

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA MICROBACIA DO CEVEIRO
(PIRACICABA, SP)**

Leonardo Alfredo Handy Bevilacqua

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher

Rio Claro (SP)

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

LEONARDO ALFREDO HANDY BEVILACQUA

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA MICROBACIA DO
CEVEIRO (PIRACICABA, SP)

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP
2023

B571a Bevilacqua, Leonardo Alfredo Handy
Análise da fragilidade ambiental da microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) /
Leonardo Alfredo Handy Bevilacqua. -- Rio Claro, 2023
57 p. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências
Exatas, Rio Claro

Orientadora: Andréia Medinilha Pancher

1. Fragilidade Ambiental. 2. Sistema de Informação Geográfica. 3. Análise
Multicritério. 4. Geoprocessamento. 5. Planejamento territorial. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e
Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

LEONARDO ALFREDO HANDY BEVILACQUA

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA
MICROBACIA DO CEVEIRO (PIRACICABA, SP)

Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher

Prof. Dr. Roberto Braga

Doutorando Thiago Silva Forte

Rio Claro, 31 de janeiro de 2023.



Assinatura do(a) aluno(a)



assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a todos professores, familiares e amigos que me ajudaram a chegar até aqui. À minha mãe, meus irmãos, meu primo, minha tia, meu pai, que me deram as condições para ingressar em um curso superior e finalizá-lo.

À minha orientadora, Andréia, por toda didática e paciência.

Aos meus incontáveis amigos, desde os do colégio e do grupo Ignite, até aos muitos que pude conhecer no espaço da universidade, especialmente àqueles da república Refúgio, com os quais morei junto e dividi muitas experiências, agradeço por todos os momentos de risadas, descontração e pela confiança depositada em mim.

Agradeço também à minha namorada, por seu fundamental apoio, pelo incentivo, por acreditar em mim, e pela pressão final que eu necessitava para completar este trabalho.

Agradeço de coração ao Daniel, meu terapeuta, pelo enorme suporte nas etapas finais da elaboração deste trabalho.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi analisar a fragilidade ambiental à erosão da microbacia hidrográfica do córrego do Ceveiro, localizada no município de Piracicaba, SP. Atualmente, essa área tem sido pressionada pela expansão urbana na porção Sudoeste. Para tanto, foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS, permitindo-se criar mapas temáticos representativos dos aspectos abióticos naturais (Pedologia, Geologia, Hipsometria, Declividade) e de uso e cobertura da terra. Em seguida, através da integração dos referidos mapas temáticos, foi possível gerar o mapa de fragilidade ambiental da microbacia hidrográfica, por meio do método de Análise Multicritérios. Esta análise foi realizada no ambiente do SIG/ARCGIS, atribuindo-se influências para cada variável temática (em %) e pesos variando de 1 a 5 (de modo hierárquico) para as características de cada um dos cinco temas, sendo o peso 5 um indicativo de fragilidade “muito forte” e o peso 1 indicando fragilidade “muito fraca”. Os resultados permitiram a identificação de pontos de maior fragilidade na área estudada, de forma a possibilitar o estabelecimento de critérios para planejamento e melhoria da qualidade ambiental da microbacia hidrográfica.

Palavras-chave: Fragilidade ambiental; Sistema de Informação Geográfica; Análise Multicritério; Geoprocessamento; microbacia hidrográfica do Ceveiro.

ABSTRACT

This research aimed to analyze the environmental fragility to erosion of the Ceveiro's micro-basin, located in the municipality of Piracicaba, SP, which is currently suffering from urban expansion in its southern portion. For this purpose, the Geographic Information System (GIS) ArcGIS was used, allowing the creation of thematic maps representative of natural abiotic aspects (Pedology, Geology, Hypsometry, Slope) and land use and land cover. Then, through the integration of the mentioned thematic maps, it was possible to generate the map of environmental fragility of the hydrographic microbasin, through the Multicriteria Analysis method. This analysis was performed using the ArcGIS weighted overlay function, attributing influences to each thematic variable (in %) and weights ranging from 1 to 5 (hierarchically) to the characteristics of each of the five themes, in which the weight 5 indicates a "very strong" fragility and weight 1 indicates a "very weak" fragility. The results allowed the identification of points of greater fragility in the studied area, in order to enable the establishment of criteria for planning and improving the environmental quality of the hydrographic microbasin.

Keywords: Environmental fragility; Geographic Information System; Multicriteria Analysis; Geoprocessing; Ceveiro's microbasin.

Lista de figuras

Figura 1 - Localização da MHC	18
Figura 2 - Mapa hipsométrico da MHC.....	20
Figura 3 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro / Limeira / Piracicaba (SP).	21
Figura 4 - Mapa de solos da MHC.....	25
Figura 5 - Dados meteorológicos de precipitações e temperaturas médias (1991 a 2021).	26
Figura 6 - Localização da UGRHI 5.....	28
Figura 7 - Localização da MHC em na UGRHI 5.....	29
Figura 8 - Mapa de declividade	41
Figura 9 - Mapa geológico.....	42
Figura 10 - Mapa pedológico.....	44
Figura 11 - Mapa de uso e ocupação.....	45
Figura 12 - Localização do Distrito de Ártemis e arredores da MHC.....	46
Figura 13 - Fragilidade à erosão na MHC	47

Lista de tabelas

Tabela 1 - Descrições dos subgrupos pedológicos encontrados na MHC.....	24
Tabela 2 - Classificação de declividade	34
Tabela 3 - Influência do mapa de declividade e pesos de cada classe	36
Tabela 4 - Influência do mapa geológico e pesos de cada formação.....	36
Tabela 5 - Influência do mapa pedológico e pesos de cada subordem.....	37
Tabela 6 - Influência do mapa de uso e ocupação do solo e pesos de cada cobertura .	37
Tabela 7 - Graus de proteção por cobertura vegetal	38
Tabela 8 - Distribuição territorial das Formações geológicas	42
Tabela 9 - Distribuição territorial das subordens de pedologia.....	43
Tabela 10 - Distribuição territorial das classes de uso e ocupação	45
Tabela 11 - Extensão das Classes de fragilidades na MHC.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Planejamento territorial, uso e ocupação da terra	13
3.2 Fragilidade ambiental	14
3.3 Geoprocessamento, SIG e análise da fragilidade ambiental.....	15
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
4.1 Hipsometria e Declividade.....	19
4.2 Geologia.....	20
4.3 Geomorfologia.....	22
4.4 Pedologia	23
4.5 Clima	26
4.6 Recursos hídricos.....	27
5. MATERIAL E MÉTODO	30
5.1 Material	30
5.2 Procedimentos metodológicos	31
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	40
6.1 Análise dos mapas temáticos.....	40
6.2 Mapa de Fragilidade Ambiental à Erosão	46
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	56

1. INTRODUÇÃO

A fragmentação florestal existente em muitas regiões do território brasileiro é um dos fatores que enfatiza a importância do planejamento territorial para uso e ocupação das terras (MAGALHAES et al, 2020). Neste contexto, a utilização de bacias hidrográficas como unidades geográficas de planejamento é largamente utilizada em estudos, já que possuem a água como sistema natural referencial (ROSS, 1998). Ademais, como aponta Almeida (2020), as bacias hidrográficas apresentam características como geologia, solo e relevo, permitindo identificação de danos causados por fatores de pressão ambiental e sua associação direta com a fragilidade ambiental destes ambientes.

A exploração dos recursos naturais pode causar impactos que variam conforme a capacidade de resistência a modificações que cada ambiente possui (DALLA-CORTE et al, 2015). Alterações realizadas nos elementos que constituem um determinado ambiente podem desestabilizá-lo de forma parcial ou total, e temporária ou permanente (SOUZA et al, 2020). A fragilidade ambiental, portanto, será dada pela susceptibilidade de um determinado meio de sofrer interações externas e assim romper seu estado de equilíbrio dinâmico, ou seja, comprometendo a funcionalidade de seu sistema a partir destas alterações (SPORL; ROSS, 2004).

Estudos de fragilidade ambiental associados a análises do uso e ocupação de territórios são fundamentais para identificar o nível de vulnerabilidade dos ambientes de forma mais precisa. A partir disso, é possível identificar as áreas que requerem maior proteção e assim elaborar um eficaz planejamento da expansão urbana ou de outras formas de uso e ocupação da terra, voltado para seu uso sustentável (SUTIL et al, 2020).

No caso do interior do estado de São Paulo, é comum encontrar como fatores de remoção da camada vegetal tanto o uso irregular da terra, quanto a exploração mineral e as atividades agrícolas. Na bacia do rio Piracicaba (SP) é possível notar um cenário de fragmentação florestal e perda de biodiversidade, principalmente próximo às zonas urbanas. Isto ocorre devido à um longo histórico de degradação e desmatamento da vegetação, com destaque para a mata ciliar. Essas ações afetam negativamente a sobrevivência da fauna e da flora locais, além de impactar a recarga de recursos hídricos,

podendo levar a diversas consequências relacionadas à perda de função do habitat (SUTIL et al, 2020).

O desenvolvimento industrial, a elevada taxa de ocupação urbana e a intensa atividade agrícola no município de Piracicaba causaram extrema degradação na bacia hidrográfica da região, impactando a quantidade e a qualidade da água disponíveis na região (FERRAZ et al., 2001).

Para que seja garantida uma devida proteção às áreas com prioridade de conservação, são necessários dados suficientes para as tomadas de decisões, que devem ser fundamentados principalmente nas potencialidades e fragilidades do meio, especialmente nas questões pertinentes aos recursos hídricos (LIMA e SILVA, 2018).

Assim, ferramentas de geoprocessamento podem contribuir muito na apuração de informações para identificação e análise de áreas de fragilidades ambientais. A partir disso, o planejamento territorial atrelado à conscientização da população local pode assegurar maior proteção ambiental das bacias hidrográficas.

Para estudos desta natureza, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem fornecer informações combinadas sobre clima, geologia, declividade e pedologia, permitindo-se realizar a análise integrada de suas relações (SUTIL et al, 2020). Ainda segundo Sutil et al (2020), o uso do SIG permite avaliar a evolução de processos ecológicos e antrópicos, de forma a identificar a expansão da degradação ambiental, sendo por isso amplamente utilizado para gestão ambiental.

2. OBJETIVOS

Este trabalho está respaldado nos seguintes objetivos:

2.1 Objetivo geral

O objetivo fundamental da presente pesquisa foi analisar a fragilidade ambiental à erosão da microbacia hidrográfica do Ceveiro, situada em Piracicaba/SP, de forma a prestar suporte no planejamento territorial.

2.2 Objetivos específicos

Com base no objetivo principal, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Entender o conceito de fragilidade ambiental associado ao uso do Sistemas de Informações Geográficas (SIG);
- Conhecer as características físico-naturais e antrópicas da área da microbacia hidrográfica do Ceveiro;
- Elaborar um mapa de fragilidade ambiental à erosão da MHC por meio da correlação entre as características físico-naturais e o uso e ocupação da terra;
- Analisar o mapa com base nos resultados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração deste trabalho, foram analisadas referências que abordam assuntos como planejamento territorial, cobertura de solos, elaboração de mapas e SIG. Os tópicos estudados estão descritos nos subitens a seguir.

3.1 Planejamento territorial, uso e ocupação da terra

De acordo com o Manual Técnico de Uso da Terra, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), o uso da terra pode ser compreendido como a forma de ocupação do espaço geográfico pelo ser humano, cujas práticas de uso da terra e gestão territorial impactam intensamente os ecossistemas e os recursos naturais por estarem diretamente relacionadas com o tipo de revestimento de solo, seja ele residencial, industrial, florestal ou agrícola.

A agropecuária é uma das atividades humanas de maior alteração de paisagem, já que exige uma vasta área para suas práticas, tornando-a sempre presente em debates sobre mudanças no uso da terra e seus consequentes impactos. Neste contexto, e ainda considerando a crescente demanda mundial por recursos provenientes da terra, como alimentos e combustíveis renováveis, o Brasil assume um papel de enorme destaque, dada toda sua extensão e seu enorme potencial para produção de *commodities* agrícolas (ICONE, 2010).

O processo de ocupação do espaço brasileiro ocorreu sem o devido planejamento adequado do meio, de forma a gerar impactos socioambientais nas mais variadas escalas. No âmbito urbano, devido ao crescimento significativo da população, houve a expansão dos grandes centros e a criação das regiões metropolitanas. Após a década de 1960, este processo de urbanização ocorreu sem a infraestrutura adequada e de forma acelerada, chegando na porcentagem de população urbana de 80%, próxima da saturação (TUCCI, 1995).

Para Ross (1994), a formulação do zoneamento ambiental requer um entendimento que vise a integração da dinâmica do ambiente natural, de suas características físicas e bióticas e do meio socioeconômico, incluindo o processo de ocupação que conduz o desenvolvimento e a apropriação do território estudado.

Segundo Nanty et al (2015), a conciliação entre preservação do meio ambiente, o desenvolvimento e a sustentabilidade é uma das questões atuais mais preocupantes. Neste sentido, a apropriada conservação dos recursos naturais é essencial para um desenvolvimento sustentável bem-sucedido, de forma que tanto a manutenção do meio ambiente quanto a produtividade agrícola podem coexistir, caso haja planejamento e gestão adequada destes recursos (PANHALKAR et al, 2014).

