De Nascentes Em Áreas Urbanas: Um Estudo Sobre Bacias Hidrográficas do Município de Aparecida de Goiânia/Go. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 8, n. 1, 2015.

BERGER, A. R.; IAMS, W. J. **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1996.

BERGER A. R. Assessing Rapid Environmental Change Using Geoindicators. **Environment**

Geology, Springer, Berlin, v. 1, n. 32, p. 35-44, 1997.

BERGER, A. R. Environmental Change, Geoindicators, and the Autonomy of Nature. **IUGS Geoindicators Working Group**, 528 Paradise Street, Victoria, British Columbia V9A 5E2, Canada, 1998, p. 1-6.

BERGER, A. R. Environmental Change, Geoindicators, and the Autonomy of Nature. **IUGS Geoindicators Working Group**, 528 Paradise Street, Victoria, British Columbia V9A 5E2, Canada, 1998, p. 4.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R. D. **Ambiente Fluvial: Ambientes de Sedimentação, sua interpretação e importância**. 1ª. ed. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná. Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979.

BIZ, C. F. M. **Análise Ambiental do Município de Floresta-PR: aplicação de Geoindicadores**. 2009. 120f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

BUCHMAN, M. F. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008. 34 p.

BONIFÁCIO, C. M. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na unidade hidrográfica do Pirapó, Paranapanema III e IV, Paraná**. 2019. 205f. Tese de Doutorado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá), Maringá, 2019.

BORGES, J. A. **Os enfoques e os olhares do geógrafo: uma abordagem metodológica sobre método, metodologia e técnicas de pesquisa**. Goiás: 2016.

BRASIL. Política Nacional dos Recursos Hídricos-Lei nº9.433/97 de 8 de janeiro de 1997. **Presidência da Casa Civil**. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 30 abr. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em:<https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfeda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acessado em: 25 nov. 2022.

BRASIL. **RESOLUÇÃO Nº 49 CERH/PR, de 20 de dezembro de 2006**. Disponível em:<https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/migrados/File/r492006.pdf>. Acessado em: 15 fev. 2022.

BRASIL. Lei Federal do Saneamento Básico – Nº11.445/2007. **Presidência da República, Casa Civil**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acessado em: 01 fev. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001->

230186.PDF>. Acessado em: 13 jan. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 306, de 05 de julho de 2002**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98306>>. Acessado em: 22 jan. 2022.

BRASIL. Lei N° 12.651/2012 Código Florestal. **Presidência da República, Casa Civil**. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 20 maio. 2022.

BRASIL. Lei 4771/1965. **Código Florestal Brasileiro [online]**. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil03/leis/L4771.htm>>. Acessado em: 02 fev. 2022.

CALEGARI, M. R. Estudo Morfopedológico e Dinâmica Erosiva no Município de Nova Esperança-PR. **V Simpósio Nacional de Geomorfologia**. UFSM – RS, 2004. p. 1-12.

CALHEIROS, R. de O et al. Preservação e Recuperação das Nascentes. In: TABAI, F. C. V.; CALAMARI, M.; BOSQUILIA, S. V.; CALHEIROS, R. de O. **Piracicaba: Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ – CTRN**, 2004.

CAMPOS, H. L. **Gestão de bacia hidrográfica: pressupostos básicos**. In: SÁ, A. J. 2006.

CANIL, K. **Indicadores para monitoramento de processos morfodinâmicos: aplicação na bacia do ribeirão Pirajuçara (SP)**. 2006. 151f. Tese de Doutorado (Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CAPES. **Periódicos**. Disponível em: <<https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php?>>>. Acessado em: 21 jan. 2022.

CAPOBIANCO, J. P. **O que podemos esperar da Rio – 92?**. São Paulo em Perspectiva, 1992. Disponível em: <http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v06n01-02/v06n01-02_03.pdf>. Acessado em: 29 abr. 2022.

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 42, p. 140-161. 2020.

CARVALHO, A. T. F. **Metodologia para avaliação de sustentabilidade hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRios)**. 2018. 155f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

CARVALHO, R. G. de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, n.36, Volume Especial, p. 26-43, 2014.

CASAGRANDE. A. **Erosão urbana no noroeste do Paraná: riscos socioambientais ao desenvolvimento urbano - um estudo de caso do município de Nova Esperança-PR**. 2012. 151f. Dissertação de mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento (Universidade Federal do Paraná). Curitiba, 2012.

