



unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM
GEOGRAFIA**

KAREN RIETI LITHOLDO

CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA DEFINIR O USO ADEQUADO DAS
TERRAS NA BACIA DO RIO PIRAPITINGA (SP).

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

RIO CLARO - SP

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

KAREN RIETI LITHOLDO

CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA DEFINIR O USO
ADEQUADO DAS TERRAS NA BACIA DO RIO PIRAPITINGA (SP).

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Prof. Dra. Cenira Maria Lupinacci

Rio Claro - SP
2024

L776c Litholdo, Karen Rieti
Contribuição metodológica para definir o uso adequado
das terras na bacia do rio Pirapitinga (SP) / Karen Rieti
Litholdo. -- Rio Claro, 2024
120 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio
Claro
Orientadora: Cenira Maria Lupinacci

1. Ação Antrópica. 2. Morfometria. 3. Erosão. 4. Uso da
Terra. I. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

KAREN RIETI LITHOLDO

CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA DEFINIR O USO
ADEQUADO DAS TERRAS NA BACIA DO RIO PIRAPITINGA (SP).

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Geografia.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci – Orientadora
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Felipe Augusto Scudeller Zanatta
Secretaria Municipal de Educação – São Paulo (SP)

Conceito: Aprovado
Rio Claro (SP), 18 de setembro de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu amado Thiago, por ter me encorajado ao longo desses anos a nunca desistir de ser a minha melhor versão. Seu apoio incondicional e sua fé no meu sonho foram fundamentais para esta jornada. Obrigada por toda paciência e dedicação a mim.

Aos meus pais, Cristina e Mariovaldo, por sempre me apoiarem em minhas decisões, por me darem suporte em todos os momentos.

As minhas irmãs, Keila e Keite, por serem apoio, conforto, refúgio e alegria em minha vida, por torná-la mais leve e por me fazer ter certeza que nunca estarei sozinha ao longo de minha jornada.

À professora Cenira, pelas inúmeras conversas ao longo desse trabalho, por cada ensinamento acadêmico e de vida, por não ter me deixado desistir e por me encorajar a ser melhor. Professores possuem o poder de mudar vidas e a senhora mudou a minha. Muito obrigada por tudo!

Ao Higor, amigo de laboratório, por toda ajuda ao longo desse trabalho e por me proporcionar momentos de aprendizado.

A minha amiga Bianca, por ser apoio e por compartilhar de boas conversas.

E, por fim, aos professores e funcionários da UNESP, pela contribuição em minha formação.

RESUMO

As alterações provocadas pelo ser humano na natureza tornaram-se um importante objeto de estudo da atualidade, visto que muitos impactos interferem na própria qualidade de vida da população, além de graves interferências na dinâmica natural do ambiente. Assim, o uso inadequado da terra pode contribuir sobremaneira com a ocorrência da erosão, tanto laminar como linear. Diante desse cenário, o objetivo da pesquisa foi o de identificar o uso adequado das terras em área rural e degradada, por meio da análise das características naturais dos terrenos e das modificações causadas pela ação humana na bacia hidrográfica do rio Pirapitinga, localizada na porção centro-leste do estado de São Paulo, no município de Itirapina. Esta bacia se constitui em um exemplo do contexto de uso da terra regional nesse setor do interior paulista. As técnicas de pesquisa utilizadas envolveram a elaboração de diversos mapeamentos, a saber: mapeamentos geomorfológicos e de uso e ocupação da terra, referentes aos anos de 1988 e 2010; declividade; dissecação horizontal; dissecação vertical, energia do relevo; compartimentos do relevo e Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, bem como a compilação de dados litológicos e pedológicos da área, na escala de 1:10.000, no intuito de promover uma maior riqueza de detalhes. A metodologia utilizada foi elaborada por Zanatta (2018), a qual busca definir o uso adequado das terras em área rural, colocando como ponto de partida a elaboração dos mapeamentos já citados e posteriormente a elaboração de mapas sínteses, que permitem a análise e compreensão do conjunto de dados da bacia do rio Pirapitinga. Como resultado, a proposta Ideal demonstrou-se mais eficaz no apontamento do uso adequado das terras, isso devido ao fato de incorporar dados referentes à energia do relevo. Já a abordagem simplificada, que possui como base os dados morfométricos somente da declividade, apresentou generalizações, que não atendem às reais necessidades da área, ao sugerir padrões de uso vinculados a cultura anual em setores com presença considerável de feições erosivas lineares.

Palavras-chave: Ação Antrópica; Morfometria; Erosão; Uso da Terra.

ABSTRACT

The alterations caused by humans to nature have become an important subject of study today, as many impacts interfere with the quality of life of the population, in addition to causing serious disruptions to the natural dynamics of the environment. Thus, inappropriate land use can significantly contribute to the occurrence of both sheet and rill erosion. Given this scenario, the objective of the research was to identify the appropriate use of land in rural and degraded areas by analyzing the natural characteristics of the terrain and the modifications caused by human actions in the Pirapitinga River watershed, located in the central-eastern portion of the state of São Paulo, in the municipality of Itirapina. This basin serves as an example of the regional land use context in this part of São Paulo's interior. The research techniques employed included the creation of various maps, namely: geomorphological mapping and land use and occupation maps for the years 1988 and 2010; slope; horizontal dissection; vertical dissection; relief energy; relief compartments and Areas of Permanent Preservation and Legal Reserve, as well as the compilation of lithological and pedological data of the area, on a scale of 1:10.000, to promote greater detail. The methodology used was developed by Zanatta (2018), which seeks to define the appropriate use of land in rural areas, starting with the creation of the aforementioned maps and subsequently developing synthesis maps that allow for the analysis and understanding of the dataset of the Pirapitinga River basin. As a result, the Ideal proposal proved to be more effective in indicating the appropriate use of land, due to the fact that it incorporates data regarding the relief energy. On the other hand, the simplified approach, which is based solely on morphometric data from the slope, presented generalizations that do not meet the real needs of the area, as it suggests usage patterns linked to annual crops in sectors with a considerable presence of linear erosive features.

Keywords: Anthropogenic Action; Morphometry; Erosion; Land Use.

SUMÁRIO

1 Introdução.....	7
2 Fundamentação Teórica.....	11
2.1 Uso dinâmico e a Antropogeomorfologia.....	11
2.2 Erosão dos solos: formas e processos.....	14
2.3 Propostas metodológicas para a gestão do uso das terras.....	19
3 Caracterização da Área.....	24
4 Materiais e Métodos.....	33
4.1 Cartografia retrospectiva.....	33
<i>4.1.1 Mapeamento das Feições Geomorfológicas.....</i>	<i>33</i>
<i>4.1.2 Mapeamento de Uso e Ocupação da Terra.....</i>	<i>39</i>
4.2 Mapeamento Morfométrico.....	44
<i>4.2.1 Carta de Declividade.....</i>	<i>45</i>
<i>4.2.2 Carta de Dissecação horizontal.....</i>	<i>47</i>
<i>4.2.3 Carta de Dissecação Vertical.....</i>	<i>48</i>
<i>4.2.3 Carta de Energia do Relevo.....</i>	<i>49</i>
4.3 Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal.....	51
4.4 Mapeamento dos Compartimentos do Relevo.....	53
4.5 Os dados litológicos e pedológicos.....	54
4.6 Carta de Uso Adequado das Terras.....	54
5 Resultados e Discussões.....	61
6 Considerações Finais.....	109
Referências Bibliográficas.....	111

1 INTRODUÇÃO

As alterações provocadas pelo ser humano na natureza tornaram-se um importante objeto de estudo da atualidade, visto que muitos impactos interferem na própria qualidade de vida da população, além de graves interferências na dinâmica natural do ambiente.