Quanto a área urbana, seu desenvolvimento amplia a área impermeabilizada, que diminui drasticamente a infiltração da água pluvial e aumenta o escoamento superficial. Esse fenômeno, atrelado à redução ou até ausência das áreas verdes, exige do canal de escoamento superficial de água uma capacidade muito maior das seções (TUCCI, 2005). Além disso, de acordo com Mehri et al (2018), o comprometimento da cobertura vegetal aumenta a susceptibilidade ao desencadeamento de processos de erosão no solo, considerado uma das principais causas de degradação de terras e uma das grandes ameaças ao desenvolvimento sustentável (KEESSTRA et al., 2016; MEHRI et al., 2018).

3.2 Fragilidade ambiental

De acordo com Souza et al (2020), quaisquer alterações nos elementos que constituem um determinado ambiente podem desestabilizá-lo de forma parcial ou completa, e temporária ou permanente. A exploração dos recursos naturais pode causar impactos que variam conforme a capacidade de resistência a modificações que cada ambiente possui, fazendo com que, portanto, a fragilidade ambiental de cada meio varie conforme suas características específicas. As vulnerabilidades de um ambiente podem torná-lo mais suscetível a fenômenos como perda de biodiversidade, desencadeamento de processos erosivos do solo, carreamento e deposição de sedimentos em corpos hídricos, entre outros (DALLA-CORTE et al, 2015).

Dessa forma, a fragilidade ambiental será dada pela susceptibilidade de um determinado meio que, ao sofrer interações externas, pode ter seu estado de equilíbrio dinâmico rompido (SPORL; ROSS, 2004). De forma a englobar características relacionadas diretamente à fragilidade ambiental, como geologia, solo e relevo, a escolha de estudos em escala de bacia hidrográfica é extremamente interessante. Isto se deve

ao fato de que a investigação em escala de bacia acarreta a descoberta de danos causados por fatores de pressão ambiental, permitindo tanto a compreensão dos fenômenos em dado meio, como a atuação pública possível para a busca de soluções locais, levando em consideração principalmente o uso e a ocupação dessas áreas (ALMEIDA et al, 2020).

Segundo Spörl e Ross (2004), o mapa de fragilidade ambiental integra variáveis naturais e antrópicas de modo a gerar um diagnóstico de múltiplas categorias de fragilidades existentes no ambiente estudado, permitindo a percepção de suas individualidades. Através de análises do uso e ocupação de territórios e suas interações em seus meios, pode-se constatar o nível de fragilidade destes ambientes de forma mais precisa, sendo possível identificar as áreas que requerem maior proteção e assim elaborar um eficaz planejamento da expansão urbana ou de outras formas de uso e ocupação da terra, voltado para seu uso sustentável (SUTIL et al, 2020).

3.3 Geoprocessamento, SIG e análise da fragilidade ambiental

De acordo com Camara et al (2001), na década de 1950, quando os dados geográficos passaram a ser tratados por um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais, denominadas Geoprocessamento, estaria surgindo uma nova ciência, chamada de Ciência da Geoinformação. Seu objetivo seria “o estudo e a implantação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico”, utilizando computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados (CAMARA et al, 2001).

Juntamente com os SIG, o sensoriamento remoto e a cartografia digital fazem parte do geoprocessamento, utilizado para obtenção de dados espaciais, de forma a gerar um novo olhar sobre o espaço, enriquecendo o ganho de conhecimento e informação (MOURA, 2014).

De acordo com Camara et al (2005), os SIG são as ferramentas computacionais do Geoprocessamento que, ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados, permitem a realização de análises complexas. Amplamente utilizada em SIG, a Análise de Multicritérios é uma ferramenta matemática capaz de comparar

diferentes cenários, baseando-se em critérios múltiplos, de forma a permitir uma tomada de decisão para uma escolha mais ponderada (ROY, 1996). Esta ferramenta é baseada na própria lógica básica da construção de um SIG, pois permite um avanço na sobreposição de mapas, de forma a combinar e transformar dados espaciais em uma resposta para tomadas de decisões que são, segundo Moura (2007, p. 2900):

[...] representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas.

O autor complementa que essa metodologia se dá por meio do cruzamento de variáveis mapeadas a partir dos planos de informação; exemplos são a geologia, os tipos de solo, o uso da terra, entre outros, a depender das características específicas do recorte da região. Para cada plano de informação serão atribuídas porcentagens de influências diferentes, assim como às classes da legenda de cada plano serão atribuídos pesos, gerando uma hierarquia.

A Análise Multicritério é aplicada em diversos estudos relacionados ao planejamento ambiental, podendo ser desde análises de riscos e sensibilidade ambiental até instalação de empreendimentos e uso da terra (MALCZEWSKIE, 2004; EASTMAN 2003; COLLINS, STEINER e RUSHMAN, 2001; JIANG e EASTMAN, 2000).

Segundo Fernandez (2018), a partir de dados de monitoramento ambiental fornecidos por estas geotecnologias, é possível propor projetos capazes de não somente reduzir os processos erosivos do solo, como também recuperar o meio ambiente, visando a proteção do solo contra sua degradação, a regulação do escoamento superficial e a redução da sedimentação de corpos hídricos, partindo de um conjunto de planos e ações capazes de conservar, proteger e estabilizar o meio.

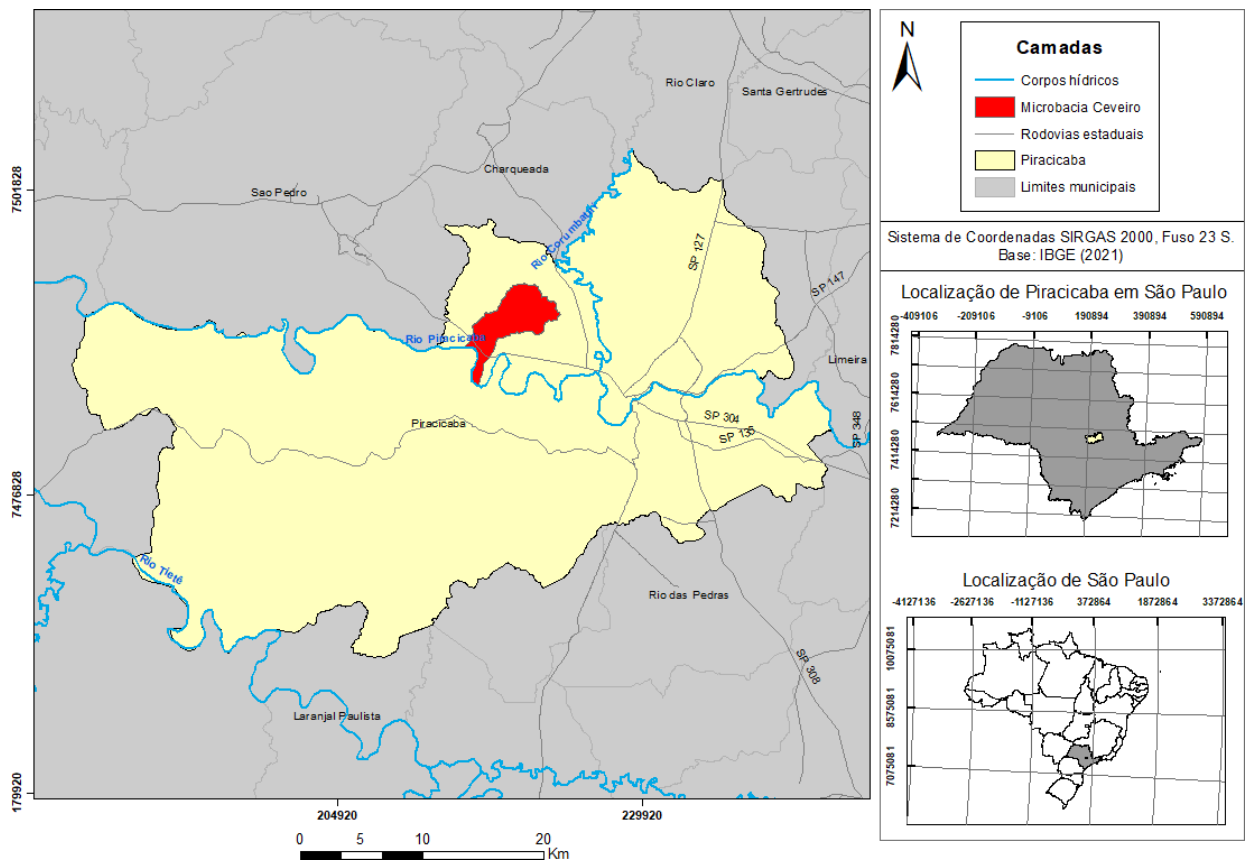
Com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade de ambientes costeiros na região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Taglani (2003) utilizou a análise de multicritérios em SIG. Os critérios adotados para a análise foram: declividade, vegetação, capacidade do uso do solo, idade dos terrenos e os recursos hídricos. Para a ponderação dos critérios foram empregados a combinação linear ponderada e o método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP). De acordo com o autor, a análise de multicritérios associada ao SIG,

além de ser amplamente flexível, permite a inclusão de dados complementares ou até a reavaliação dos critérios e informações temáticas, permitindo que se chegue a um consenso e uma tomada de decisão.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no município de Piracicaba, no estado de São Paulo. A microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC) situa-se na margem direita do rio Piracicaba, onde seu córrego deságua, sendo limitada a montante pelo bairro de Santana e a jusante pelo distrito de Ártemis (WEILL, 1999). Encontra-se entre as coordenadas de latitudes $22^{\circ}37'00''$ S e $22^{\circ}40'00''$ S, e entre as longitudes $47^{\circ}43'00''$ O e $47^{\circ}47'00''$ O (figura 1), abrangendo uma área total de aproximadamente 24 km² (FIORIO; DEMATTÊ; SPAROVEK, 2000).

Figura 1 - Localização da MHC



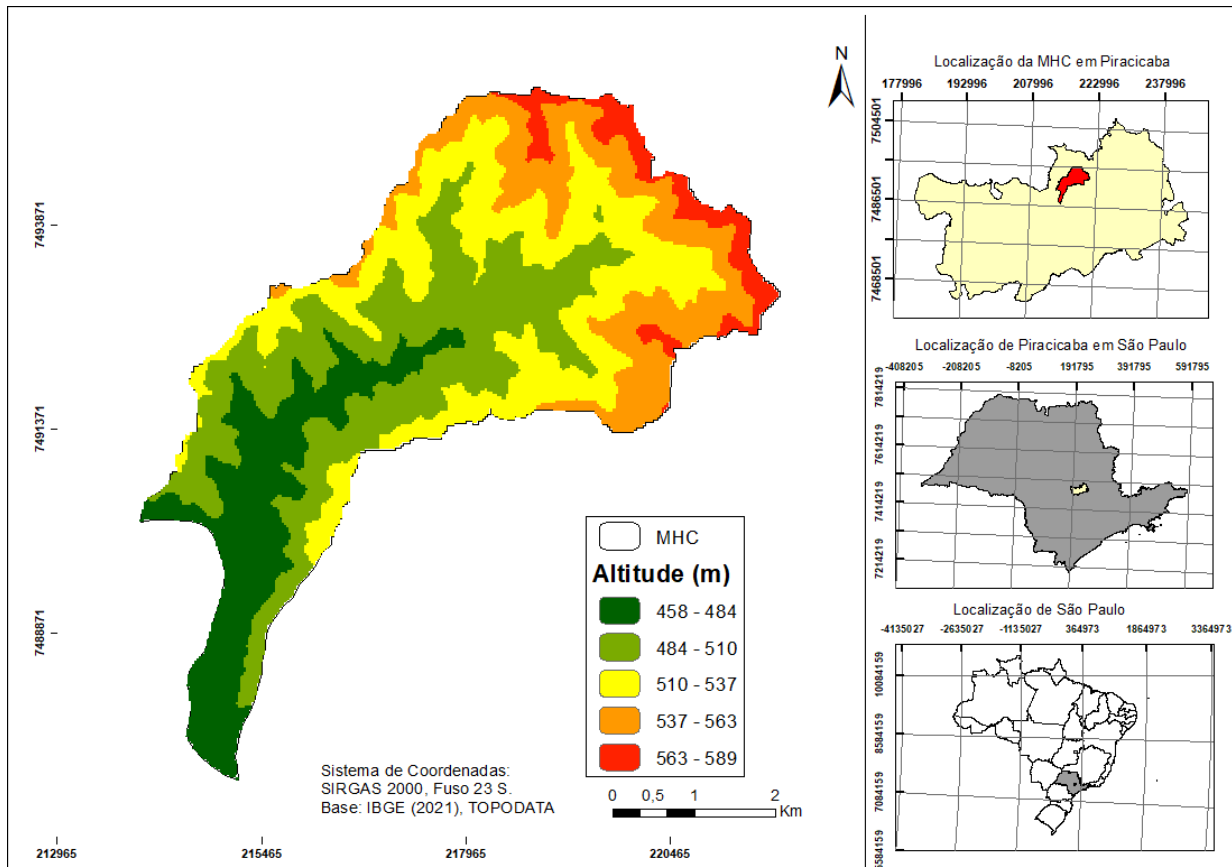
De acordo com Fiorio (2000), a Floresta mesófila Semidecídua constitui a vegetação original, que atualmente pode ser encontrada somente em partes íngremes do relevo, ou restritas às margens da rede de drenagem do córrego do Ceveiro.