CELERE, M. S., OLIVEIRA, A. S., TREVILATO, T. M.; SEGURA-MUNOZ, S. I. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cad. Saúde Pública**, p. 939-947, 2007.

CHARLTON, R. O. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. Nova York, 2008. ed Routledge. 275p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979. 108 f.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Universidade de São Paulo: Edgard Blucher. 2ª edição, 1980. p.1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Blucher, 1981.

CICCO, F; PUGLIESE, M; QUARTO, M; ROCA, V; SABBARESE, B; SAVINO, F; AQUINO, I; CESARE, W. **Multi-parametric approach to the analysis of soil radon gas for its validation as geoinicator in two sites of the Phlegrean Fields caldera (Italy)**. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-017-6638-1>>. Acessado em: 23 abr. 2023.

COIMBRA, A. M.; BRANDT NETO, M.; PETRI, S. O Alinhamento Estrutural do Tietê. In: **Simpósio de Geologia Regional, 1**. São Paulo, 1997. Atas. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo SP. p. 145-152.

COLTRINARI, L. Mudanças ambientais globais e geoindicadores. **Instituto de Geociências**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: 2002. Pesquisas em Geociências, n. 28, p. 308.

COLTRINARI, L; McCall, J. H. Geoindicadores: Ciência da Terra e Mudanças Ambientais. Universidade Estadual de São Paulo - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 09, 1995.

CORAZZA, R. I; SOUZA, M. C. O. **Do Protocolo de Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases do efeito estufa**. Paraná: 2017. UFPR, v.42, p. 29.

CORDANI, U. G; MARCOVITCH; J; SALATI, E. Avaliação das ações brasileiras após a Rio – 92. São Paulo. **Estudos Avançados**, 1997. p. 399.

COVRE, E. B. **Caracterização de nascentes, cursos d'água e APP's em microbacia urbana – Estudo de caso do Córrego Baú em Cuiabá-MT, Brasil**. 2010. 109f. (Dissertação). Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso. Mato Grosso, 2010.

DESTEFANI, E. D. **Desastres naturais na área urbana de Paranavaí (PR): Análise dos alagamentos e da vulnerabilidade socioambiental**. 2022. 206f. Tese de Doutorado em Geografia (UEM – Universidade Estadual de Maringá), Maringá, 2022.

DIAS, E. R; CORREIA; M. L.A. Desenvolvimento sustentável, crescimento econômico e o princípio da solidariedade intergeracional na perspectiva da justiça ambiental. **Planeta**

Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas. p. 64, Macapá, 2016.

DINOTTE, A. C. B. P; SILVA, C. F. A; ROSSONI, H. A. V. Contribuição dos geoindicadores como ferramenta na identificação de processos erosivos associados a antropogeomorfologia. **Ateliê Geográfico**, v 14, p. 155-173, Goiânia, 2020.

EDUVIRGEM, R. V.; SOUSA, P. FERREIRA, M. E. M. C. Investigação da temperatura do ar de Paranavaí, Paraná: Tendência de aumento. **GeoUece**, p. 6-14, Fortaleza, 2018.

EMBRAPA. **Distribuição das classes de declividades.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Distribuicao-das-classes-de-declividade-segundo-EMBRAPA-2006-da-bacia-do_fig3_290707951>. Acessado em: 20 mar. 2022.

FASOLO, P. J.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P. **Erosão:** inventario de áreas críticas no Noroeste do Paraná. IAPAR, 1988.

FELIPE, M. F; MAGALHÃES-JUNIOR, A. P. Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte – MG. In: **VI Encontro Nacional Sobre Migrações, Belo Horizonte.** Anais... Belo Horizonte: ABEP. p. 01-19, DATA?

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): Revisão Estratigráfica e Contexto Depositional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, n. 3, p. 164- 176, 1994.

FUMIYA, M. H. **Gênese dos ferricretes e sua relação com a transformação da paisagem no noroeste do Paraná.** 2017. 164f. Tese de Doutorado em Geografia (Universidade Federal do Paraná). Curitiba, 2017.

FONSECA, F. P. **O projeto “Arenito Nova Fronteira” e o avanço das lavouras temporárias nas terras de pasto.** 2006. 188f. Dissertação de mestrado em Geografia (Universidade Estadual do Paraná). Maringá, 2006.