Sabe-se que desde seu primórdio o homem retira da natureza suas principais fontes de sobrevivência, tais como moradia e alimentação. Com o passar do tempo, o avanço da ciência e da tecnologia fez com que novas exigências surgissem, aumentando de forma significativa os impactos negativos na natureza.

Várias atividades de assentamentos exercem influências sobre o meio natural: transformação das áreas naturais em superfície pavimentada, tais como as ruas, perturbando assim o estado de equilíbrio do sistema geomorfológico local; uso extensivo de materiais de construção; uso extensivo de fontes de águas locais e importadas, alterando o equilíbrio hidrológico e hidrográfico do ambiente; criação de um sistema de drenagem por meio de canais; construção de estradas; construção de ambientes para atividades de lazer – parques, piscinas, etc (Nir, 1983, p. 113, tradução própria).

Dessa forma, nota-se que o “avanço tecnológico e o aprimoramento das técnicas de engenharia têm contribuído sobremaneira para a transformação da natureza e a criação de paisagens artificiais para atender aos interesses da sociedade moderna [...]” (Souza; Pereira, 2015, p. 34-35).

Com isso, problemas advindos do uso inadequado das terras passam a ser recorrentes, sendo um dos mais significativos a aceleração da erosão. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990) a erosão constitui-se na realização de uma quantidade de trabalho no desprendimento do material do solo e no seu transporte, que pode ser de forma natural, realizada apenas pelos agentes externos naturais como o clima, ou de forma acelerada, isto é, pela intervenção humana no meio ambiente, que ocorre devido à ocupação indiscriminada das encostas, resultando na produção de material passível de ser transportado (Pedro; Lorandi, 2004).

Apesar das inúmeras consequências causadas pelo gerenciamento inadequado das terras que resultam na erosão do solo, observa-se uma falta de estudos científicos relacionados ao tema. De acordo com Garcia Ruiz *et al* (2013), a Europa e a América do Norte concentram parte das pesquisas relacionadas a

perdas de solo, em contraposição à América do Sul, que apresenta uma escassez de dados, sendo que boa parte são inadequados, pois utilizam-se de modelos preditivos calibrados para regiões e escalas diferentes, tornando essas avaliações incertas.

No Brasil, alguns estudos apontam para a intensa erosão do solo causada tanto pelo uso das monoculturas, como a cana-de-açúcar, como pela presença das pastagens. Bastos, Maniesi e Gomes (2015, p. 280) verificaram que um grande número de propriedades rurais que trabalham com a bovinocultura na região sudoeste da Amazônia não possui água para o gado, devido ao intenso assoreamento dos mananciais, resultado da degradação e remobilização do solo pela pastagem.

Quanto aos estudos relacionados à cana de açúcar no Brasil, Corrêa (2016) aponta que o país tem disparado como um dos líderes mundiais na exportação do produto, e como efeito observa-se uma mudança nos atributos físico-químicos do solo, devido ao seu uso inadequado, evidenciado pela alteração das taxas de infiltração, da resistência a penetração de raízes e pela perda da matéria orgânica no solo.

Por sua vez, Garcia *et. al* (2006), aponta que na bacia do rio Corumbataí (SP), ao analisar o potencial de erosão do solo verificava-se um equilíbrio relativo, tendo em vista que as coberturas vegetais se demonstravam pouco agressivas ao solo. No entanto, a partir do ano de 2000, tal cenário muda significativamente, já que a cana de açúcar tem avançado, saltando de uma área equivalente a 5% em 1990 para 25% em 2000.

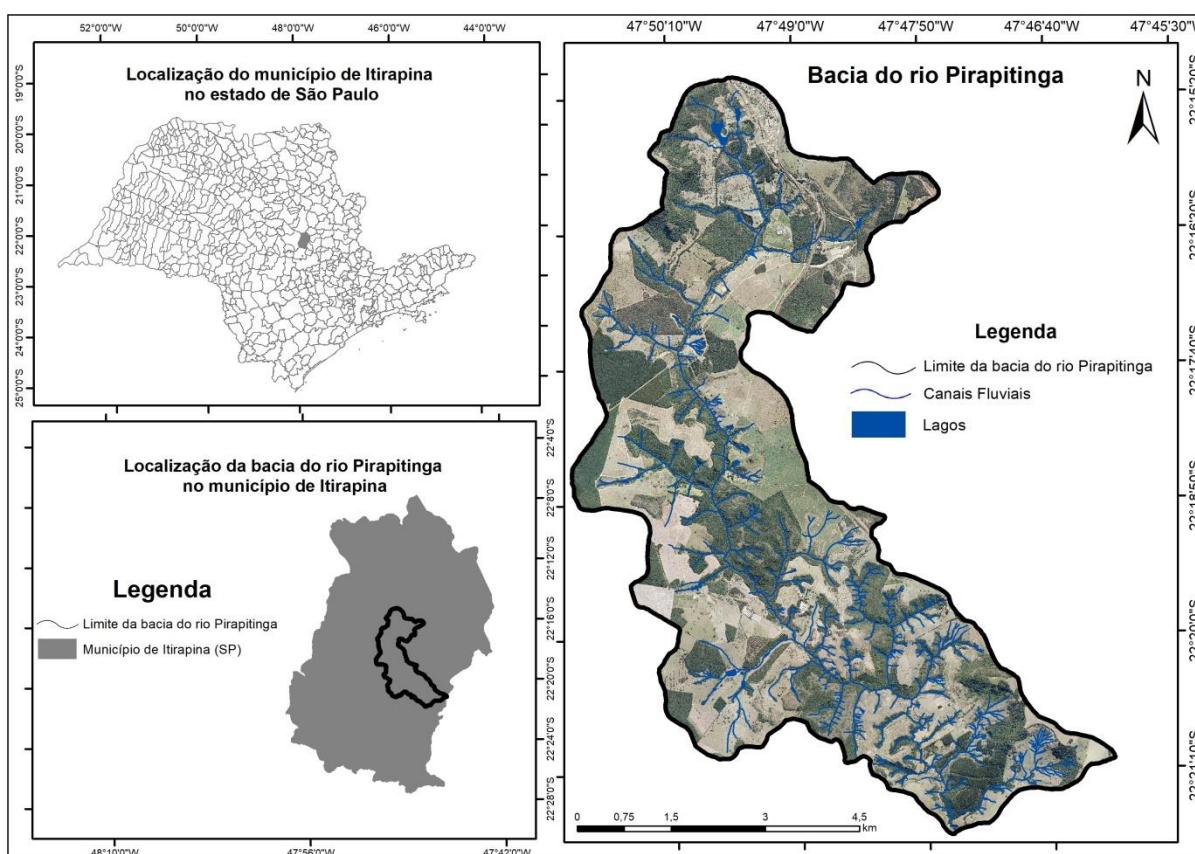
Para Lima e Ranzini (1986), em meados dos anos de 1980, a bacia do rio Passa Cinco já apresentava uma crescente expansão de plantios comerciais de eucaliptos, ou seja, atividades de silvicultura, principalmente próximo ao município de Itirapina, além de uma forte presença de cana-de-açúcar na porção sul da bacia, evidenciando uma ampla intervenção antrópica na área.

Já nos estudos mais recentes, Bonzanini, Lupinacci e Stefanuto (2023), evidenciam que nos setores de nascentes do rio Cabeça, localizados no município de Itirapina e Corumbataí, no interior do estado de São Paulo, ocorre o predomínio das áreas de pasto e cana de açúcar e as feições erosivas lineares se concentram principalmente sobre as pastagens.

Isto posto, enfatiza-se que o uso impróprio da terra proporciona a ocorrência da erosão, porém esse não é o único fator que deve ser analisado. Segundo Morgan (2005), alguns ambientes, mesmo em condições naturais semelhantes, como níveis de chuva, declividade e cobertura vegetal, apresentam taxas distintas de perdas de solo, ressaltando que suas propriedades físicas denotam diferentes resistências frente aos processos erosivos, o qual deve ser considerado em toda análise.