4.1 Hipsometria e Declividade

A região estudada é constituída de relevos ondulados, possuindo morros cujas cotas variam entre 460 e 580 m de altitude. Quanto às classes de declividade da MHC, predominam a plana, a suave ondulada e a ondulada, ou seja, variando entre 0 e 12%, e ocupando em torno de 98% da área da Microbacia. Na maior parte dos morros, prevalecem declividades de 5%, com poucas exceções que apresentam valores de 2%, encontrados também em pequenas várzeas. Já as encostas concentram uma faixa de 10 a 15% de declividade (FIORIO; DEMATTÊ; SPAROVEK, 2000).

É relevante citar que, em seu estudo, no qual estima a taxa de perda de solo na MHC, Weill (2008) conclui que fatores relacionados à declividade foram consideravelmente menos influentes na estimativa de perda de sedimentos quando comparados ao uso da terra na região. Porém, ainda foi possível notar uma evidente correlação entre aumento de declividade e expectativas de perda de solo para a maior parte das áreas analisadas.

Figura 2 - Mapa hipsométrico da MHC



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

4.2 Geologia

Com relação à geologia, A MHC está localizada na Bacia Sedimentar do Paraná, cuja coluna estratigráfica é representada principalmente pelos grupos São Bento e Passa Dois (PERROTA, 2005 – PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL). A figura 2 apresenta uma descrição sucinta sobre a disposição das rochas.

Figura 3 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro / Limeira / Piracicaba (SP).

ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espes. Aprox. (metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	SÃO BENTO	RIO CLARO		30	arenitos pouco consolidados com lentes de argilas e níveis conglomeráticos na base (Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)	Continental: Planície aluvial e lacustre. Colúviões
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	arenitos conglomeráticos e arenitos silicificados / ferricretes	Continental: Leques aluviais, Fluvial e lacustre
MESOZÓICA	CRETÁCEO		SERRA GERAL		100	derrames de basaltos com lentes de arenito na base. Diques e soleiras de diabásio (Basalto e diabásio = matéria-prima para brita)	Magmatismo Fissural
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	arenitos bem selecionados com grãos bem arredondados e bem esféricos, pouca argila	Continental: Desértico
	TRIÁSSICO		PIRAMBOIA		150	arenitos com grãos arredondados e esféricos. Diversos níveis de lamitos	Continental: Fluvial e Desértico
PALEOZÓICA	PERMIANO	PASSA DOIS	CORUMBATAÍ		100	siltitos contendo lentes de arenitos finos argilitos, siltitos, arenitos finos, níveis de calcários dolomíticos e coquinas (Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)	Continental: Lacustre Transicional: Planície de Maré
			IRATI		40	folhelhos, siltitos, folhelhos pirobetuminosos, calcários dolomíticos (pedreiras de calcário na região de Assistência, Ipeúna e Piracicaba/Saltinho)	Transicional: Laguna Marinho Raso: Plataforma
		ITARARÉ	TATUI		50	siltitos e siltitos arenosos	Transicional: Planície Costeira Marinho Raso: Plataforma
			Grupo ITARARÉ (indiviso no Estado de São Paulo)		900	arenitos, siltitos, varvitos e diamictitos (alguns verdadeiros tilitos) (Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços profundos da região)	Continental (Glacial): Aluvial - Leques e Fluvial; Lacustre Transicional: Deltas Marinho (glácio-marinho): Plataformal
	CARBONÍFERO						
Pré-Cambriano			EMBASAMENTO			granitos, migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos	

Fonte: Perinotto & Zaine (2008), modificado de Soares & Landim (1975).

Dentre as várias unidades estratigráficas que afloram na bacia do Paraná, existem três grupos de maior destaque, que são o Grupo Passa Dois (Formações Corumbataí e Irati), os sedimentos paleozoicos do Grupo Tubarão (Formação Tatuí e Subgrupo do Itararé) e os mesozoicos do Grupo São Bento (Formação Piramboia e associadas à Formação Serra Geral).

Na MHC, são encontrados arenitos da Formação Piramboia (Grupo São Bento), além de argilitos, siltitos e folhelhos da Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois) (BARROS, 2012). De acordo com Fiorio (2000), cerca de 67% dos solos que estão localizados próximos às margens do córrego do Ceveiro são formados a partir de rochas da Formação Corumbataí, enquanto a Formação Piramboia é mais comumente encontrada nos topos de morro.

A Formação Corumbataí é constituída por litotipos de granulação fina, com predominância de siltitos marrom-avermelhados e roxos, intercalados com calcarenitos, arenitos finos amarelos e espessas camadas lamíticas. É possível ainda observar rochas carbonáticas (coquinhas) e silexitos nas camadas superiores (SCHNEIDER et al, 1974).

A Formação Piramboia é exclusivamente continental, de clima árido a semi-árido, estendendo-se para o Grupo São Bento. Esta formação possui camadas espessas de arenitos amarelados, avermelhados e esbranquiçados, cuja granulometria varia entre fina e média (ZAINÉ, 1994). As camadas de arenitos são parte constituinte do aquífero Guarani, e essa formação serve como fonte para areias quartzosas de uso industrial (PERROTA, 2006).

4.3 Geomorfologia

Savigear (1965) define as rupturas de declividade como uma alteração gradativa de inclinação da vertente, de forma côncava ou convexa. Silva (2000) explica que essas rupturas podem ser, portanto, positivas (convexas), ou seja, de máxima energia, ou negativas (côncavas), de baixa energia. Quando são convexas, tendem a apresentar grande potencial para atuar como fontes de sedimentos no processo erosivo, enquanto as rupturas côncavas costumam ser áreas planas e baixas, de forma a receber e armazenar os sedimentos formados nos processos erosivos.

De acordo com o IPT (1981), a MHC está inserida no interior da Depressão Periférica Paulista, localizada na Zona do Médio Tietê. No município de Piracicaba, em sua porção leste, há a presença de espigões e morrotes alongados, onde há interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Porém, ali há o predomínio de colinas amplas, caracterizadas por interflúvios, vertentes com perfis retilíneos e convexas e topos extensos aplainados, que também ocupam a porção oeste e central de Piracicaba (RIBEIRO; LUPINACCI; RIEDEL, 2018).

4.4 Pedologia

Este trabalho tomou como base os resultados do estudo de solos realizado em São Paulo (ROSSI, 2017), que gerou o Livro de Solos e o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, na escala de 1:100.000, elaborados pelo Instituto Florestal em um trabalho que buscou atualizar e detalhar estudos anteriores de solo no estado de São Paulo. A partir do mapa citado, foram encontradas associações pedológicas de 3 ordens principais: Gleissolo, Argissolo e Neossolo. Além disso, o mapa apontou uma região como Área Urbana.

A seguir, serão listados os subgrupos das ordens pedológicas, seguidos de suas siglas de identificação: Gleissolo Háplico Indiscriminado (GX2), Argissolo Vermelho Eutrófico típico (PV2), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, com horizonte A moderado (PVA14), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico espessoarênico abrupto, com horizonte A moderado (PVA19), associação de Argissolo Vermelho-Amarelo com Neossolo Litólico (PVA12), associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Abrupto com Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico, ambos com horizonte A moderado (PVA7), Neossolo Litólico (RL3) e associação de Neossolo Litólico Eutrófico com Nitossolo Vermelho típico de horizonte A moderado e Latossolo Vermelho Eutroférico típico, com horizonte A moderado (RL12).

Para a região apontada por Rossi (2017) como área urbana, foram utilizados dados de solo provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em parceria com a EMBRAPA, obtidos do Mapa de Solos (2001), de escala 1:5.000.000, a partir do qual foi possível reclassificar as áreas urbanas como Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo típico com Neossolo Litólico típico A, ambos distróficos com horizonte A moderado (PVA4).

A seguir, a tabela 1 contém características e descrições de cada subgrupo citado, obtidas do Livro de Solos.

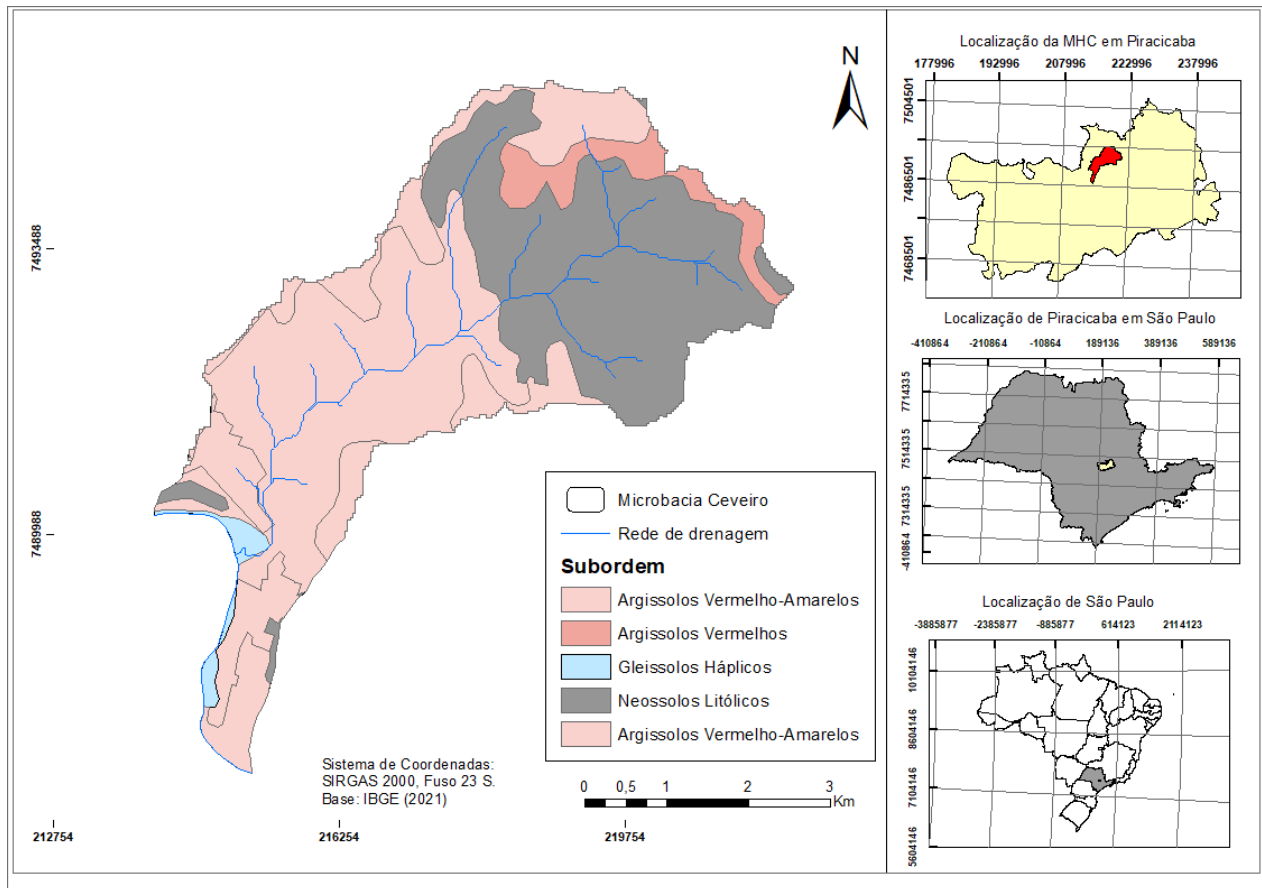
Tabela 1 - Descrições dos subgrupos pedológicos encontrados na MHC

Subgrupos	Trofismo	Profundidade	Textura	Relevo
GX2	Indiscriminado	Pouco profundo	Indiscriminada	Plano
PV2	Eutrófico	Profundo	Média/argilosa	Ondulado
PVA14	Distrófico	Profundo	Arenosa/média e média	Ondulado e suave ondulado
PVA19	Distrófico	Profundo	Arenosa/média	Ondulado
PVA12	Eutrófico e Distrófico	Profundo e raso	Arenosa/média	Ondulado
PVA7	Eutrófico e Distrófico	Profundo e muito profundo	Média/argilosa	Ondulado
RL3	Eutrófico e Distrófico	Raso	Média	Ondulado
RL12	Eutroférico	Raso e profundo	Argilosa	Forte ondulado, ondulado e escarpado
PVA 4	Distrófico	Profundo	Arenosa/média e média	Suave ondulado

Fonte: Rossi, 2017

A figura 4 demonstra o mapa de solos da área estudada.