FRANÇA JUNIOR, P. **Análise do uso e ocupação da bacia do córrego Pinhalzinho II utilizando geoindicadores, Umuarama-PR, 1970-2009.** 2010. Dissertação de mestrado em Análise Ambiental (Universidade Estadual de Maringá), Maringá, 2010.

FRANÇA JUNIOR, P; VILLA, M.E.C.D. O Ambiente Geográfico e os Geoindicadores. **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 337-348, 2011.

FRASER, S; STORIE, J.L. **Using Geoindicators to Prioritize Regional Wetland Locations for Flood Attenuation in Manitoba's Red River Basin.** Disponível em:<<https://ieeexplore.ieee.org/document/7497509/authors#authors>>. Acessado em: 23 abr. 2023.

FRUET, J. G. W. **Análise da estrutura e funcionamento de cabeceiras de drenagem: Subsídios para a conservação de nascentes.** 2021. 368f. Tese de Doutorado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá), Maringá, 2021.

FÜHR, J. O. M. **Aplicabilidade do código florestal em APPs fluviais urbanas: estudo na cidade de Marechal Cândido Rondon-PR.** 2015. 167f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.

FÚLVARO, V. J. Tectônica do Alinhamento Estrutural do Paranapanema. **Boletim IG-USP**, v. 5, p.129-138, 1974.

GASPARETTO, N. V. L; CARVALHO, A. **As formações superficiais do Paraná e sua relação com o Arenito Caiuá**. 1999. Tese de doutorado, São Paulo: 1999.

GEOINDICATORS- LISTA GERAL DOS GEOINDICADORES E DESCRIÇÕES. <<http://www.lgt.lt/geoin/topic.php?tid=checklist>>. Acessado em: 20 ago. 2022.

GIACOMINI, F. O; SOUZA, M. L. Análise Socioambiental da Nascente do Ribeirão Paracatu, Área Urbana de Nova Esperança/PR. **XIV Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia**, Campina Grande; 2021. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/78681>>. Acessado em: 10 mar. 2022.

GOMES, P. M.; MELO, C. de; VALE, V. S. do. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade e Natureza**, v. 17, n. 32, p. 103-120, Uberlândia, 2005.

GOOGLE EARTH PRO. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acessado em: 22 abr. 2022.

GRAÇA, C. H. **Vulnerabilidade à contaminação das águas superficiais e subsuperficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapó – Paraná**. 2019. 140f. Tese de Doutorado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá), Maringá, 2019.

GREGORY, K. J. **A natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GUILHERME, F. P. S. **Análise da qualidade socioambiental de Cianorte**. 2021. 143f. Dissertação de Mestrado (Universidade Estadual de Maringá-UEM), Maringá, 2021.

GUIMARÃES, R; FONTOURA, Y. Desenvolvimento sustentável na Rio + 20: discursos, avanços, retrocessos e novas perspectivas. **EBAPE.BR**, v. 10, n. 3, artigo 3, p. 508-532, Rio de Janeiro, set. 2012.

G1 NOTÍCIAS, Paraná: 2016. Disponível em:< <https://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/2016/01/uniao-reconhece-situacao-de-emergencia-em-oito-cidades-do-pr.html>>. Acessado em: 18 abr. 2023.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina: 2019, 210 p.

IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 26 ago. 2022.

IBGE–CIDADES. **Atalaia-PR**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/atalaia/panorama>>. Acessado em: 15 set. 2022.

IBGE–CIDADES. **Nova Esperança-PR**. Disponível em:< <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/nova-esperanca/panorama>>. Acessado em: 14 nov. 2022.

IBGE-CIDADES. **Presidente Castelo Branco-PR.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/presidente-castelo-branco/panorama>>. Acessado em: 15 set. 2022.

IMAY, J. A. **Produção Familiar e a Sericicultura no Município de Nova Esperança (PR).** 2000. 124f. Dissertação de Mestrado em Geografia (Universidade Federal de Santa Catarina), Florianópolis, 2000.

INSTITUTO ÁGUA E TERRA. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/>>. Acessado em: 10 jun. 2022.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Elaboração dos planos das bacias:** Pirapó, Paranapanema 3 e 4. Paraná: 2015. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/1261_iap_01_gl_rt_0002_corrigido.pdf>. Acessado em: 10 mar. 2022.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS – ITCG. Disponível em: <<http://www.geo.pr.gov.br/ms4/itcg/geo.html>>. Acessado em: 05 abr. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br>>. Acessado em: 02 jul. 2022.