Considerando essas premissas, o objetivo desta pesquisa é identificar o uso adequado das terras em área rural e degradada, por meio da análise das características naturais dos terrenos e das modificações causadas pela ação humana na bacia hidrográfica do rio Pirapitinga, localizada na porção centro-leste do estado de São Paulo, no município de Itirapina, como ilustrado na figura 1 a seguir:

Figura 1 – Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Diante da problemática apresentada, tal estudo se faz necessário devido ao fato da área de estudo já se encontrar em diferentes estágios de degradação do solo, sendo de suma importância propor seu uso correto, analisando de forma conjunta as variáveis naturais e antrópicas, no intuito de diminuir a perda do solo e

consequentemente impactos que possam interferir diretamente na qualidade local do meio ambiente.

A partir do objetivo principal, de identificar o uso adequado das terras em área rural e degradada a partir da dinâmica natural dos terrenos e das mudanças antrópicas na bacia hidrográfica do rio Pirapitinga, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Reconhecer a estrutura morfológica da área de estudo, localizando as feições do relevo e suas modificações do ano de 1988 para o de 2010, apontando as áreas em que se constataram consideráveis alterações.

- Analisar a morfometria do relevo, compreendendo suas restrições quanto ao uso da terra e possíveis processos morfodinâmicos que podem ocorrer, possibilitando um maior entendimento da área de estudo.

- Identificar as Áreas de Preservação Permanente, partindo do pressuposto que, por serem áreas legalmente protegidas, devem estar recobertas por vegetação nativa e, portanto, incluídas na análise final do uso adequado das terras.

- Correlacionar às informações sobre a morfometria e a morfologia do relevo, sobre as Áreas de Preservação Permanente e as características pedológicas da área, para apreender e apontar o melhor uso das terras neste setor rural.

Por fim, o presente trabalho, apresenta os seguintes capítulos além destes já vistos: Fundamentação Teórica, o qual apresenta os principais conceitos trabalhados, com foco na relação entre erosão e degradação da terra; Caracterização da área de estudo, que visa apresentar as características físicas da bacia do rio Pirapitinga; Materiais e Métodos, o qual aborda os procedimentos técnicos e ferramentas utilizadas para a elaboração das cartas; Resultado e Discussões, que busca analisar e comparar os dados coletados a partir da elaboração das cartas e Considerações Finais, com reflexões acerca das técnicas utilizadas e dos resultados alcançados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo destina-se a revisão teórica e metodológica desta pesquisa. Inicialmente realizou-se uma análise dos princípios da Antropogeomorfologia, enfatizando-se a importância de compreender o ser humano como um agente modelador do relevo. Posteriormente, apresentam-se as questões relacionadas aos processos erosivos e suas variadas dinâmicas. Por fim, abordaram-se algumas das diferentes propostas metodológicas para a gestão equilibrada das atividades antrópicas, justificando o uso da abordagem adotada nesta pesquisa.

2.1 Uso dinâmico e a Antropogeomorfologia

Ao considerar a influência significativa do ser humano nas modificações do relevo, nesta pesquisa foram utilizados os princípios da Antropogeomorfologia, que nos permitem compreender de forma aprofundada as interações complexas entre as atividades humanas e a configuração geomorfológica da região de estudo.

Assim, a Antropogeomorfologia é o campo da ciência geomorfológica que compreende o homem como um agente modelador do relevo, isto é, capaz de alterar a dinâmica natural e exercer um papel significativo em sua esculturação (Nir, 1983). Tal abordagem é relativamente recente, o que tem impellido a Geomorfologia e, por conseguinte, os geomorfólogos, a buscarem novas interpretações e a reestruturarem suas bases científicas (Paschoal; Cunha; Conceição, 2012; Rodrigues *et al.*, 2019; Simon, 2010; Suertegaray, 2018; Tricart, 1965). Ainda, o campo da Antropogeomorfologia é denominado por muitos de Geomorfologia antrópica ou Geomorfologia Antropogênica (Goudie, 1981; Nir, 1983; Rodrigues, 2005).

Segundo Nir (1983) e Goudie (1981), a concepção de que o ser humano exerce um papel fundamental na natureza, sendo este um fator e não meramente um sujeito do meio, surge nas ideias apresentadas por George Perks Marsh em sua obra de 1864, intitulada “*Man and Nature*”, mas para Nir (1983) tal obra tinha como principal interesse a compreensão do “[...] impacto biológico da influência do homem, sendo o aspecto geomorfológico secundário [...]” (Nir, 1983, p.4, tradução própria).

Posteriormente, em 1901 o cientista Woeikof publica seu artigo “*De l’influence de l’homme sur la nature*”, introduzindo a questão do impacto pela derrubada de florestas e pela formação de metrópoles urbanas (Goudie; Viles, 2016; Nir, 1983), e Sherlock (1922, *apud* Nir, 1983) em seu livro “*Man as a Geological Agent*” questiona as diversas atividades antrópicas, bem como apresenta estatísticas para os volumes de material extraído ou removido devido às suas ações, o que configura seu trabalho como um grande avanço no estudo do homem como um agente geomorfológico.

Dessa forma, diversos autores se empenharam na construção de uma temática antrópica e geomorfológica integrada, mas foi na obra de Nir (1983) que a Antropogeomorfologia ganha destaque. Em seu livro “*Man, a geomorphological agent*”, torna-se evidente as particularidades das ações humanas em diferentes ambientes, tais como as áreas rurais, urbanas, de mineração e florestais.

Além disso, Nir (1983) busca compreender e analisar de forma metodológica as interações complexas entre o homem e a natureza, avaliando os impactos das atividades na configuração do relevo. (Paschoal; Simon; Cunha, 2015; Rodrigues *et al.*, 2019; Simon, 2010; Souza; Pereira, 2015; Stefanuto, 2019). Assim, o diferencial de sua obra se deve ao fato de apresentar “[...] um roteiro metodológico de análise destas intervenções, que considera a dinâmica do sistema socioeconômico e a veiculação das alterações morfológicas em uma escala de tempo histórica” (Paschoal; Simon; Cunha, 2015; Souza; Pereira, 2015).

Com isso, a interferência humana passa a ser cada vez mais objeto de estudo para compreender a dinâmica geomorfológica do relevo. Nesse sentido, Brown (1971) em seu trabalho intitulado “*O homem modela a terra*”, as classifica em ação humana direta proposital e ação humana direta incidental. Na primeira, o homem age de forma intencional, isto é, com ações que claramente modificam o relevo, como a mineração, construção de estradas, retificação, canalização de cursos fluviais e construções de pontes e dutos. Já na ação direta incidental, observam-se reações secundárias às atividades antrópicas, como por exemplo, a ocorrência de sulcos erosivos posterior à instalação de linhas ferroviárias, ou seja, processos geomorfológicos denudativos advindos do uso e ocupação da terra (Brown, 1971; Nir, 1983; Simon, 2010; Souza; Pereira, 2015; Rodrigues, 2005; Suertegaray; Nunes, 2001).

Dessa forma, a noção de interferência humana, tanto direta quanto indireta, associada à Antropogeomorfologia, impulsionou uma reorganização dos estudos científicos sobre a morfodinâmica, entendendo que podem originar processos erosivos e de degradação ambiental que oferecem riscos a manutenção e continuidade das atividades socioeconômicas. (Paschoal; Simon; Cunha, 2015).

Uma das questões de suma importância para análise científica reside no momento em que o ser humano emergiu como agente modelador do relevo. Casseti (2005) destaca a necessidade de considerar as modificações promovidas pela atividade humana desde a Revolução Neolítica até os tempos contemporâneos, visto que tais transformações influenciaram a intensidade e frequência dos processos, resultando em impactos significativos no meio físico.