Figura 4 - Mapa de solos da MHC.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

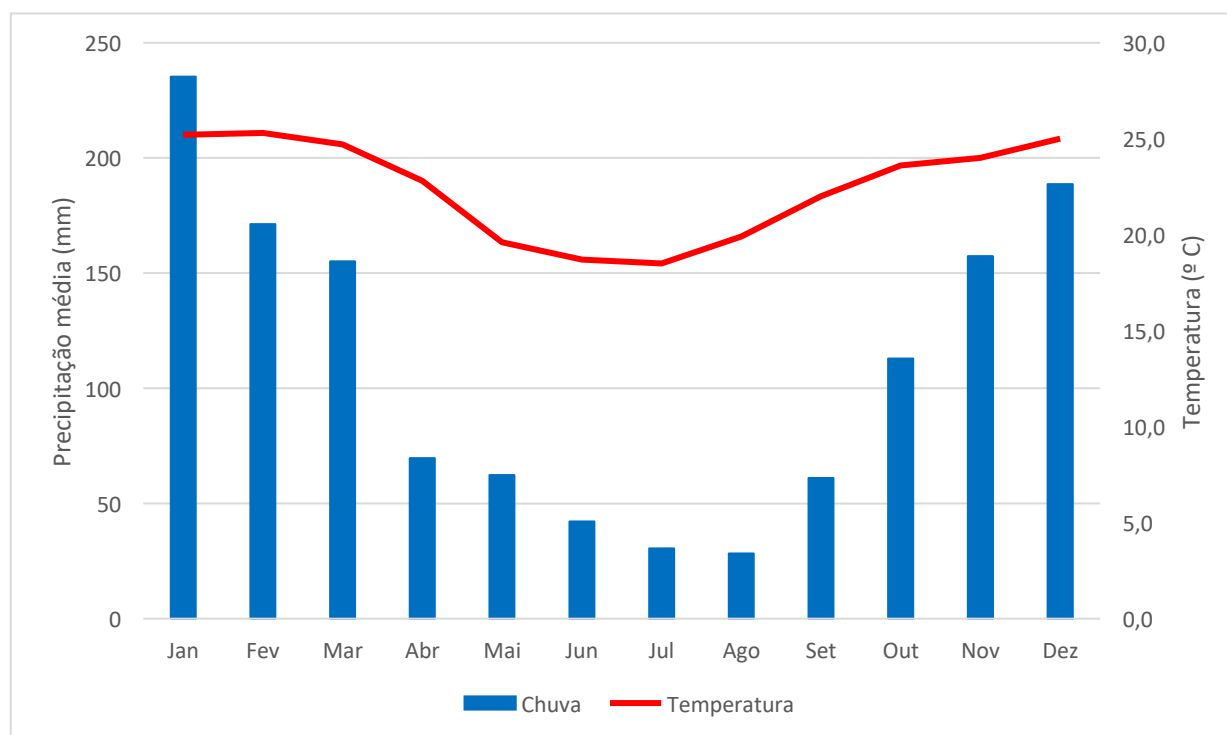
De acordo com Stefanoski et al (2013), a fragilidade do solo pode ser determinada por propriedades físicas relacionadas ao tamanho e tipo de suas partículas minerais, de forma que diferentes classes de solo podem possuir fragilidades maiores ou menores quanto à erodibilidade da água.

A erodibilidade será dada por sua vulnerabilidade à erosão, e são características intrínsecas de um solo como permeabilidade, velocidade de infiltração e capacidade de infiltração que determinarão sua erodibilidade pela água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Reis et al (2006) afirmam que as principais características do solo para estudos erosivos envolvem sua capacidade de reter as próprias partículas, resistindo ao destacamento e arraste causados pelo escoamento de água, e à infiltração da água no solo, ou seja, são fatores relacionados diretamente com a porosidade e o grau de agregação das partículas do sedimento.

4.5 Clima

Pela classificação Köppen, o clima é definido como mesotérmico subtropical, com verão chuvoso e inverno seco, e com temperaturas médias maiores que 22° C no mês mais quente, e inferiores a 18° C no mês mais frio. As chuvas ocorrem com maior frequência nos períodos quentes (novembro a fevereiro) e com menor frequência nos períodos frios (abril a setembro), apresentando uma precipitação média de 1.315 mm por ano. As informações de temperatura e precipitação foram obtidas através dos dados brutos disponíveis no *site* (<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/postocon.html>) do posto meteorológico “Professor Jesus Marden dos Santos”, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP). O gráfico 1 foi elaborado utilizando os dados compilados de 1991 a 2021, portanto, de um período de 30 anos.

Figura 5 - Dados meteorológicos de precipitações e temperaturas médias (1991 a 2021).



Fonte: Elaborado pelo autor

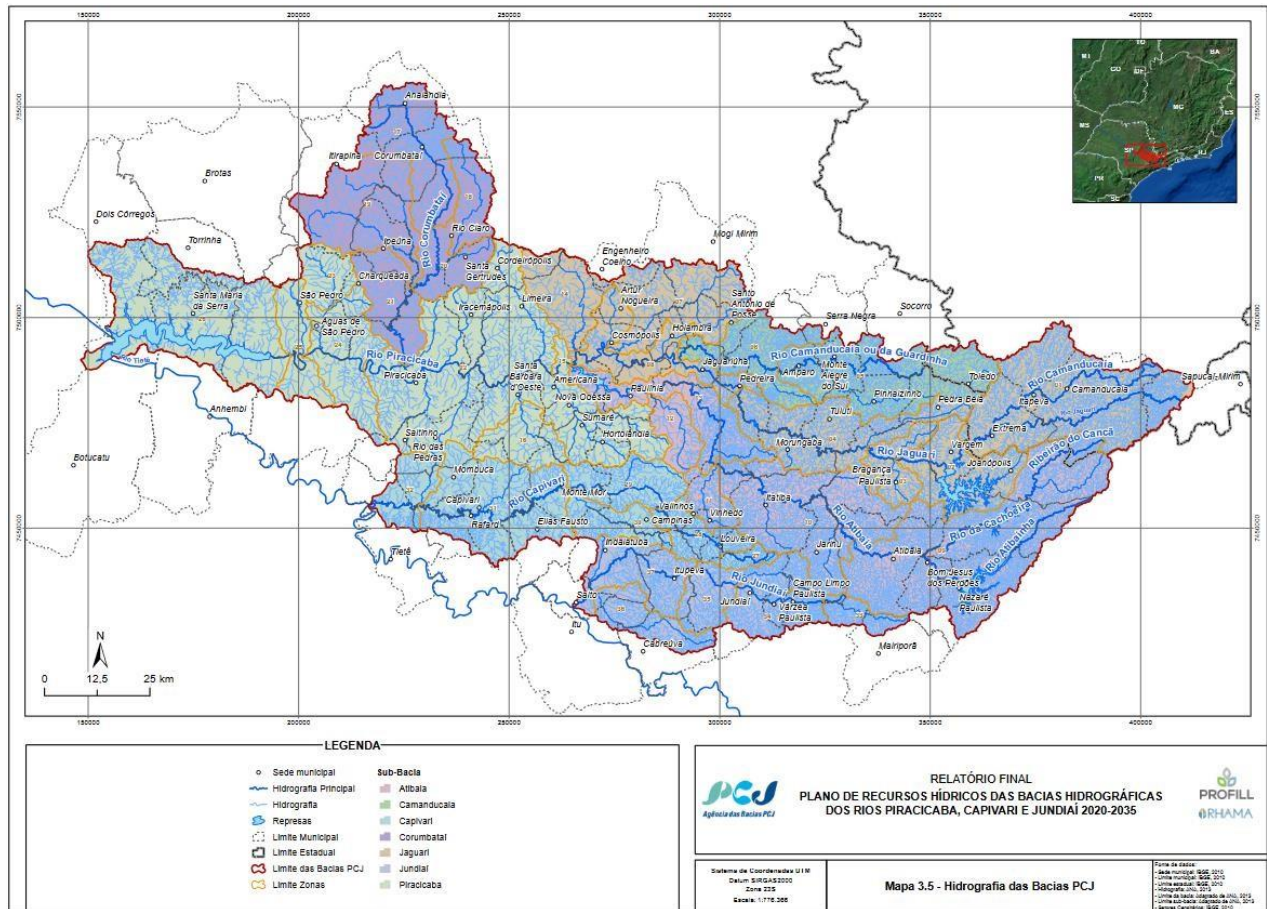
4.6 Recursos hídricos

A MHC está inserida na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ), que abrange as Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. De acordo com o Relatório Final do Plano de Recursos Hídricos das Bacias PCJ 2020-2035, a UGRHI 5 possui uma área superior a 15.000 km², sendo 92,45% no Estado de São Paulo e 7,55% no Estado de Minas Gerais, e abrange o território de 76 municípios. Em razão da abrangência de dois estados brasileiros, a Bacia PCJ engloba redes de drenagem da União de Minas Gerais e de São Paulo.

Em termos de hidrografia, sete sub-bacias principais encontram-se dentro da PCJ, dentre elas Capivari, Jundiaí e cinco subdivisões da bacia do Rio Piracicaba (Atibaia, Camanducaia, Corumbataí, Jaguari e Piracicaba [porção baixa]).

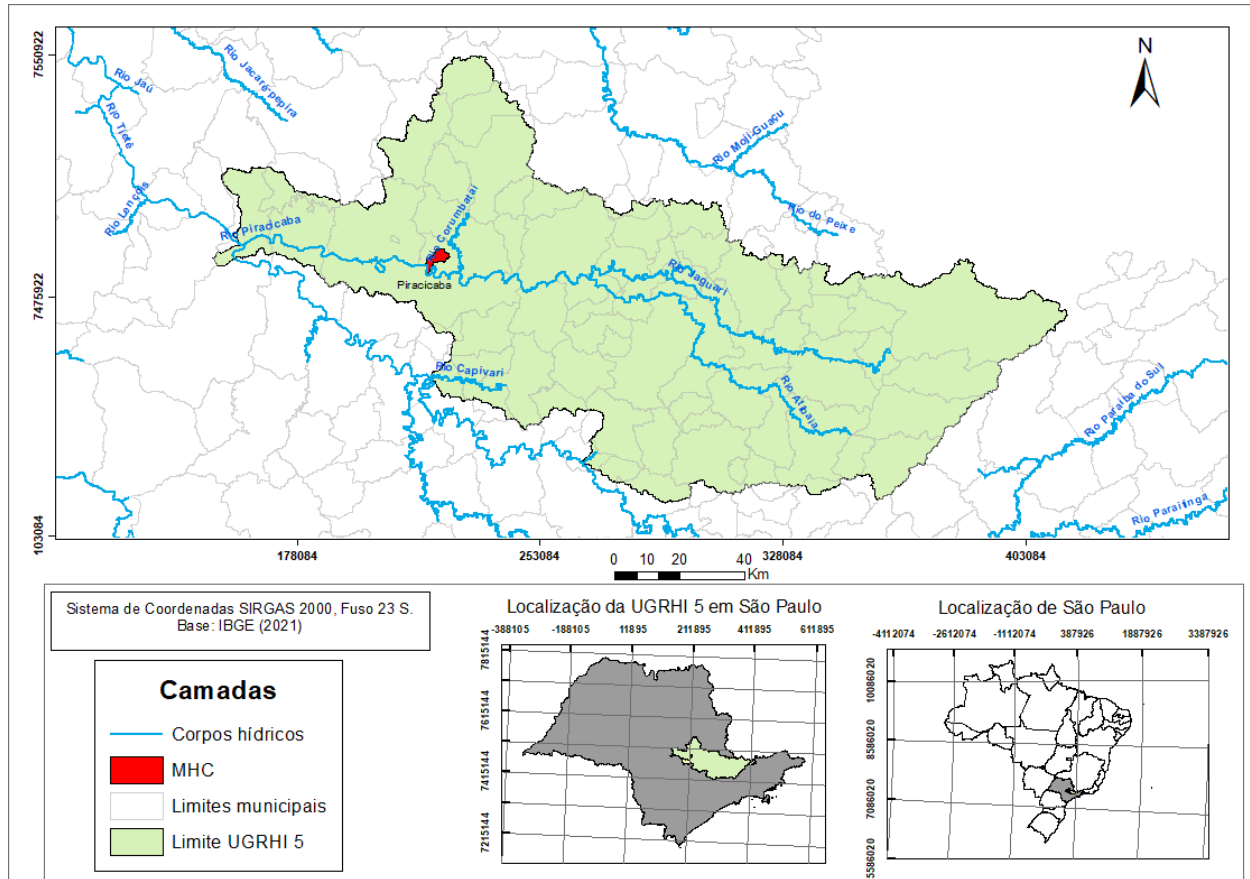
Ainda de acordo com o Relatório Final, no ano de 2016 as demandas de águas superficiais na UGRHI 5 somavam aproximadamente 36 m³/s, ou seja, 78,7% da disponibilidade hídrica na superfície. Os lançamentos, no entanto, resultam em 21,25 m³/s, ou seja, 59% da demanda. A seguir, a figura 4 evidencia o mapa das Bacias PCJ, obtido através do Relatório Final do Plano de Bacias (2020), e a figura 5 evidencia a localização da área de estudo dentro da UGRHI 5.

Figura 6 - Localização da UGRHI 5.



Fonte: Relatório Final do Plano de Recursos Hídricos das Bacias PCJ 2020-2035.

Figura 7 - Localização da MHC em na UGRHI 5.



Fonte: elaborado pelo autor.

5. MATERIAL E MÉTODO

Para realização deste trabalho, primeiramente realizou-se um levantamento bibliográfico para o entendimento do tema, dos métodos e para elaborar a caracterização da área de estudo. O conceito de análise de fragilidade foi baseado principalmente no trabalho de Ross (1994), que associou a fragilidade a variáveis naturais e antrópicas, que deram origem aos mapas temáticos utilizados neste trabalho para caracterizar a área de estudo.