IPARDES. **Caderno Estatístico do Município de Atalaia.** Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87630&btOk=ok>>. Acessado em: 15 set. 2022.

IPARDES. **Caderno Estatístico de Nova Esperança – PR.** Paraná, 2022. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87600>>. Acessado em: 20 set. 2022.

IPARDES. **Caderno Estatístico do Município de Presidente Castelo Branco.** Paraná, 2022. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87180>>. Acessado em: 15 set. 2022.

IPARDES. **Mesorregião Norte Central do Paraná.** Paraná, 2004. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2020-03/RP_leituras_reg_meso_norte_central_2004.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2022.

IPARDES. **MESORREGIÃO NOROESTE DO PARANÁ.** Paraná, 2004. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2020-03/RP_leituras_reg_meso_noroeste_2004.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

JARDIM, W. F. A. **Evolução da Atmosfera Terrestre.** Edição Especial, 2021. Disponível em: <<http://qnesc.s bq.org.br/online/cadernos/01/evolucao.pdf>>. Acessado em: 01 fev. 2022.

JORNAL NOROESTE. Disponível em: <http://www.hnetsistemas.com.br/catalogo/layouts/pers_jornalnoroeste/index.php?Se>. Acessado em: 01 jan. 2022.

LEAL, M. A.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. 2017. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Rev. Ambient. Água**, v. 12, n. 1, Taubaté, 2017. doi:10.4136/1980-993X.

LEEF, H. **Racionalidade Ambiental: a reapropriação social da natureza**. Rio de Janeiro: 2006.

LIBAULT, A. **Geocartografia**. São Paulo: Ed. Nacional da Universidade de São Paulo, 1975.

LIMA, E. Q. de; AMARAL, R. F. do. **Use of ge indicators in vulnerability mapping for the coastal erosion of a sandy beach***. Rio Grande do Norte, 2015.

LISBINSKI, F. C.; TORRES, R.; SANTOS, P. S.; BEZERRA, E. C. Análise Espacial da degradação ambiental nas regiões geográficas imediatas brasileiras. **Rev. Econ. NE**, v. 52, n. 1, p. 185-203, Fortaleza, 2022.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: imprensa oficial, 2002. 440 p.

MACHADO, A. D.; SILVA, J. S. V; MACHADO, C. S. D. Alterações nos canais fluviais urbanos em Terra Nova do Norte/MT. **Revista Equador (UFPI)**, v. 10, n. 2, p. 66-88, 2021.

MALAQUIAS, G. B.; CÂNDIDO, B. B. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes do município de Betim, MG: análise macroscópica. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 3, n. 2, p. 51-65, 2013.

MAPA GEOLÓGICO DO PARANÁ. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22492>>. Acessado em: 10 abr. 2022.

MARQUES, R. O. **A importância do geoprocessamento nos estudos ambientais**. Ed. 19 I junho 2018. p. 61.

MARTINELLI, M. Cartografia Dinâmica. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n. 18, p. 53-66, São Paulo, 2005.

MARTINS, K. A.; PEREIRA, P. S.; LINO, A. P.; GONÇALVES, R. M. Determinação da erosão costeira no estado de Pernambuco através de geoindicadores. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.17.p. 533-546, São Paulo: 2016.

MATTOS, S. V.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 05, n. 01, p. 11-18, 2004.

MENDONÇA, F. (Org.). **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: Editora da UFPR, p. 185-208, 2004.

MENDONÇA, F. Geografia, Geografia Física e Meio Ambiente: Uma reflexão a partir da problemática socioambiental urbana. **ANPEGE**, v. 5, p. 1-12. 2009.

MENESES, A. F.; PEREIRA, P. S; GONÇALVES, R. M.; ARAUJO, T. C. M.; SOUSA, P. H. G. O. **Análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de piedade e Paiva, (PE) Brasil**. São Paulo, 2018. Disponível em:

<<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/11819/8549>>. Acessado em: 16 jan. 2022.

MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**, Curitiba, 2001.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO PARANÁ. Paraná, 2016. Disponível em: <<https://comunicacao.mppr.mp.br/modules/noticias/article.php?storyid=6141>>. Acessado em: 12 ago. 2022.