De acordo com Goudie (1981), o impacto do ser humano sobre o relevo tem se intensificado progressivamente, sendo particularmente significativo na fase denominada como “*Civilizações industriais e urbanas modernas*” (Goudie, 1981, tradução própria). Nesse contexto, as cidades desempenham um papel de influência marcante no meio ambiente, uma vez que as transformações tecnológicas e culturais impulsionam uma crescente utilização de recursos, resultando em uma ampla variedade de formas pelas quais os seres humanos afetam a natureza. Além disso, os avanços significativos da medicina moderna resultaram em um rápido crescimento populacional, intensificando a utilização e alteração dos espaços. (Goudie, 1981; Guerra; Marçal, 2015).

Por sua vez, o crescimento populacional tem gerado uma maior demanda por recursos naturais, promovendo uma intensificação da exploração do solo para atender às necessidades humanas de alimento, abrigo e outros serviços. Para Drew (2005) essa exploração não tem considerado o equilíbrio dinâmico, acarretando em impactos significativos, isto é, “os solos vivem em equilíbrio dinâmico com os fatores que determinam suas características: o clima, os materiais de origem, a topografia, a biota e o tempo [...]” (Drew, 2005, p. 45), e qualquer alteração em uma dessas variáveis o afetará, e a resposta a uma mudança ambiental específica pode variar entre diferentes solos devido a sua sensibilidade individual, bem como retardar ou acelerar processos geomorfológicos (Brown, 1971; Drew, 2005; Nir, 1983).

No Brasil, um importante estudo sobre a necessidade de compreender as alterações antrópicas no relevo é o realizado por Rodrigues (2005). A autora aponta que a Antropogeomorfologia possui uma diferença fundamental em sua abordagem, já que considera a “[...] interferência antrópica como ação geomorfológica, ação essa que pode modificar propriedades e localização dos materiais superficiais, interferir em vetores, taxas e balanços dos processos e gerar, de forma direta e indireta, outra morfologia” (Rodrigues, 2005, p. 101). Além disso, em seus estudos (Rodrigues 1997, 2001, 2004) aborda a aplicação de uma cartografia geomorfológica evolutiva para analisar as interferências humanas locais, com base em uma nova etapa decorrente das ideias propostas por Nir (1983).

Assim, Rodrigues (2005) destaca que a cartografia geomorfológica evolutiva faz uso tanto da morfologia original como da morfologia antropogênica, permitindo dimensionar os impactos provocados pelo homem. A morfologia original abrange atributos como declividade e rupturas, que não sofreram alterações significativas por intervenções humanas, enquanto que a morfologia antropogênica é caracterizada por modificações expressivas.

Portanto, a análise conjunta das características geomorfológicas e das intervenções humanas são essenciais para compreender os impactos e os processos do relevo. Essas avaliações possibilitam uma análise aprofundada de sua dinâmica natural, bem como identificam os riscos relacionados ao uso da terra, essenciais para o desenvolvimento deste presente trabalho.

2.2 Erosão dos solos: formas e processos

A partir da compreensão do homem como um agente modelador do relevo, outra questão de suma importância refere-se aos processos erosivos do solo, que há muito vem sendo discutido por cientistas de diversas áreas, como a geomorfologia, geologia e pedologia (Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Drew, 2005; Guerra, 2016; Guerra; Cunha, 2008; Guerra; Jorge, 2013; Goudie, 1981; Lal, 1990; Morgan, 1942; Teixeira *et al*, 2007).

Para Lal (1990), a erosão pode ser compreendida como a remoção física da camada superficial do solo, isto é, refere-se “[...] a quantidade bruta de material desalojado por gotas de chuva, escoamento superficial, vento, gelo ou gravidade

[...]” (Lal, 1990, p. 4, tradução própria). Nesse sentido, Bertoni e Lombardi Neto (2012) ressaltam que a erosão é o processo de desprendimento e arraste do material desagregado do solo, tanto pela ação da água como pela ação do vento.

Por sua vez, para alguns autores como Guerra e Cunha (2008) e Morgan (1942) esse processo pode ocorrer em fases distintas. A primeira consiste na remoção de partículas, a segunda em seu transporte para áreas adjacentes, e a terceira ocorre quando não há energia suficiente para prosseguir o transporte do material, resultando em um depósito local. Ainda, Guerra e Cunha (2008, p. 165) evidenciam que a “[...] erosão ocorre a partir do momento em que as forças que removem e transportam materiais excedem aquelas que tendem a resistir à remoção [...]”.

A erosão é um processo de denudação do solo que ocorre desde tempos remotos, antes mesmo da existência do homem. Denominada de erosão geológica ou erosão natural, representa um processo inevitável de modificação da crosta terrestre, vinculada às condições naturais do meio, como a ação do vento e da chuva (Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Blanco; Lal, 2008; Goudie, 1981, Lal, 1990). Além disso, nem sempre afeta adversamente o solo, já que contribui para a formação de vertentes, planícies e vales férteis, bem como a formação de materiais aluviais e rochas sedimentares.

De fato, alguns dos vales mais férteis do mundo resultam dessa lenta e natural erosão, por exemplo, o Vale do Nilo no Egito e o Vale do Cauca na Colômbia. Esses vales férteis foram o berço de algumas das civilizações mais antigas e os solos foram desenvolvidos pela erosão geológica que ocorre há milhões de anos ao longo da bacia hidrográfica que alimenta os principais sistemas fluviais (Goudie, 1981, p. 7, tradução própria).

Contudo, o grande dilema surge no momento em que o homem, diante de suas ações, passa a impactar o balanço natural denudativo, promovendo o que alguns autores chamam de erosão acelerada (Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Blanco; Lal, 2008; Goudie, 1981; Lal, 1990). Dessa forma,

O homem, ao explorar o solo, destrói a vegetação protetora, rompe com o arado a superfície do terreno para semear as espécies vegetais úteis às suas necessidades de alimentação e abrigo, e submete a terra à aração periódicas com as ferramentas de preparo do solo; então, o processo erosivo adquire velocidade e intensidade (Bertoni; Lombardi Neto, 2012, p. 78).

Assim, os desafios associados à erosão ocorrem quando as taxas de perda de solos ultrapassam níveis naturais, geralmente devido às alterações provocadas pelas ações antrópicas.

Para Wild (1993, *apud* Guerra; Jorge, 2013), o crescimento populacional demanda áreas maiores para a agricultura e criação de animais, resultando no desmatamento de extensas regiões. Consequentemente, o autor destaca que as principais causas da erosão são as atividades como o desmatamento, que deixam os solos expostos; a agricultura e a pecuária sem práticas conservacionistas; trilhas abertas por animais e seres humanos que compactam o solo; construções de rodovias sem medidas adequadas, ocasionando o aumento do escoamento superficial, e a mineração, que deixa os solos desprotegidos.

Ademais, as consequências advindas dessas atividades são variadas, incluindo a remoção de nutrientes do solo, especialmente do Horizonte A, resultando na redução de sua fertilidade natural, bem como na dificuldade de penetração das raízes e da capacidade de armazenamento de água em suas estruturas, além do agravamento no processo de assoreamento de rios. (Blanco; Lal, 2008; Lal, 1990).

Outra questão posta por alguns autores são os fatores controladores que determinam as diferentes taxas de erosão, isto é, sua magnitude, que conforme a intensidade faz com que certas áreas sejam mais suscetíveis em relação a outras (Guerra; Cunha, 2008; Lal, 1990; Morgan, 1942).