A análise multicritério foi adotada tanto por possuir uma aplicação difundida amplamente em análises de fragilidade ambiental quanto pela praticidade que ela apresenta.

Em seguida, foram utilizadas as geotecnologias, em especial o SIG ArcGIS 10.8, da ESRI, a partir do qual foi possível a elaboração dos mapas temáticos e a integração dos dados, gerando os resultados e a visualização das características da microbacia estudada. Nos subitens a seguir, serão explicados os materiais utilizados e como foi aplicada a metodologia desta pesquisa.

5.1 Material

Para o cumprimento dos objetivos propostos neste trabalho, foram elaborados quatro mapas temáticos da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro, sendo três desses relativos a aspectos físicos (geologia, pedologia e declividade) e o outro sobre aspectos antrópicos (uso e cobertura da terra). O processamento e a integração dos dados contidos nestes mapas foram feitos a partir do *software* ArcGIS/ArcMap 10.8, gerando um mapa de fragilidade ambiental à erosão da área de estudo.

Uma limitação encontrada para este estudo foi a escassez de bases de informações com maior nível de detalhamento disponíveis em formato *shapefile*, por isso foram utilizadas diferentes escalas para a elaboração dos mapas temáticos.

Nos itens a seguir, serão descritas as fontes das bases de dados utilizadas para elaboração dos mapas temáticos.

a) Geologia

O mapa de geologia da MHC foi elaborado a partir do Mapa geológico do Estado de São Paulo (PERROTTA et al., 2005), em escala 1: 750.000, do Programa Geologia do Brasil–PGB, da empresa pública Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

b) Pedologia

Os dados pedológicos levantados para este estudo foram provenientes do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado (ROSSI, 2017), elaborado pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo, na escala de 1:100.000.

c) Declividade

Para a elaboração do mapa de declividade, foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) de 30 m de resolução espacial, obtido a partir do portal do TOPODATA, em escala 1:250.000, de 2011, elaborado a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores.

d) Uso e ocupação da terra

A base cartográfica utilizada para o mapa de uso e ocupação foi proveniente do satélite ESA Sentinel-2, de 10 m de resolução. Para o mapa de cobertura foi utilizada a base de dados disponível pela ESRI (ESRI's Land Cover) do seu programa de inteligência artificial (*deep learning*) chamado Land Cover Classification (Sentinel-2), através do qual um algoritmo treinado define 9 classes de uso e ocupação das terras. O programa de reconhecimento foi obtido diretamente do menu do ArcGIS Online, e recortado para a área de estudo.

5.2 Procedimentos metodológicos

O processo de criação do mapa de fragilidade ambiental envolveu a produção dos mapas temáticos e a aplicação do método de análise multicritérios. Esta análise envolve a identificação de variáveis em diferentes camadas (*layers*) ou planos de informação, cada qual recebendo uma porcentagem de influência, que atua como uma ponderação na integração de dados.

Como este estudo leva em consideração a fragilidade a erosão, os fatores considerados de maior relevância foram a declividade e o uso e ocupação do solo, uma vez que estão diretamente relacionados com quebras topográficas e movimentação de massa, a depender de declividades maiores e coberturas de solo que não sejam vegetação.

A pedologia foi outro fator ao qual foi atribuído considerável relevância, já que o nível de agregação dos sedimentos e a taxa de infiltração de água no solo são determinantes para a fragilidade à erosão.

O fator para o qual foi condicionada menor influência foi a geologia, por estar relacionada de maneira indireta à composição do solo, tornando-se uma variável menos importante quando comparada com outras características.

No caso deste estudo, cada mapa temático representaram as camadas que compuseram o mapa de fragilidade ambiental, e teve suas informações intrínsecas representadas como pesos que variaram de 1 a 5. Estes pesos indicam uma taxa de fragilidade atribuída para cada característica dos mapas temáticos, e variam conforme a fragilidade associada. Os pesos possuem as seguintes representações, de acordo com o grau de fragilidade que exercem: 1 – Muito fraco, 2 – fraco, 3 – mediano, 4 – forte e 5 – muito forte.

5.2.1 Levantamento bibliográfico, de produtos sensores e documentos cartográficos

O levantamento bibliográfico envolveu os acervos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), da Universidade de São Paulo (USP), com destaque para trabalhos da ESALQ, localizada em Piracicaba, e da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Além disso, foram consultados sites especializados

em periódicos e sites de pesquisa, permitindo o acesso a muitos trabalhos publicados, a consolidação do embasamento teórico e metodológico dos temas abordados, a referências de qualidade e a conhecimento da área de estudo e do potencial das geotecnologias.

5.2.2 Base cartográfica

Os limites municipais, estaduais e federais utilizados neste trabalho foram obtidos através dos arquivos do site do (IBGE), no setor de “Malhas Territoriais”. Para a delimitação da microbacia objeto de estudo deste trabalho, foi utilizada a base de dados do mapeamento de Sub-bacias do estado de São Paulo, disponibilizado pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA), da Secretaria de Meio Ambiente (SMA) do Estado de São Paulo. A rede de drenagem utilizada foi obtida do Mapa da rede de drenagem do Estado de São Paulo, também da CPLA - SMA.

O *software* ArcGIS versão 10.8 foi utilizado para manipulação de informações matriciais e vetoriais, permitindo o processamento dos dados e a geração dos mapas temáticos, todos elaborados a partir do sistema de coordenadas UTM, DATUM SIRGAS 2000 Fuso 23 S.

5.2.3 Elaboração dos mapas temáticos

Os subitens a seguir contém detalhes a respeito da elaboração dos mapas temáticos e do mapa de fragilidade ambiental.

a) Declividade

Para criação do mapa de declividade, foi utilizado o MDE de resolução espacial de 30 m, a partir do qual, utilizando a ferramenta *slope*, foi possível converter as cotas de altitude para declividade, em porcentagem.

Ross (1994) divide as classes de declividade em 7 grupos, evidenciados na tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de declividade

Classes	Declividade
1	0 – 3 %
2	3 – 6 %
3	6 – 12 %
4	12 – 20 %
5	20 – 30 %
6	30 – 50 %
7	> 50 %

Fonte: adaptado de Ross, 1994

b) Geologia

Para elaboração do mapa de geologia, foi utilizado o arquivo vetorial (*shapefile*) disponibilizado pela CPRM, em escala 1:750.000. Neste mapa, foi adicionado o trecho de drenagem da área de estudo. Vale salientar, que este mapa não foi considerado como o mais apropriado para este estudo, porém foi empregado pela dificuldade em se obter um mapa de maior nível de detalhamento geológico.

c) Pedologia

O mapa de pedologia foi elaborado utilizando-se como base o mapa pedológico do estado de São Paulo, em escala 1:100.000. A drenagem da bacia analisada também foi adicionada neste mapa.

d) Uso e ocupação

O mapa de uso e ocupação foi obtido através da classificação de cobertura de solo da ESRI (ESRI's Land Cover 2020), a partir de uma inteligência artificial que utilizou técnicas de aprendizado profundo (*deep learning*) para realizar esta classificação. Este processo de aprendizado envolveu o treinamento da inteligência artificial a partir de

bilhões de fragmentos de imagens do satélite Sentinel-2, de 10 m de resolução, que fornece anualmente atualizações para o modelo Land Cover Classification (Sentinel-2).

De acordo com a ESRI, o este modelo possui uma acurácia geral de 84% para imagens de nível-2A do satélite Sentinel-2 para classificação de classes nível 2 (15 classes), e 90,8% para classificação de nível 1 (5 classes).

No entanto, Venter et al. (2022) compararam a acurácia de três diferentes modelos geradores de mapas de uso e ocupação da terra baseados no satélite Sentinel (10 m) provenientes de modelos de aprendizado profundo, concluindo que os mapas da ESRI eram os mais acurados, com acurácia global de 75%. As classes com melhor mapeamento foram os corpos hídricos (92%), áreas construídas (83%), vegetação (81%) e plantação (78%).

Dessa forma, a acurácia do modelo utilizado foi considerada adequada para a precisão das classes geradas neste mapa, especialmente considerando a data recente da publicação deste modelo (2021).

A ESRI's Land Cover consegue gerar 9 classes diferentes, que são: corpos hídricos, vegetação, vegetação inundada, plantação, área construída, solo exposto, neve ou gelo e áreas de pastagem. Essa também pode apontar a existência de nuvens que impediriam a classificação da cobertura. As classes encontradas na área de estudo foram as de corpos hídricos, vegetação, plantação, área construída, solo exposto e pastagem. Essas serão detalhadas nos próximos itens.

e) Fragilidade ambiental à erosão

A elaboração do mapa de fragilidade envolveu a integração dos dados obtidos em cada mapa temático, processados no ArcGIS através da ferramenta *weighted overlay* (sobreposição ponderada), utilizando os pesos e as porcentagens de influência descritos anteriormente.

As tabelas 3 a 6 contêm os pesos atribuídos a cada subclasse dos mapas temáticos e suas influências em porcentagem para a integração dos dados na elaboração do mapa de fragilidade.

Tabela 3 - Influência do mapa de declividade e pesos de cada classe

Mapa de Declividade	Porcentagem de influência no mapa de fragilidade: 30%
Classes de declividade	Pesos atribuídos
Plano (0 - 3%)	1
Suave ondulado (3 - 6%)	1
Ondulado (6 - 12%)	2
Forte ondulado (12 - 20%)	3

Fonte: Classes de declividade obtidas de Lepsch et al, 1996.

Vale destacar que não houve registro de declividades acima de 20% na área de estudo. Os pesos atribuídos para cada classe de declividade foram baseados na leitura de Ross (1994), classificou declividades de até 6% como muito fracas, entre 6 e 12% como fracas e entre 12 e 20% como medianas.

Tabela 4 - Influência do mapa geológico e pesos de cada formação

Mapa de Geologia	Porcentagem de influência no mapa de fragilidade: 15%
Formações geológicas	Pesos atribuídos
Formação Corumbataí	4
Formação Piramboia	5
Depósitos Aluvionares	5

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Para a definição de pesos nas formações geológicas, foi utilizada uma adaptação da classificação de Crepani (2001), de forma a considerar os siltitos e arenitos da Formação Corumbataí com alto grau de fragilidade (4), os arenitos e folhelhos da formação Piramboia ainda mais frágeis (5). Aos depósitos aluvionares, constituídos principalmente de depósitos de areia e de cascalho, também foi atribuído um peso elevado (5).

Tabela 5 - Influência do mapa pedológico e pesos de cada subordem

Mapa de Pedologia	Porcentagem de influência no mapa de fragilidade: 15%
Subordens pedológicas	Pesos atribuídos
Argissolos Vermelhos (PV)	4
Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA)	3
Gleissolos Hápicos (GX)	5
Neossolos Litólicos (RL)	5

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A definição dos pesos referentes às subordens pedológicas teve como base o trabalho de Ross (1994), que classifica as principais subordens pedológicas de acordo com suas vulnerabilidades, capacidade de infiltração e facilidade de desprendimento do grão à rocha.

Tabela 6 - Influência do mapa de uso e ocupação do solo e pesos de cada cobertura

Mapa de Uso e Ocupação	Porcentagem de influência no mapa de fragilidade: 40%
Cobertura	Pesos atribuídos
Corpos hídricos	1
Vegetação	1
Plantação	3
Área construída	4
Solo exposto	5
Pastagens	3

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Para as classes de cobertura, os pesos atribuídos levaram em consideração a vulnerabilidade esperada de cada uso da terra. A vegetação foi a única classe a receber

um peso muito fraco, sendo as demais características vistas como potenciais intensificadoras da fragilidade ambiental da área de estudo.

A partir do descrito por Ross, elaborou-se a tabela 8, na qual são estabelecidos graus de proteção para determinados tipos de cobertura vegetal.

Tabela 7 - Graus de proteção por cobertura vegetal

Grau de proteção	Cobertura da terra
Muito baixa a nula	Áreas desmatadas e queimadas, solo exposto (arado/gradeação ou ao longo de caminhos/estradas).
Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade, culturas de ciclo curto.
Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento (café, laranja), pastagens com baixo pisoteio de gado.
Alta	Pastagens cultivadas com baixo pisoteio, formações arbustivas densas.
Muito alta	Florestas e matas naturais ou cultivadas com biodiversidade.

Fonte: adaptado de Ross (1994)

Os pesos atribuídos às classes de cobertura de solo foram baseados no trabalho de Ross (1994) e na interpretação da área de estudo. Em razão da falta de proteção nas áreas de solo exposto, foi considerado peso mais alto para fragilidade nessa área.

O mesmo peso foi atribuído para as regiões com cobertura de plantação e de pastagem, pois, foi levado em consideração que nas épocas entre safras o solo de plantação permanece vulnerável, e as áreas de pastagem não possuem vegetação desenvolvida o suficiente para configurar a devida proteção ao solo.

Às áreas construídas foi atribuída uma alta fragilidade, levando-se em consideração que possuem menos solo capaz de ser degradado e erodido do que áreas de solo exposto, porém, não possuem nenhum tipo de proteção e são constituídas principalmente de cobertura impermeável. Além disso, o distrito de Ártemis está localizado nas porções da MHC de menor altitude, de modo que as partículas carreadas podem acabar escoando pelo distrito.