MONTANHER, O.C; MINAKI, C; MORAIS, E.S; SILVA, J.P. **Chuvas extremas durante o El Niño de 2015/2016 e seus efeitos geossistêmicos no Norte do Paraná**. Maringá: 2023, Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia Maringá, v. 15, n. 1, p. 4-29, 2023. Edição Especial GEMA35 anos ISSN 2175-862X.

MOREIRA, A. C. M. L. Conceito de ambiente e de impacto ambiental aplicáveis ao meio urbano. São Paulo, 1997. Disponível em: <http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/moreira6-conceito_impacto_urbano.pdf>. Acessado em: 12 jan. 2022.

MULLER, T. **Diagnóstico Socioambiental dos Fundos de Vale do Ribeirão Pinguim Até Sua Confluência Com o Córrego dos Moscados-Municípios de Maringá e Sarandi/PR**. Dissertação de Mestrado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá-UEM), Maringá, 2021. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1Y55CtpEcBy_EY8yAAkg17USM5cTg3GyX/view>. Acessado em: 16 jul. 2022.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. Disponível em: <<https://www.noaa.gov/>>. Acessado em: 28 fev. 2022.

NAKASHIMA, P. **Sistema Pedológico da região Noroeste do Paraná: distribuição e subsídios para o controle de erosão**. 2000. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia/FFLCH/ Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2000.

NEVES, L. L; LIMA, R. S. De; FERREIRA, M. D. **Dinâmica espacial e temporal de perda de solo como geoindicador para gestão de recursos hídricos: bacia do ribeirão Preto**. Maringá, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/28667/pdf>>. Acessado em: 16 jan. 2022.

NICOLODI, J. L.; SOUZA, P. M. **Coastal vulnerability assessment using geoindicators: case study of Rio Grande do Sul coastline**. Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/bjoce/article/view/146957/140489>>. Acessado em: 14 jan. 2022.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019, 210p. Disponível em: <<https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>>. Acessado em: 15 fev. 2022.

NOGUEIRA, V.; CARNEIRO, S. M. M. Educação geográfica e formação da consciência espacial-cidadã: contribuições dos princípios geográficos. **Nome da revista?**, v. 26/27, n. 1, p. 25-37, Maringá, 2009.

OECD. **Organization for Economic Cooperation and Development**. Core set of indicators for environmental performance reviews. Paris: OECD, 1993. Disponível em: <<http://www.oecd.org>>. Acessado em: 20 de out. de 2021.

OLIVEIRA, M. C. de P.; OLIVEIRA, B. T. A, de; DIAS, J. de S.; MOURA, M. N.; SILVA, B. M. da; SILVA, S. V. B. e; FELIPPE, M. F. Avaliação Macroscópica da Qualidade das Nascentes do campus da Universidade Federal De Juiz De Fora. **Revista de Geografia**, v. 3, n. 1., 2013.

ONU. Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Brasil: 2015. Disponível em:<<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>>. Acessado em: 21 jan. 2022.

PAIVA, D. **Diagnóstico ambiental das cabeceiras de drenagens da bacia do ribeirão Paracatu, Nova Esperança, PR. 2017**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Estadual do Paraná. Maringá, 2017.

PASSOS, P. N. C. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais e Democracia**. v. 06. Curitiba, 2009. Disponível em: <<https://revistaeletronicardfd.unibrasil.com.br/index.php/rdfd/article/view/18/17>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

PERIÇATO. A. J. **Unidades Geoambientais da bacia hidrográfica do rio das Antas, Paraná: Potencialidades e fragilidades**. 2018. 116f. Dissertação de mestrado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá). Maringá, 2018

Prefeitura municipal de Nova Esperança/PR. Disponível em: <<https://www.novaesperanca.pr.gov.br/index.php?meio=1528>>. Acessado em: 08 mar. 2022.

PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. **O uso de geoindicadores em paisagem rural: subsídios à análise das mudanças morfológicas antropogênicas da bacia do córrego do Cavalheiro – Analândia (SP)**. São Paulo, 2015.

REIS, C. M. M; FEITOSA, A. P. C; REIS, A. L. Q. O uso de geoindicadores como alternativa para estudo da erosão costeira no litoral da Paraíba. **OKARA: Geografia em debate**, v. 13., p. 194-215, João Pessoa, 2019.