De acordo com Blanco e Lal (2008), um dos fatores contribuintes para a erosão é a precipitação, a qual foi denominada de erosão hídrica, frequentemente observada em áreas tropicais úmidas e semiúmidas. Essa forma de erosão pode se manifestar de diversas maneiras, tais como erosão por salpicamento (*splash erosion*), erosão em lençol (*sheet erosion*), erosão em sulcos (*rill erosion*) e voçorocamentos (*gully erosion*).

Erosão por salpicamento, também chamada de *splash erosion*, ocorre a partir do impacto das gotas de chuva sobre o solo, o que provoca a remobilização do material da superfície, fenômeno que marca o início do processo denudativo causado pelos agentes hidrológicos. (Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Guerra, 2016; Guerra; Cunha, 2008; Lepsch, 2002; Torres; Marques Neto; Menezes, 2012).

Segundo Lepsch (2002), as gotas de chuva, ao colidirem com o terreno desnudo, isto é, o qual passou pelo processo de retirada ou diminuição de sua vegetação natural, rompem os agregados, reduzindo-os em partículas menores, que saltam para as áreas adjacentes ou são arrastados pela força das enxurradas. Tal fenômeno varia diante da resistência do solo ao impacto e energia cinética das gotas de chuva (Torres; Marques Neto; Menezes, 2012), bem como gera uma compactação do solo, perda ou diminuição da sua capacidade de infiltração (Bertoni; Lombardi Neto, 2012).

Posteriormente, ocorre à formação da erosão em lençol (*sheet erosion*), isso porque a água passa a ocupar as irregularidades deixadas pelo estágio anterior, iniciando um processo de escoamento superficial difuso, em lençol, promovendo a erosão. Por sua vez, o “[...] fluxo não é suficiente para transportar partículas, mas, à medida que aumenta e acelera, encosta abaixo, ocorre o cisalhamento das partículas do solo e, finalmente a erosão começa a ocorrer [...]” (Horton, 1945 *apud* Torres; Marques Neto; Menezes, 2012, p. 83), iniciando assim a erosão laminar.

Nesse sentido, à medida que o fluxo d’água passa a concentrar em lugares específicos, devido à microdepressões em superfície, evoluem para um escoamento concentrado, em linhas, conforme a direção da declividade do relevo, processo esse chamado de sulcos erosivos (*rill erosion*) (Blanco; Lal, 2008; Cunha; Guerra, 2008; Lepsch, 2002). Além disso, “[...] os sulcos podem ser desfeitos com as operações normais de preparo do solo [...]” (Bertoni; Lombardi Neto, 2012, p. 77). Porém, no momento em que o preparo do solo não é suficiente para a obliteração dos sulcos erosivos, tais feições passam a ser denominadas de ravinas (Lepsch, 2002).

Quanto às voçorocas (*gully erosion*) Guerra e Cunha (2008), destacam que:

O alargamento das ravinas, causado pelo escoamento superficial e subsuperficial, dá origem às voçorocas. Quando o solo está erodido por voçorocas, as máquinas agrícolas não têm condições de obliterar essas formas erosivas. As voçorocas são mais largas e mais profundas do que as ravinas e, em geral, se constituem em características permanentes nas encostas (Guerra; Cunha, 2008, p. 179).

Nesse ponto, vale ressaltar que o conceito acerca das voçorocas não é um consenso entre as variadas bibliografias (Blanco; Lal, 2008; Guerra; Cunha, 2008; Lepsch, 2002; Torres; Marques Neto; Menezes, 2012).

Dessa forma, de acordo com Torres, Marques Neto e Menezes (2012), no momento em que as ravinas aprofundam ao ponto de encontrarem o lençol freático, ocorre uma mudança significativa na dinâmica interna da feição erosiva, transformando-as em voçorocas. Ressalta-se nesse ponto, que essa classificação foi adotada como base neste presente trabalho.

Ainda nesse contexto, ao examinar as feições erosivas do relevo, é fundamental destacar a sensibilidade ou erodibilidade do solo, isto é, “[...] o momento em que os fatores detonadores, em associação com a gravidade, podem superar a resistência dos solos aos processos erosivos” (Evans, 1993 *apud* Guerra; Jorge, 2013, p. 12). A sensibilidade é alta quando os limites detonadores a serem ultrapassados são baixos, e a erosão ocorre com frequência, e, por outro lado, é baixa quando é necessária uma força de alta magnitude para provocar os processos denudativos, taxas essas que variam conforme as características físicas e químicas do solo.

Quanto aos dados quantitativos da erosão no mundo, Guerra (2016) revela que 80% dos solos agrícolas estão passando por algum tipo de processo denudativo. O estudo destaca que, na África, Ásia e América do Sul, em média, os solos são formados a uma taxa de uma tonelada, por hectare, por ano, e, no entanto, a perda de solo devido a processos erosivos ultrapassa 30 toneladas por hectare por ano. Esse cenário sugere um sério problema socioambiental a longo prazo, uma vez que a perda de solo é superior a sua taxa de formação.

Com base nas pesquisas sobre o Brasil, Lepsch (2002) aponta a notável presença de um extenso rastro de erosão acelerada, isto é, advinda das modificações antrópicas realizadas no meio.

Valendo-se da abundância de terras para explorar, a agricultura brasileira caminha descuidadamente rumo ao Oeste e ao Norte, em busca de novas terras, e deixa em seu roteiro sinais do depauperamento pela erosão. Um dos exemplos deste tipo de agricultura foi a do café, que caminhou sempre em busca de terras virgens, começando nos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e no oeste do Paraná. Muitos solos foram assim empobrecidos, vários dos quais até hoje não foram recuperados, como os das regiões montanhosas do vale do Paraíba. (Lepsch, 2002, p. 151).

Assim, a compreensão dos processos erosivos, bem como a análise de sua magnitude territorial é de suma importância, visto que sua intensificação tornou-se uma preocupação crescente.

Portanto, a revisão bibliográfica realizada permite compreender os processos erosivos do solo e sua relação com as atividades humanas, permitindo identificar alguns dos impactos mais recorrentes no relevo. Além disso, compreender a sensibilidade aos fatores erosivos torna-se essencial para implementar ações preventivas, visando proteger o meio ambiente e garantir a sustentabilidade dos recursos naturais para as futuras gerações.

2.3 Propostas metodológicas para a gestão do uso das terras

Diante dos processos de degradação ambiental causados pela ação humana, torna-se imprescindível o planejamento adequado do espaço, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais e promover a conservação do solo. Além disso, promover o uso racional dos recursos naturais passou a ser também uma maneira de assegurar sua qualidade para as gerações futuras (Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Flauzino *et al*, 2016; Guerra; Cunha, 2008; Guerra; Jorge, 2013; Guerra; Marçal, 2015; Lepsch, 1983, 2002; Ross, 1995; Zanatta, 2018).

Para Flauzino *et al* (2016), o planejamento racional do uso da terra deve compreender as dinâmicas naturais do solo, bem como as limitações quanto ao clima e ao relevo, garantindo dessa forma, o controle da erosão, a proteção agrícola e a proteção da biodiversidade. Segundo o autor, existem vários estudos e teorias acerca da ocupação racional e equilibrada do meio físico, mas destaca-se o “[...] Sistema de Capacidade de Uso da Terra, desenvolvido, originalmente, por Klingebiel e Montgomery (1961) para o Serviço de Conservação do Solo dos EUA e, adaptado para as condições brasileiras por Lepsch (1983)” (Flauzino *et al.*, 2016, p. 278).