Para definição da fragilidade em áreas de corpos hídricos, levou-se em conta trabalhos como os de Campos (2018) e Gonçalves (2011), para os quais adotou-se fragilidade mínima nos corpos hídricos.

Não foi possível identificar o nível de desenvolvimento da vegetação presente nas regiões cobertas com mata, porém, foi considerada fragilidade mínima para essas áreas, considerando se tratar de vegetações densas.

Na bibliografia consultada, não foi encontrado um consenso quanto à porcentagem de influência que deve ser atribuída para cada mapa temático para a elaboração do mapa de fragilidade ambiental. Desta forma, seguindo a linha de Ross (1994), foi dada maior influência para o fator de uso e cobertura (40%), seguido pela declividade (30%). Os fatores relacionados às características naturais do solo receberam uma porcentagem de influência menor, de 15% para cada (pedologia e geologia).

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

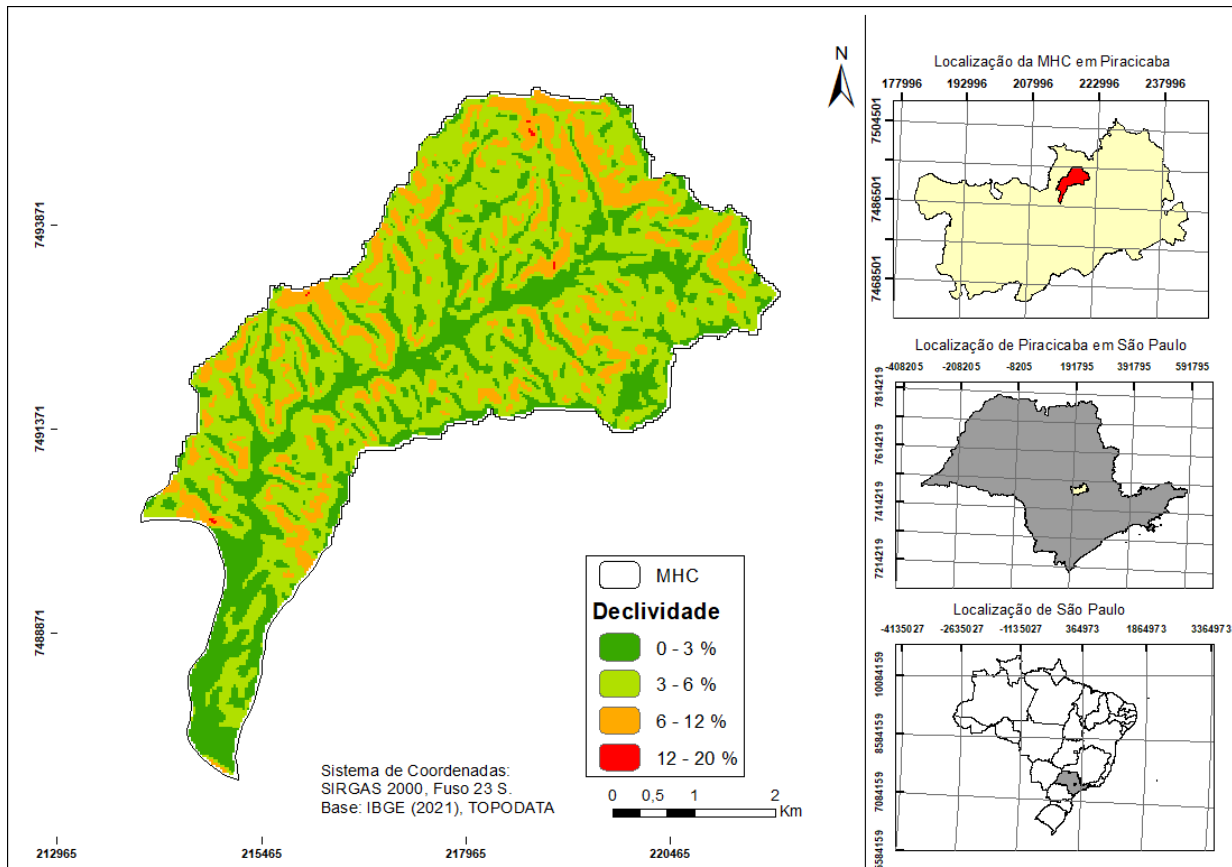
A partir das informações bibliográficas, da análise dos mapas temáticos dos aspectos físico-naturais e antrópicos da microbacia do córrego do Ceveiro, bem como da integração dos mapas temáticos, foi possível gerar o mapa de fragilidade ambiental e identificar as áreas de maior fragilidade à erosão da MHC.

6.1 Análise dos mapas temáticos

Os mapas temáticos elaborados com informações da área de estudo permitiram a compreensão dos aspectos físicos e das características de uso e ocupação na microbacia. Desta forma, foi possível a integração dos dados gerando a fragilidade ambiental da região.

A partir do mapa de declividade, foi possível notar que as declividades predominantes na MHC são as de classe suave ondulado (3,01 a 6 %) e ondulado (6,01 a 12 %), caracterizando a área como predominantemente plana.

Figura 8 - Mapa de declividade.



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Declividades maiores possuem representações irrisórias ao longo da área de estudo, de forma que o escoamento superficial de água não possui tendência de adquirir grandes velocidades nem carregar grandes volumes de sedimentos.

A declividade menor, que varia de 0 a 3%, concentra-se principalmente nos pontos de altitude mais baixa da microbacia, onde estão os canais de drenagem da MHC, enquanto as classes de declividade maior estão localizadas nos arredores dessas áreas, direcionando o fluxo de escoamento para as cotas de altitude menores.

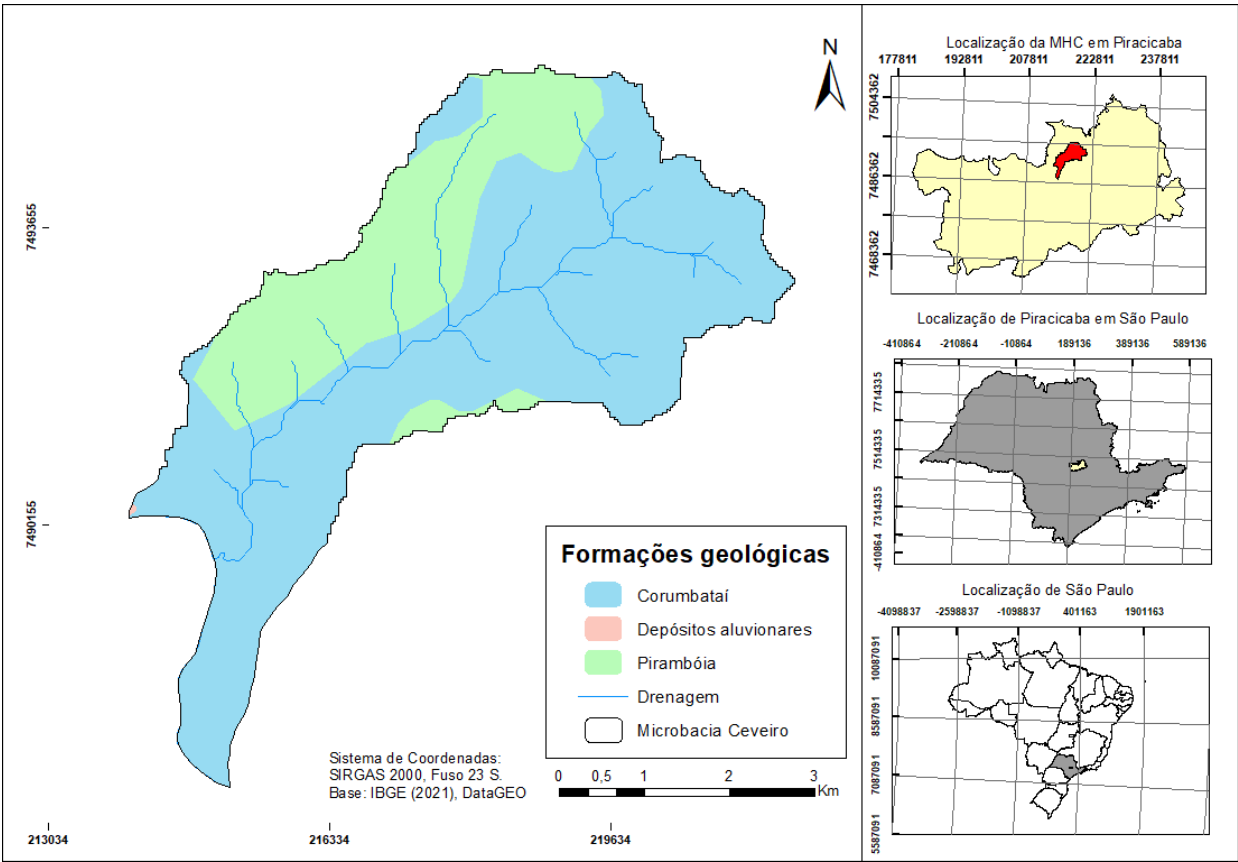
Quanto à geologia, a maior parte da área total da microbacia é composta pela Formação Corumbataí, enquanto a Formação Piramboia ocupa pouco menos de 1/3 de área, e Depósitos Aluvionares, localizados no sudoeste da MHC, ocupam menos de 1% de área. Dessa forma, a Formação Corumbataí, que recebeu maior grau de fragilidade, é a que predomina na área de estudo.

Tabela 8 - Distribuição territorial das Formações geológicas

Formação geológica	Área (km²)	Porcentagem da área total	Pesos de fragilidade
Formação Corumbataí	17,240009	71,96%	4
Formação Piramboia	6,711889	28,01%	5
Depósito Aluvionares	0,007304	0,03%	5

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Figura 9 - Mapa geológico



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

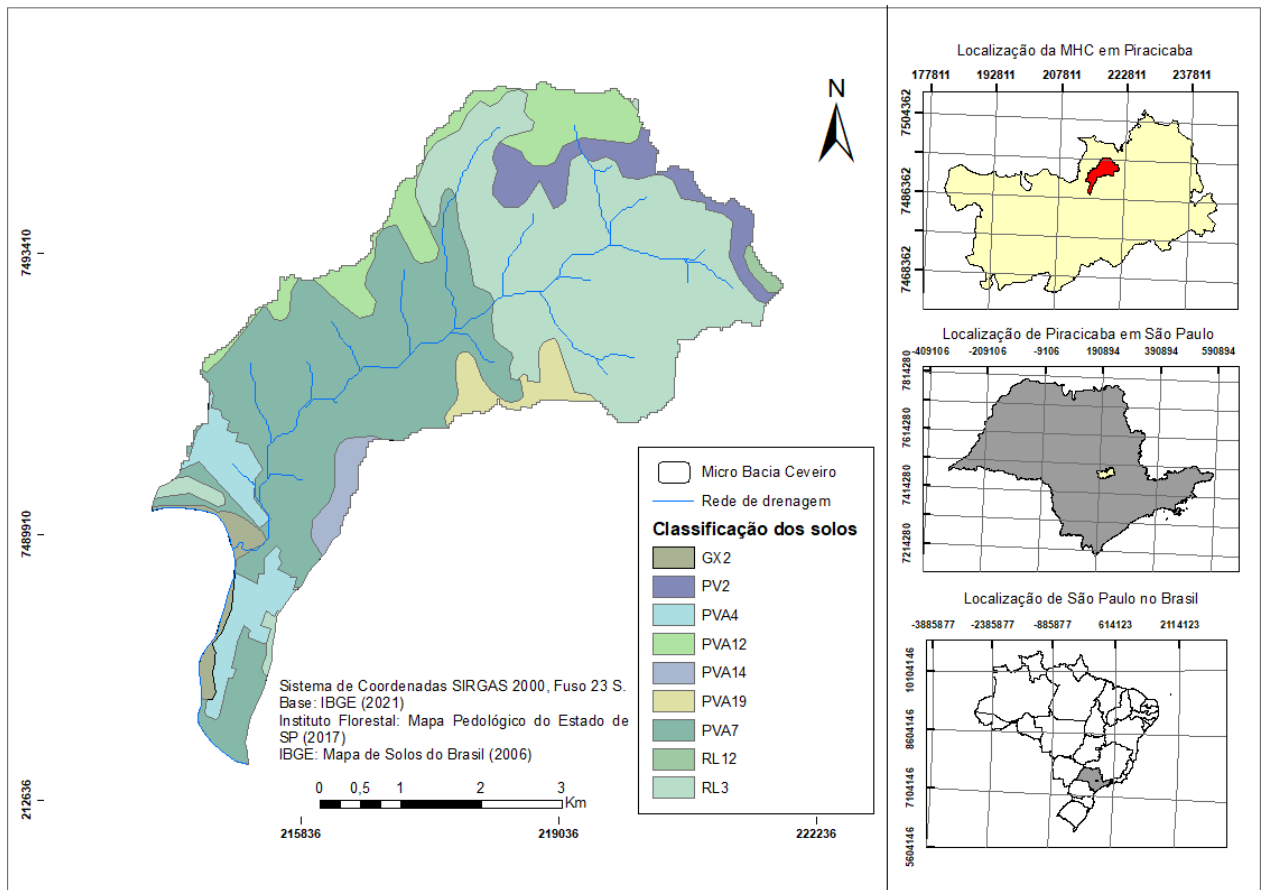
A tabela 10 apresenta a descrição da pedologia identificada na MHC a partir do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017) e Mapa de Solos (EMBRAPA, IBGE, 2001) e suas respectivas extensões territoriais.