RENNER, R. M.; BITTENCOURT, S. M.; OLIVEIRA, E. B. **Programa Mata Ciliar no Estado do Paraná: comportamento de espécies florestais plantadas**. Paraná, 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/878572/1/Doc.196ProgramaMataCiliar.pdf>>. Acessado em: 06 dez. 2022.

ROCHA, M. S.; PAIANO, D. B.; MELLO, R. C. O Aquecimento Global e o Protocolo de Kyoto. Manaus: 2007 ?. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/conpedi/manaus/arquivos/anais/bh/daniela_braga_paiano.pdf>. Acessado em: 02 mai. 2022.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBAH, G. G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 75-40, 2002.

RODRIGUES, A. M. **Produção e Consumo do e no Espaço**: Problemática Ambiental urbana. São Paulo, 1992.

RODRIGUES, C.; GOUVEIA, I. C. M. C.; LUZ, R. A.; VENEZIANI, S.; SIMAS, L. T. H.; SILVUMA, J. P. **Antropoceno e mudanças geomorfológicas**: sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo. **NOME DA REVISTA**, p. 105-123. São Paulo, 2019.

RODRIGUES, N. B.; VIEIRA, F. A.; MENDES, L. D. Elementos-traço em águas superficiais e tecnossolos como geoindicadores de mudanças ambientais antropogênicas em sistema fluvial da baixada fluminense. **NOME DA REVISTA**, p. 1-16, São Paulo, 2021.

RODRIGUES, J. M.; SOUZA, J. O. P.; XAVIER, R. A. Propensão à modificação de rios a partir da sensibilidade de estilos fluviais em uma bacia hidrográfica no semiárido da Paraíba (Brasil). Uberlândia: 2021. **Caminhos da Geografia**, v. 22, n. 82, p. 292-313.

ROSS, J. L. S.; PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: Âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia/USP**. n. 12, p. 89-121, 1998.

ROMÃO, A. C. B. C. **O uso de Geoindicadores na Análise Ambiental da Bacia do Ribeirão São Tomé- Cianorte e São Tomé, PR**. 2010. 116f. Dissertação de Mestrado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá), Maringá, 2010.

RUFINO, R. C. **Avaliação da qualidade ambiental do município de Tubarão (SC) através do uso de indicadores ambientais**. 2002. 113f. Dissertação de Mestrado (Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SÁ, I. S. de. **Contribuições à estratigrafia da bacia Bauru**: estruturas sedimentares e aspectos faciológicos de uma seção geológica da Formação Goio Êre (Grupo Caiuá). 2021. 113f. Dissertação de mestrado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá). Maringá, 2021.

SALLES, M. H. D.; CONCEIÇÃO, F. T.; ANGELUCCI, V. A.; SIA, R.; PEDRAZZI, F. J. M., CARRA, T. A.; MONTEIRO, G. F.; SARDINHA, D. S.; NAVARRO, G. R. B. Avaliação Simplificada de Impactos Ambientais na Bacia do Alto Sorocaba (SP). **REA – Revista de estudos ambientais**, v. 10, n. 1, p. 6-20, 2008.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUNSTIN, C. H. R. R. Índice de Concentração da Rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 15, n. 1, p. 1-14, 2014.

SAMPAIO, T. V. M. Diretrizes e procedimentos metodológicos para a Cartografia de Síntese com atributos quantitativos via álgebra de mapas e análise multicritério. **NOME DA REVISTA?**, v. 30, n. 1, p. 121-131, Maringá, 2012.

SANTOS, A. R. As nascentes no Código Florestal. **Revista Ambiente Legal**, p. 1-6, 2020.

SANTOS, L. J. C.; FIORI, C. O.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. **Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná**. Paraná, 2006. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/propostas/Tres_Morrinhos_Terra_Rica_PR_2006_Santos_et_al_RB_G.pdf>. Acessado em: 05 mar. 2022.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

SEQUINEL, M. C. M. Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável – Joanesburgo: entre o sonho e o possível. **Análise Conjuntural**, v. 24, n. 11, p. 11-12, Santa Catarina, 2012.

SCUISSATO, J. A importância do estudo do meio e a relação com a paisagem no município de Atalaia – PR. XI EPPC, **Encontro Nacional de Produção Científica**, 2019.

SILVA, F. C. **Introdução ao Geoprocessamento**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://esesp.es.gov.br/Media/esesp/Apostilas/Geoprocessamento.pdf>>. Acessado em: 14 fev. 2023.