Com isso, para Lepsch (1983) o Sistema de Capacidade de Uso da Terra é uma classificação puramente técnica do solo, visando compreendê-lo nas suas diversas características e propriedades, sem considerar sua localização ou mesmo seu impacto socioeconômico sobre o meio, isto é, uma análise focada nas características naturais e ambientais, não considerando seu caráter social. Ainda, destaca que,

Na classificação da capacidade de uso da terra, há maior interesse em considerar grupos de características e de propriedades do que considera-las isoladamente. Isso porque cada classe de terra é, usualmente, distinguida das demais por grande número de características e propriedades, sem que, de per si, nenhuma destas seja obrigatoriamente significativa. Mesmo as diferenças em características e propriedades que, a uma simples inspeção, possam parecer obscuras, podem ser realmente da maior importância, em razão das inferências que delas se possa deduzir. (Lepsch, 1983, p. 18)

Além disso, o sistema fundamenta-se nas restrições do solo para diversos fins e intensidades, visando identificar as combinações viáveis de uso agrícola e medidas de controle à erosão que permitam uma exploração intensiva da terra sem comprometer a sua qualidade ou mesmo promover riscos de depauperamento do solo (Lepsch, 1983).

Para Hudson (1971 *apud* Lepsch, 1983) o Sistema de Capacidade de Uso da Terra não deve ser aplicado de forma universal, uma vez que cada país ou região fisiográfica possui suas particularidades, como variações nos solos, clima e usos típicos. Dessa forma, torna-se essencial considerar e analisar as características locais e individuais para determinar a capacidade de uso da terra. Nesse contexto, a obra de Lepsch (1983) ganha relevância, pois apresenta um estudo específico sobre as características físicas naturais do Brasil.

Nessa premissa, Ramalho Filho, Pereira e Beek (1978), no trabalho intitulado “*Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras*”, propõe uma metodologia diferenciada que visa orientar o uso das terras, atendendo a uma relação custo/benefício favorável para quem a utiliza. Dessa forma, a metodologia apresentada:

Admite seis grupos de aptidão, para avaliar as condições agrícolas de cada unidade de mapeamento de solo, não só para lavouras, como para pastagem plantada e natural, e silvicultura, devendo as áreas inaptas, ser indicada para preservação da flora e da fauna. Em outras palavras, as terras consideradas inaptas para lavouras, no sistema que lhe serviu de base, são analisadas de acordo com os fatores básicos limitantes, e classificadas, segundo sua aptidão, para usos menos intensivos.

As melhores terras são indicadas basicamente, para culturas de ciclo curto, ficando implícito que com esta aptidão elas o são também para culturas de ciclo longo (Ramalho Filho; Pereira; Beek, 1978, p.6).

Outro trabalho relevante é o apresentado por Ross (1994), o qual enfatiza que a fragilidade dos ambientes naturais aumenta gradualmente com a intervenção humana, porém, essa fragilidade é influenciada pelas características genéticas específicas de cada região analisada. Nesse sentido, o autor sugere uma análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, utilizando a teoria dos sistemas, conforme proposta por Tricart (1977, *apud* Ross, 1994), através da denominação de Unidades Ecodinâmicas.

Para Tricart (1977), as Unidades Ecodinâmicas representam unidades territoriais caracterizadas por processos e interações dinâmicas entre os elementos naturais e antrópicos. Essas unidades são definidas com base na análise dos componentes físicos, biológicos e humanos no ambiente, considerando suas inter-relações e a dinâmica de funcionamento ao longo do tempo. O conceito de Unidades Ecodinâmicas busca compreender a complexidade dos sistemas ambientais, fornecendo uma visão abrangente para o estudo das interações entre os fatores naturais e as ações humanas que moldam as paisagens.

Assim, na proposta de Ross (1994) as Unidades Ecodinâmicas podem ser divididas em duas categorias, as estáveis e as instáveis. A primeira são as que “[...] estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se portanto, em seu estado natural [...]” enquanto que as instáveis “[...] foram definidas como sendo aquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas [...]” (Ross, 1994, p. 66). Dito isso, para o autor o uso das terras deve considerar a fragilidade potencial dos ambientes, analisando os fatores naturais condicionantes, para então chegar a um diagnóstico efetivo.

No trabalho proposto por Rodriguez *et al.* (2004), a delimitação de unidades de paisagem é fundamentada na concepção de geossistema. Assim, as paisagens são compreendidas como sistemas complexos e dinâmicos formados por interações entre os componentes físicos, biológicos e antrópicos do ambiente.

Além disso, a análise ambiental baseada na visão geossistêmica busca identificar os diferentes elementos e processos presentes nas paisagens, bem como suas inter-relações e dinâmicas ao longo do tempo. Dessa forma, a delimitação de unidades de paisagem ocorre por meio da identificação de características e padrões

específicos que permite agrupar áreas com similaridades ecológicas, essenciais para compreender a complexidade dos ambientes, fornecendo subsídios para a gestão e conservação dos recursos naturais (Rodriguez *et al.*, 2004).

A partir dessa análise, Rodriguez *et al.* (2004) em seu trabalho “*Geoecologia da Paisagem*” propõe uma delimitação de unidades de paisagem, de acordo com suas características e dinâmicas naturais, bem como das suas diferentes interações, inclusive antrópicas, compreendendo que a “atividade humana geralmente está associada de forma direta com as unidades locais da paisagem, servindo de base para a exploração dos recursos como meio de subsistência para as atividades da população” (Rodriguez *et al.*, 2004, p. 84). Assim, para a identificação das unidades da paisagem, torna-se essencial o levantamento de diversos dados, dentre estes os pedológicos, de litologia, declividade, cobertura natural e atividade humana.

Com isso, compreender as unidades de paisagem permite repensar o planejamento ambiental, que não deve ocorrer apenas considerando-se as estruturas naturais do meio, mas também as necessidades humanas, permitindo encontrar “[...] um equilíbrio entre o potencial natural das paisagens e a sociedade [...]”, compreendendo que “[...] a noção de recurso é função não só das estruturas físicas, mas também socioeconômicas e culturais [...]” (Rodriguez *et al.*, 2004, p. 277).

Neste contexto, a proposta de uso adequado das terras em áreas rurais e degradadas apresentada por Zanatta (2018) é de extrema importância, uma vez que integra as abordagens de Lepsch (1983) e Rodriguez (2004) em sua análise. O autor considera essas metodologias como complementares, permitindo uma visão abrangente do meio natural antropizado, possibilitando uma análise objetiva na determinação do uso adequado das terras para diferentes localidades.

Zanatta (2018) elaborou duas propostas diferentes para a identificação do uso adequado das terras em ambientes rurais e degradados, nomeadas como “Proposta Ideal” e “Proposta Viável”. A primeira utiliza a combinação dos elementos: compartimentos do relevo; litologia; características pedológicas; formas erosivas em ravinas e voçorocas; efeito de borda das feições erosivas na bacia de captação de áreas atingidas por voçorocamento; energia do relevo e Áreas de Preservação Permanente; enquanto, na segunda, a variável energia do relevo, que exige a

elaboração de cartas de dissecação horizontal e vertical, foi substituída pela de declividade. Tal proposta busca produzir mapeamentos e consequentemente documentos cartográficos que possibilitem propor a gestão adequada de terrenos já afetados por usos antrópicos, os quais possibilitaram a ocorrência de processos denudativos (Zanatta, 2018; Zanatta; Lupinacci, 2023).

Por fim, este presente trabalho fundamenta-se nas propostas de Zanatta (2018) para propor o uso adequado das terras em áreas rurais e degradadas, que permitem uma análise abrangente do impacto no meio natural pelas ações antrópicas, possibilitando determinar padrões de uso para diferentes localidades, considerando suas particularidades.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Pirapitinga abrange uma extensão territorial de 43,44 km², sendo um afluente do rio Passa Cinco. Nesse contexto, localiza-se no município de Itirapina, interior do Estado de São Paulo, conforme ilustrado anteriormente na Figura 1.

Em um contexto mais amplo, a área de estudo encontra-se sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, que abrange uma grande parte do estado de São Paulo, e, portanto, é fundamental sua compreensão.