Tabela 9 - Distribuição territorial das subordens de pedologia

Sigla	Subordem	Área (km²)	Porcentagem da área total	Pesos de fragilidade
GX2	Gleissolos Hápicos	0,38	1,57%	5
PV2	Argissolos Vermelhos	1,34	5,58%	4
PVA4	Argissolos Vermelho- Amarelos	1,41	5,90%	3
PVA12	Argissolos Vermelho- Amarelos	2,09	8,74%	3
PVA14	Argissolos Vermelho- Amarelos	0,44	1,84%	3
PVA19	Argissolos Vermelho- Amarelos	0,67	2,80%	3
PVA7	Argissolos Vermelho- Amarelos	8,70	36,3%	3
RL12	Neossolos Litólicos Eutroféricos	0,11	0,45%	5
RL3	Neossolos Litólicos	8,82	36,8%	5

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Figura 10 - Mapa pedológico



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Os solos com maior presença na MHC são os Neossolos Litólicos (RL3) Eutróficos e Distróficos, profundidade rasa e textura média, e os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA7) Eutróficos e Distróficos, profundos e muito profundos, e textura média/Argilosa.

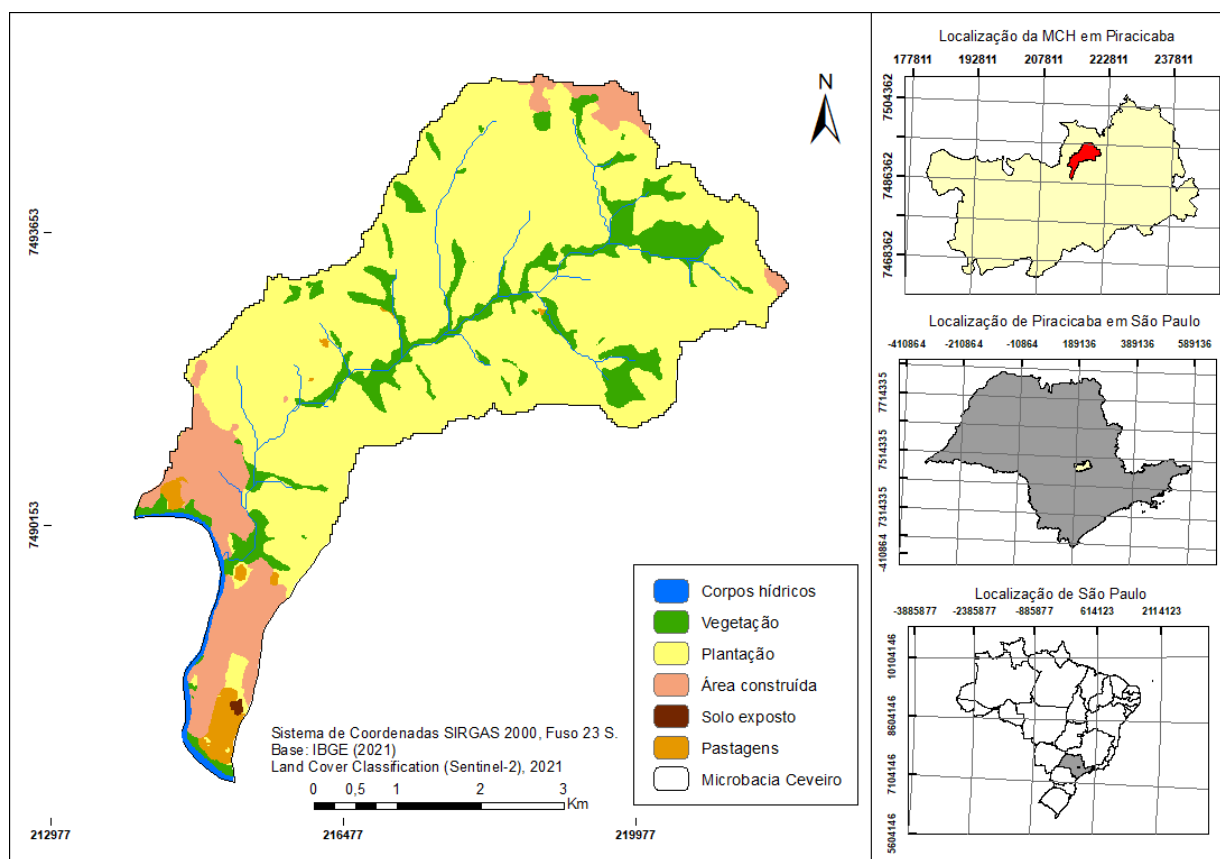
O mapa de uso e ocupação e a tabela 10 permitem avaliar a cobertura da MHC.

Tabela 10 - Distribuição territorial das classes de uso e ocupação

Classes	Área (km²)	Porcentagem	Pesos de fragilidade
Corpos hídricos	0,24	1,01%	1
Vegetação	2,93	12,25%	1
Plantação	17,70	73,98%	3
Área Construída	2,64	11,03%	4
Solo exposto	0,02	0,09%	5
Pastagens	0,39	1,65%	3

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Figura 11 - Mapa de uso e ocupação



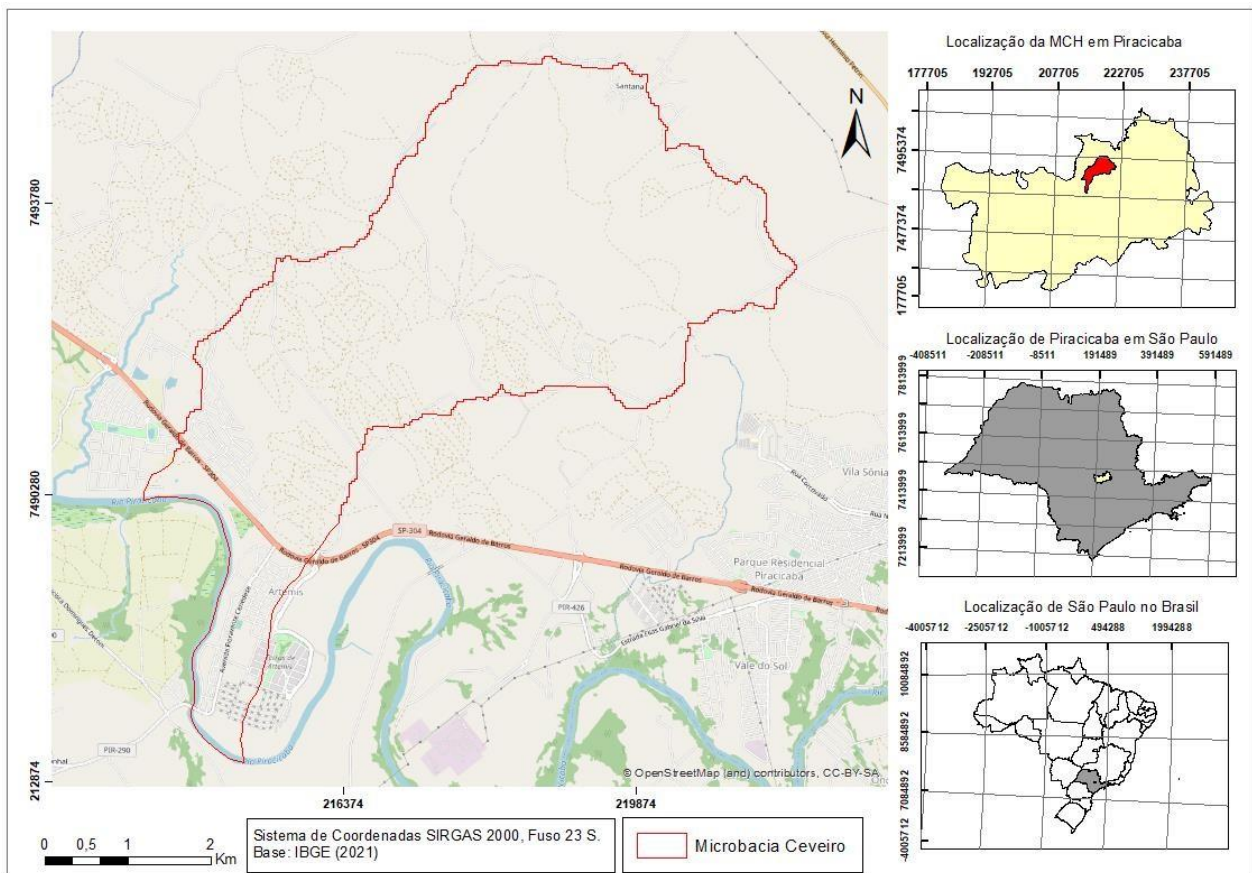
Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A partir do mapa (figura 11), notou-se que aproximadamente três quartos de área da MHC é coberta por plantações, pouco mais de 10% por áreas de vegetação, e 1,65% por áreas de pastagens. A partir dessas informações, pode-se inferir que a microbacia

difícilmente sofreria com inundações ou alagamentos, já que possui uma vasta área de solo permeável, permitindo a infiltração da água.

Apesar de ser uma região majoritariamente rural, a microbacia estudada possui 11% de sua área considerada como área construída, ou seja, com solo impermeabilizado. Trata-se, em grande parte, dos loteamentos próximos ao rio Piracicaba, na região do Distrito de Ártemis, visível através do *Open Street View* (figura 12).

Figura 12 - Localização do Distrito de Ártemis e arredores da MHC



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

6.2 Mapa de Fragilidade Ambiental à Erosão

Por meio da integração de informações dos mapas temáticos, foi gerado o mapa de fragilidade ambiental à erosão da MHC, evidenciando classes de fragilidade variando de “muito fraco” (1) à “forte” (4), sem, contudo, haver presença da classe de maior

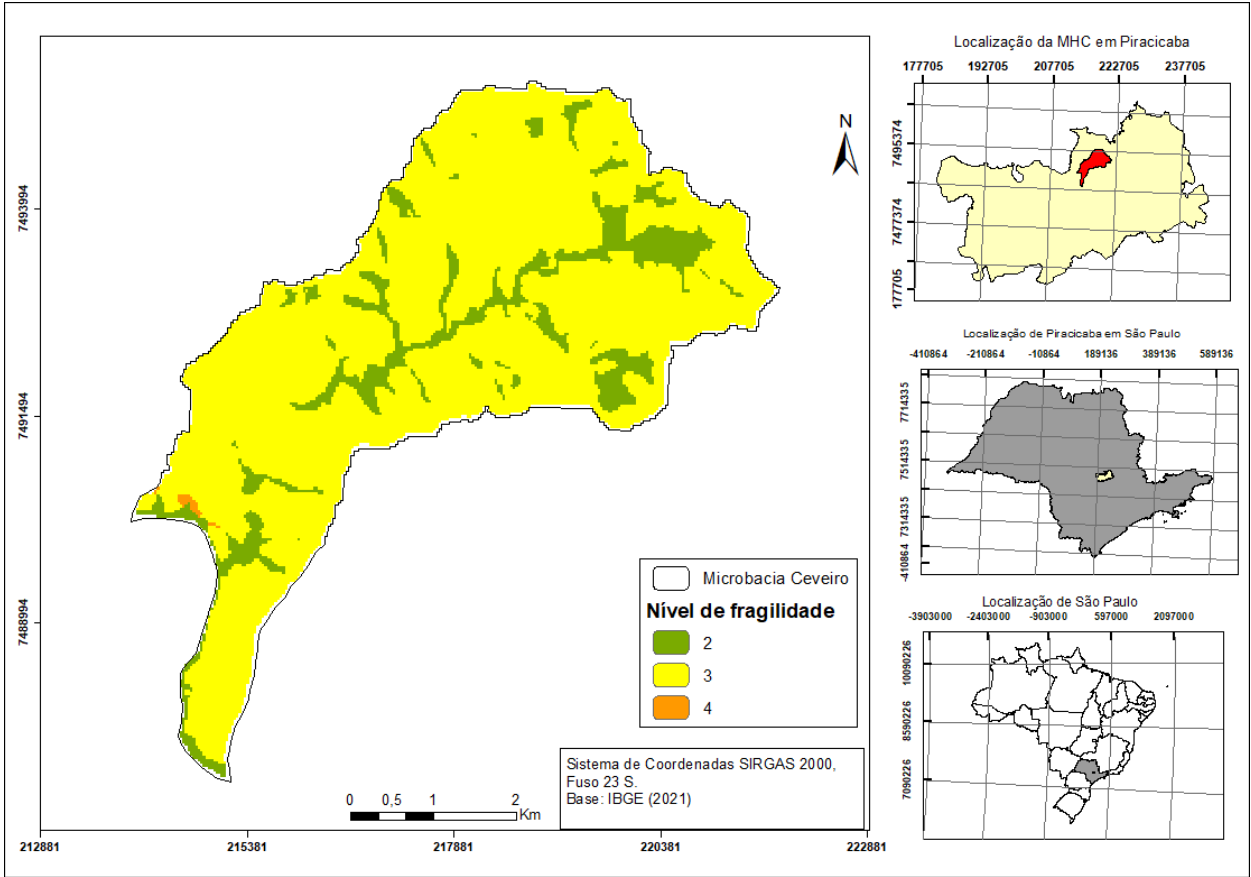
fragilidade, “Muito forte” (5). A tabela 11 apresenta a área total correspondente a cada classe de fragilidade identificada na MHC.