SILVA, J. P.; RODRIGUES, C. **Avaliação histórica das taxas de colmatagem e sua relação com a evolução da urbanização em bacias hidrográficas pareadas em Guarapiranga-SP**. USP: São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/119458/140879>>. Acessado em: 24 jan. 2022.

SILVA, D. V. **Distribuição da Vegetação (Período de 1973 a 2011) das Bacias Hidrográficas dos Rios São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso (Oeste do Paraná) e Considerações Sobre o Código Florestal**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2016.

SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; CAVALCANTI, C. **Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento – Mapa Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento de Recife – UEP/recife**. Recife: 2005. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1113.pdf>. Acessado em: 01 nov. 2022.

SILVEIRA, G. L.; VAZ, C. A. B. O modelo PEIR e base SIG no diagnóstico da qualidade ambiental em sub-bacia hidrográfica urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 281-298, abr./jun. 2014.

SIMÕES, T. S. **Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Esperança – PR: estudo comparativo de duas metodologias**. 2017. 55f. Dissertação de Mestrado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá). Maringá, 2017.

SINGH, P.; KUMAR, J.; DHARMENDRA, Y.; JIGUYRU, K.; SINGH, S.; KUMAR, N.; SINGH, I. B.; SINGH, M. **Biotite as a geoinicator of rare earth element contamination in Gomati River Basin, Ganga Alluvial Plain, Northern India**. Environ Monit Assess, 2021.

SOARES, S. E. H.; OLIVEIRA, M. M. A.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Tecnologia Social de Recuperação de Nascentes no estado de Alagoas. **DIVERSITAS JOURNAL**. v. 6, n. 1,

p.1828-1836, Santana do Ipanema/AL, jan./mar.2021.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de Geossistemas**. São Paulo: Editora Lunar, 1977.

SOUTO, R. D. **O Papel da Geografia em Face da Crise Ambiental**. São Paulo: Estudos Avançados, 2016.

SOUZA, S. R. **A proteção das nascentes em áreas urbanas consolidadas: dispensável ou necessária missão?** 2018. Dissertação de mestrado pela Universidade Federal de São Carlos – Campus de Sorocaba, 2018.

SOUZA, A. W. L. **Evolução do uso da terra na bacia do rio Claro, Paraná: 1985-2015**. 2017. 111f. Dissertação de Mestrado em Geografia (Universidade Estadual de Maringá), Maringá, 2017.

SUERTEGARAY, D. M. A. Tempo longos... Tempos curtos... Na análise da natureza. **Vitória**, n. 3, p. 159-163, 2002. Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/1125>>. Acessado em: 03 abr. 2022.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais, conhecer para prevenir**. São Paulo, 2009.

TOPODATA. **Banco de dados geomorfológicos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acessado em: 20 ago. 2022.

TREVISAN, M. P.; JUNIOR, P. R. N. Proposta de expansão para a cidade de Nova Esperança. **Mix Sustentável**, v. 4, n. 3, p.101-106, Florianópolis, 2018.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M. Controle de Enchentes. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH-Edusp, 1993.

USGS – United States Geological Survey. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acessado em: 21 ago. 2022.

VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VAZ, C. A. B. **Diagnóstico da qualidade ambiental em bacia hidrográfica urbana: Estudo de caso a sub-bacia do Arroio Cadena, Santa Maria/Rio Grande do Sul**. 2009. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978.

ZACHARIAS, A. A.; VENTORINI; S. E. A Cartografia de Síntese, O Ambiente e a Paisagem: caminhos, desafios, perspectivas e proposta metodológica. Dossiê Temático/Edição Especial, v. 3, n. 1, p. 107-144, Terezina, 2021.

ZAZ, S.N; ROMSHOO, S.A. **Assessing the geoindicators of land degradation in the Kashmir Himalayan region, India.** Springer Science+Business Media B.V. 2012, p. 2.

ZECA, B. G. O Brasil na Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente Humano: Amazônia, ocupação territorial e o meio ambiente no cenário internacional. **Revista Conjuntura Altral**, v.13, n. 62, Porto Alegre, 2022,

ZEIDAN, D. N. M; FERREIRA, M. E. M. C. Estudo biogeográfico e trilha interpretativa em área verde urbana-Maringá-Paraná. **Geofronter**, n. 6, p. 01-23, Campo Grande, 2020