De acordo com Milani, Souza e Mello (2007), essa bacia engloba uma extensa região sedimentar do continente sul-americano, que inclui porções territoriais do Brasil Meridional, bem como o “[...] Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima dos 1,5 milhões de quilômetros quadrados” [...] (Milani; Souza; Mello, 2007, p. 265).

Por sua vez, é assim chamada devido ao rio Paraná correr paralelamente ao eixo maior da bacia, na direção NNE-SSW, por aproximadamente 1500 quilômetros até o momento em que altera sua direção para Leste-Oeste, formando a fronteira entre o Paraguai e a Argentina, isto é, a Bacia Chaco-Paraná (Maack, 1952 *apud* Montovani; Zalán, 1999, p. 217).

Quanto ao seu formato, Torres, Marques Neto e Menezes (2012) apontam que:

A Bacia do Paraná possui formato alongado na região NNE-SSO em 1750 km de comprimento e 900 km de largura, sendo 2/3 de sua porção brasileira cobertos por lavas basálticas que chegam a atingir 1700 metros de espessura, o que somado aos sedimentos existentes resultam em espessura de até 8000 metros de distância entre a superfície e o centro geotérmico da bacia. Sua deposição deve ter se dado em pelo menos três ambientes tectônicos vinculados à dinâmica geotectônica vigente na evolução do Gondwana, mediante cinco sequências deposicionais (Siluriana, Devoniana, Permocarbonífera, Triássica e Jurocretácea). (Torres; Marques Neto; Menezes, 2012, p.256)

Ainda, enfatizam a presença de uma linha de *cuestas* basálticas, posicionadas nas bordas das depressões periféricas anteplanálticas, e “no estado de São Paulo os relevos cuestiformes apresentam *front* voltado para o Planalto

Atlântico precedido pela Depressão Periférica Paulista, extremidade oriental dos terrenos sedimentares da Bacia do Paraná” (Torres; Marques Neto; Menezes, 2012, p. 256).

Segundo Montovani e Zalán (1999) essas características citadas a configuram como uma bacia intratônica, apresentando uma combinação de rochas sedimentares e vulcânicas em sua acumulação. Seu embasamento é composto por rochas ígneas e metamórficas, conferindo-lhe características distintas: erosão em algumas regiões e resistência em outras.

Por sua vez, o estudo da Bacia Sedimentar do Paraná tem sido objeto de análise de diversos autores, bem como sua subdivisão quanto ao estado de São Paulo em províncias geomorfológicas.

Assim, Almeida (1974) destaca um importante marco na geomorfologia paulista estabelecido nos trabalhos pioneiros de Moraes Rego e Deffontaines, em 1935, que identificaram três grandes províncias geomorfológicas: a Costeira, a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental. No entanto, foi em sua obra que uma nova divisão das províncias geomorfológicas do estado de São Paulo foi proposta, identificando o Planalto Atlântico, Província Costeira, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental. Dessa forma, este presente trabalho adotou a divisão proposta pelo autor como referência para seus estudos.

Em relação à bacia do rio Pirapitinga, essa área encontra-se na província geomorfológica denominada Depressão Periférica, em transição para a de Cuestas Basálticas, representando partes remanescentes dessa província, sendo de suma importância compreender a dinâmica natural de ambas.

A província geomorfológica da Depressão Periférica é caracterizada por uma brusca modificação na movimentação do relevo, isto quando comparada as províncias geomorfológicas adjacentes, já que o “[...] relevo mais montanhoso que caracteriza a área do Planalto Atlântico cede lugar na Depressão Periférica, a um relevo colinoso... que transgride seus limites e avança por sobre rochas graníticas e metamórficas” (IPT, 1981, p.57), além de que:

Essa área paleozóica, deprimida entre as escarpas mais avançadas da zona das *cuestas*, que delimitam a borda oriental dos derrames basálticos, com desníveis da ordem de 200 a 300 metros, e o

Planalto Cristalino Atlântico, é das unidades morfológicas mais características do estado de São Paulo. Sendo uma faixa de cerca de 450 quilômetros de comprimento de norte a sul e de aproximadamente 100 quilômetros de largura média, mais estreita ao norte... (Penteado, 1976, p.14)

Para Ab'Saber (1956), essa grande região surgiu devido a uma fase de circundesnudação que se estabeleceu no período após o Cretáceo.

O fato de a maior parte da grande bacia sedimentar sulina, principalmente em sua porção central, possuir entremeamentos de lavas, "sills" e lacólitos associados às formações sedimentares, facilitou extraordinariamente o processo de circundesnudação das áreas periféricas não possuidoras do arcabouço de rochas eruptivas básicas triássicas. Devido às singularidades do levantamento pós cretáceo, grandes cursos consequentes paralelos entalharam epigênicamente o pacote sedimentário, desde os velhos terrenos cristalinos até a calha central correspondente ao Paraná (Ab'Saber, 1956, p. 20).

Com isso, em virtude dessas variações litológicas, é possível observar na Depressão Periférica diferentes níveis de resistência aos processos de erosão, onde as camadas mais resistentes se destacam na configuração do relevo, resultando em variações de desníveis, "[...] da ordem de 20 a 50 metros e excepcionalmente superiores a 100 metros." (Penteado, 1976, p. 14), constituindo um relevo de vertentes dissimétricas.

No que se refere à drenagem da Depressão Periférica esta é densa, com rios principais que "[...] superimpuseram-se às estruturas paleozoicas e mesozoicas para romper a *cuesta* basáltica em boqueirões [...]" (Penteado, 1976, p. 14), como o Tietê, o Paranapanema, o Mogi Guaçu e o Pardo. Esses rios, de maior capacidade erosiva provocaram capturas de afluentes que passaram a percorrer as *cuestas*. Dessa forma, Almeida (1974) aponta que a Depressão Periférica Paulista pode ser dividida em três zonas: a do Médio Tietê, do Paranapanema e a do Mogi Guaçu.

Quanto a essa última divisão, a bacia do rio Pirapitinga localiza-se na zona do Médio Tietê, constituída em sua maioria por sedimentos com intrusões de rochas básicas, além de ser "[...] coberta por uma rede de drenagem bastante organizada, em que se destacam o Tietê e seus dois afluentes, o Piracicaba e o Sorocaba [...]" (IPT, 1981, p.58).