Tabela 11 - Extensão das Classes de fragilidades na MHC.

Classe de fragilidade	Área da MHC	
	km²	Porcentagem
2 - Fraco	3,2	13,2%
3 - Médio	20,8	86,6%
4 - Forte	0,05	0,2%

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 13 - Fragilidade à erosão na MHC



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Microbacia Hidrográfica do Ceveiro é uma área de fragilidade majoritariamente mediana. A integração dos dados coletados permitiu uma visão ampliada a partir da qual notou-se que a microbacia necessita de ajustes, tanto em questões de requisitos legais quanto em questões de zoneamento. Ainda assim, a análise dos dados mostrou que a região não apresenta grandes riscos com relação à erosão.

A ideia inicial da pesquisa era realizar o levantamento das fragilidades quanto à erosão, alagamento e poluição hídrica. No entanto, dado que a área é predominantemente ocupada por solo permeável, e que possui baixa densidade demográfica, esses aspectos não entraram na análise por apresentarem menor relevância. A erosão, por outro lado, poderia apresentar uma situação mais alarmante, por se tratar de uma região voltada para a agricultura.

A análise da fragilidade ambiental na MHC mostrou um resultado de fragilidade mediana à erosão na MHC. Os principais fatores que contribuíram para notas mais altas foram o uso e ocupação das terras, especialmente considerando a escassez de vegetação (na faixa de 10% da área total da microbacia) e a pedologia, em menor grau, mas que também contribuiu para uma nota maior de fragilidade.

O ponto de maior fragilidade encontra-se em um ponto específico do distrito de Ártemis, a sudoeste da microbacia, onde coincide uma ocupação urbana, no quesito de cobertura da terra, e Neossolos.

Quanto aos fatores que reduziram a fragilidade da microbacia, merece destaque a declividade, que é de fato majoritariamente baixa, mantendo a área plana e reduzindo as erosões causadas pelo escoamento superficial da água. A partir da análise feita neste estudo, foi possível notar que a baixa declividade ao longo de quase toda MHC manteve os níveis de fragilidade estáveis, de modo que a atribuição de fragilidade “mediana” foi dada para mais de 85% da área da microbacia.

É interessante notar que os pontos que apresentam menor fragilidade estão ao longo dos trechos de drenagem e onde há cobertura vegetal, fatores que receberam a menor nota quanto à cobertura da terra.

A partir deste trabalho, foi possível notar que grande parte da cobertura vegetal preservada está localizada em Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo dos

córregos. No entanto, foi possível notar regiões onde não são respeitadas essas áreas, com destaque para a o Distrito de Ártemis, que fica muito próximo ao Rio Piracicaba.

Um trabalho futuro poderia gerar dados mais precisos acerca da área mínima existente que está preservada nas adjacências de corpos hídricos em comparação às áreas totais que deveriam ser conservadas.

É possível acrescentar, ainda, que a Lei nº 12.651/2012, o Código Florestal, delimita como APP principalmente as nascentes (raio de 50 m em olhos d'água), matas ciliares e topos de morro. No caso da área estudada, existem diversos córregos cujas nascentes não possuem proteção vegetal alguma, além da mata ciliar que deveria acompanhá-los.

A falta da cobertura vegetal na MHC afeta não somente os corpos hídricos, que perdem parte de sua proteção natural contra o carreamento de solo e de poluição, como também as faunas aquática e terrestre, que sofrem com poluição e possíveis contaminantes, além de perderem seu habitat natural.

Assim, é importante que o Estado, através dos órgãos ambientais e do Ministério Público, amplie a fiscalização e reforce o cumprimento das legislações ambientais, de forma que seja possível evitar a intensificação de consequências danosas ao meio ambiente, como a erosão.

De acordo com o artigo nº 225 da Constituição brasileira, é imposto ao poder público e à coletividade o dever de defender e preservar o meio ambiente ecologicamente equilibrado a todos, de forma que a educação ambiental, no sentido de conscientização de preservação e reflorestamento, possui papel fundamental para produtores rurais conservarem os recursos hídricos presentes em suas propriedades.

É possível afirmar que as geotecnologias podem ser apresentadas como ferramentas seguras e eficientes em estudos que envolvem mapeamentos, obtenção e integração de dados, sendo essenciais em estudos de planejamento territorial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Priscila Félix; SILVA, J. B. L.; NEVES, Frederico Monteiro. Vulnerabilidade Ambiental do Município de Teixeira de Freitas-BA. **Revista Brasileira de Geografia Física [online]**, v. 13, p. 1587-1609, 2020.

BARROS, Pedro Paulo da Silva de. **Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BERTONI, JOSÉ; LOMBARDI NETO, FRANCISCO. Conservação do solo, 7ª Edição, editora ícone. **São Paulo, SP**, 2008.

BOSQUILIA, Raoni Wainer Duarte et al. **Comparação entre métodos de mapeamento automático de rede de drenagem utilizando SIG**. Irriga, v. 20, n. 3, p. 445-457, 2015.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 2-6.

CAMPOS, Jasmine Alves. Fragilidade ambiental e capacidade de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Caratinga, MG. 2018.

CREPANI, Edison et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

COLLINS, M. G., STEINER, F. R., RUSHMAN, M. J. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. **Environment Management**, v. 28, n. 5, p. 611-62, 2001.

DALLA CORTE, Ana Paula et al. **Environmental fragility of Iguaçu River watershed, Paraná, Brazil. Bosque**, v. 36, n. 2, p. 287-297, 2015.

EASTMAN, J. R. Idrisi Kilimanjaro: guide to GIS and image processing. Worcester: Clark University, 2003. 328p. Manual Version 14.00

FERRAZ, Epaminondas Sansigolo de Barros; MARTINELLI, Luiz Antonio; VICTORIA, Reynaldo Luiz. Coletânea do Notícias PiraCena: a bacia do Rio Piracicaba. 2001.

FIORIO, PETERSON RICARDO; DEMATTÊ, JOSÉ ALEXANDRE MELO; SPAROVEK, GERD. Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 671-679, 2000.

GONÇALVES, Geula Graciela Gomes et al. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, v. 41, n. 4, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. Rio de Janeiro, 2013.

IBGE - EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000.

LEPSCH, I. F. et al. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4. a Aprox. **SBCS, Campinas-SP**, 1996.

LIMA, Maria Maiany Paiva; SILVA, Lucas da. Análise da vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do rio Banabuiú, com apoio de geotecnologia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 04, p. 1442-1457, 2018.

MALCZEWSKI, J. **GIS - based land-use suitability analysis: a critical overview**. Progress in Planning. v. 62, n. 1, p. 3-65, jul. 2004.

MOURA, Ana Clara Mourão. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil**, p. 21-26, 2007.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Editora Interciência, 2014.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINE, M. F. Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro-SP. **Rev. Arq. Púb. Hist. Município de Rio Claro**, v. 1, 2008.

PERROTTA, Mônica Mazzini et al. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 750.000. **Programa Geologia do Brasil–PGB, CPRM, São Paulo**, 2005.

PERROTTA, M. M. et al. Mapa geológico do Estado de São Paulo: breve descrição das unidades litoestratigráficas aflorantes no Estado de São Paulo. **Rio de Janeiro: CPRM**, 2006.

PROFILL-RHAMA, Consórcio. Relatório Final do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, 2020 a 2035. **Piracicaba, SP, Brasil**, 2020.

REIS, Magno Henrique dos et al. Mapeamento de áreas de risco à ocorrência da erosão hídrica no Sudoeste Goiano com base na distribuição espacial de chuvas intensas. **Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.219-228, 2006.

RIBEIRO, Daniela Ferreira; LUPINACCI, Cenira Maria; RIEDEL, Paulina Setti. SENSORIAMENTO REMOTO NA AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS PARA A IDENTIFICAÇÃO DA SENSIBILIDADE AMBIENTAL A

DERRAMES DE ÓLEO: BAIXO CURSO DO RIO PIRACICABA–SP. **Geociências**, v. 37, n. 3, p. 583-596, 2018.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do departamento de geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; DEL PRETTE, Marcos Estevan. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. *Revista do departamento de geografia*, v. 12, p. 89-121, 1998.

ROSSI, M. Mapa pedológico do estado de São Paulo: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1996.

SCHNEIDER, RiL et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso brasileiro de Geologia**. 1974. p. 41-65.

SILVA, Enio Fraga da. **Mapas de solos produzidos em escalas e épocas distintas**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, Jorge Xavier da. O que é Geoprocessamento? **Revista CREA-RJ** nº79, p42-44, 2009.

SOUZA¹, Denise Silva Leão de et al. Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes–MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 05, p. 2269-2292, 2020.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 15, p. 39–49, 2004.

STEFANOSKI, Diane C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

SUTIL¹, Suelen Crispim; GONÇALVES, José Augusto Costa; VIEIRA, Eliane Maria. Análise comparativa da fragilidade ambiental da bacia do rio Piracicaba a partir da aplicação de dois modelos metodológicos: suporte para o estabelecimento e proposição de Corredores Ecológicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 06, p. 3060-3077, 2020.

TAGLANI, C. R. A. Técnicas para avaliação da vulnerabilidade de ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, MG. **Anais em CD-ROM ...** Belo Horizonte: INPE - SELPER, p. 1657-1664.

THIAGO, Carlos Roberto Lima; MAGALHÃES, Ivo Augusto Lopes; SANTOS, A. R. Identificação de Fragmentos Florestais Potencias para a delimitação de Corredores Ecológicos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES por meio técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 595-612, 2020.

TUCCI, Carlos EM. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, CEM; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização In: Drenagem urbana. **ABRH**, 428p, 1995.

TURETTA, APD. Mudanças de uso em bacias hidrográficas. **Embrapa Solos**, 1ª ed. Rio de Janeiro, 2011.

VALLE, Ivana Cola; FRANCELENO, Márcio Rocha; PINHEIRO, Helena Saraiva Koenow. Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 295-308, 2016.

VENTER, Zander S. et al. Global 10 m Land Use Land Cover Datasets: A Comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover. **Remote Sensing**, v. 14, n. 16, p. 4101, 2022.

WEILL, Mara de Andrade Marinho. **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP), através do Índice de Tempo de Vida**. 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

WEILL, Mara de Andrade Marinho; SPAROVEK, Gerd. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP): I-Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 801-814, 2008.

ZAINE, José Eduardo. Geologia da formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP). 1994. 90 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1994.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

FIORIO, Peterson Ricardo; NAKAI, Érica Silva; BATAGIN, Bruna. Análise Temporal do Uso e Ocupação do Solo da Microbacia Hidrográfica em Piracicaba (SP), Brasil.

Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 1, p. 179-187, 2019.

GONÇALVES, Geula Graciela Gomes et al. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, v. 41, n. 4, 2011.

GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz-Caccia; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Fragilidade Ambiental: uma proposta de aplicação de Geomorphons para a variável relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 123-136, 2019.

HEIN, Marcia. **Espacialização de duas microbacias hidrograficas do Rio Piracicaba para modelagem hidrologica**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas.

KAWAKUBO, Fernando Shinji et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil**, p. 16-21, 2005.

LEME, Sueli Mançanares. **Relevo, processos geoecológicos e sócio/reprodutores e a fragilidade ambiental da bacia do ribeirão Piracicamirim/SP**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LUCAS, Ariovaldo AT; FOLEGATTI, Marcos V.; DUARTE, Sérgio N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 937-943, 2010.

PELLEGRINO, Giampaolo Queiroz et al. Análise espaço-temporal de componentes hidroclimáticos na bacia do rio Piracicaba, SP. **Rev. Bras. Agrometeorologia**, v. 9, n. 1, p. 125-135, 2001.

PEREIRA, Ademir José; DE OLIVEIRA PEREIRA, Willian. Cinco anos do novo código florestal: mudanças mais proeminentes do ponto de vista das áreas de preservação permanente. **Ratio Juris. Revista Eletrônica da Graduação da Faculdade de Direito do Sul de Minas**, v. 1, n. 2, p. 221-275, 2018.

RODRIGUES, Silvio Carlos; DE SOUZA, Nilton César. MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NO TRECHO DE VAZÃO REDUZIDA DO RIO ARAGUARI (MG) UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 17, n. 3, p. 129-142, 2013.

SANTOS, Sarah Felix. Análise da fragilidade ambiental dos setores alto e médio da Bacia do Ribeirão Tatu-Limeira/SP. 2019.

SILVA, Leandro Félix da; BACANI, Vitor Matheus. Análise da fragilidade ambiental e das áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do Córrego Fundo, município de Aquidauana-MS. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 49, p. 264-284, 2017.

SPÖRL, Christiane; CASTRO, Emiliano; LUCHIARI, Aílton. Aplicação de redes neurais artificiais na construção de modelos de fragilidade ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 21, p. 113-135, 2011.

WEILL, Mara de Andrade Marinho; SPAROVEK, Gerd. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP): II-Interpretação da tolerância de perda de solo utilizando o método do Índice de Tempo de Vida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 815-824, 2008.