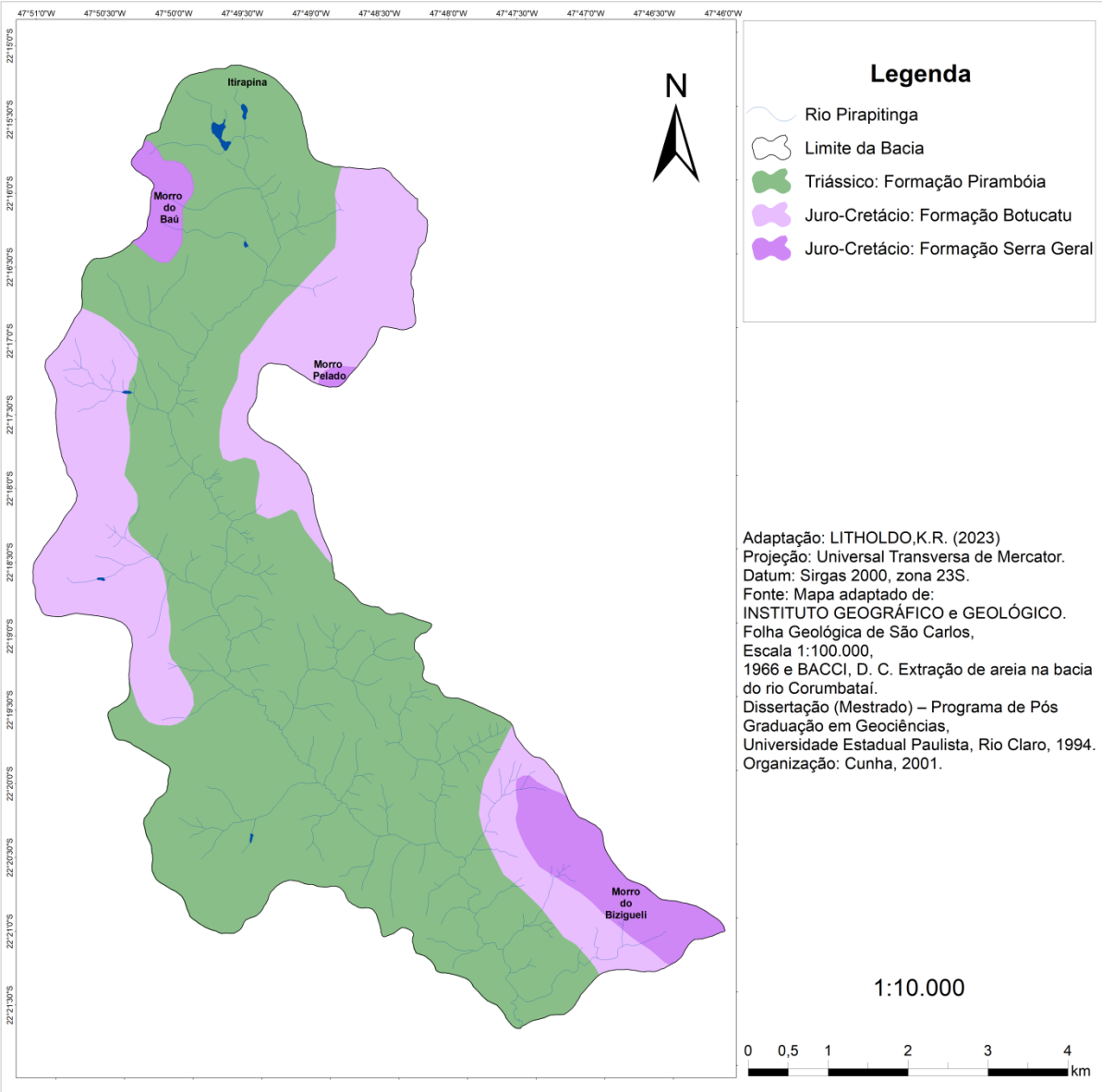
Já no que se refere à província geomorfológica denominada de Cuestas Basálticas, localizada no limite da área de estudo, segundo o IPT (1981),

caracteriza-se por ser um “relevo escarpado na transição com a Depressão Periférica, seguido de uma sucessão de grandes plataformas estruturais de relevo suavizado, inclinadas para o interior em direção à calha do rio Paraná”. A litologia deste setor se faz pela presença de basaltos e arenitos, vinculados a Formação Serra Geral e Botucatu.

Com isso, a bacia do rio Pirapitinga é marcada pela presença de formas denudativas, isto é, pela existência de sopés erosivos, resultantes da ação contínua da água, caracterizando-a como uma topografia irregular e sinuosa, enquanto os morros testemunhos, remanescentes de antigos níveis de base, sobressaem-se, evidenciando a constante erosão que molda a área de estudo. Ainda, os taludes íngremes também são comuns, representando a instabilidade do terreno e os processos erosivos em curso, ressaltando sua dinâmica erosiva.

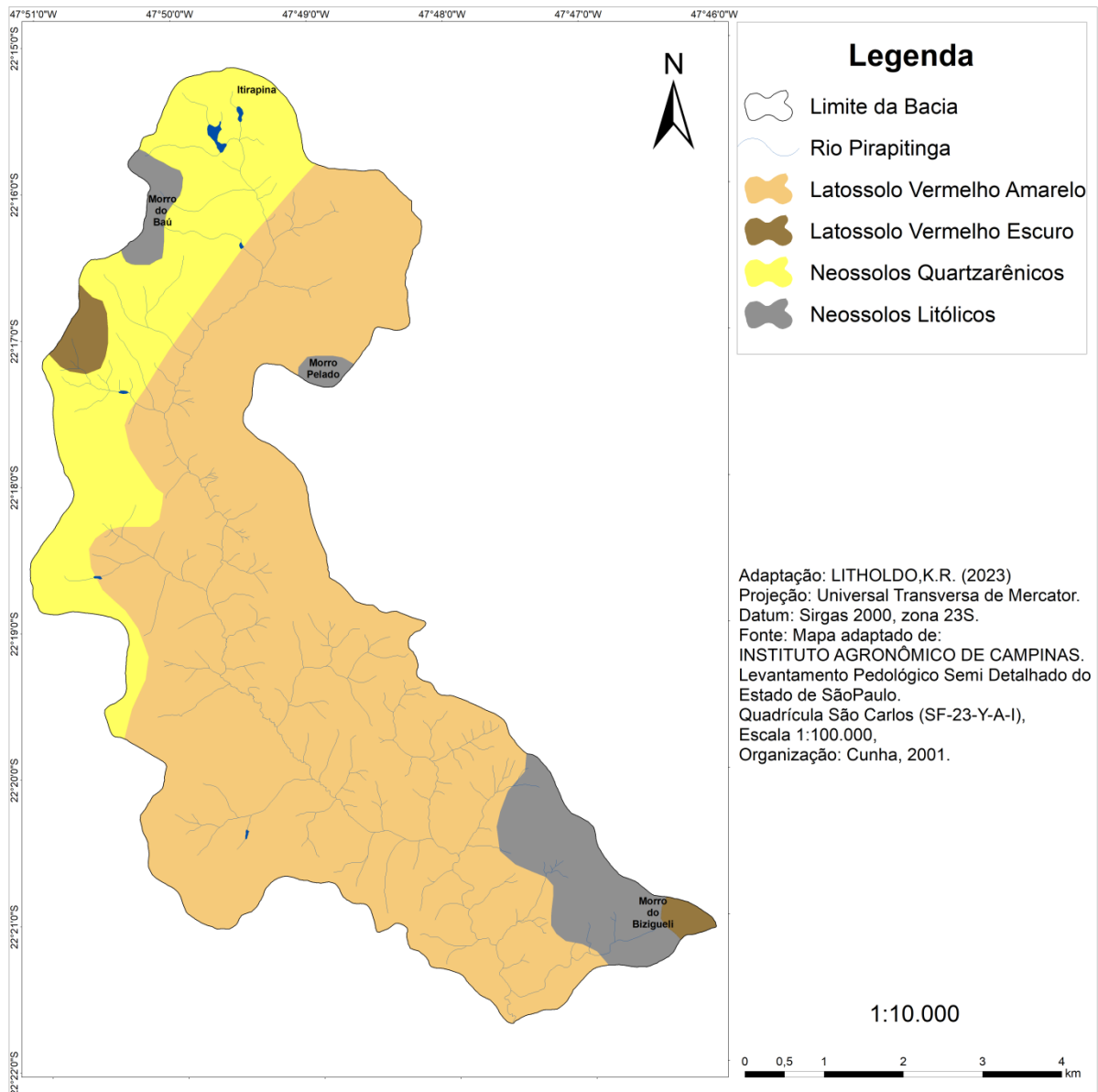
Quanto à litologia da bacia, Cunha (2001) apresenta de forma sintetizada sua estrutura com base em mapeamentos pré-existent (Figura 2), a qual pode ser analisada em conjunto com os solos da área (Figura 3). Essa abordagem permite uma compreensão mais completa dos processos naturais que moldaram a região, bem como torna possível analisar a formação e composição dos materiais presentes na bacia.

Figura 2 - Litologias da bacia do rio Pirapitinga (adaptado de Cunha, 2001).



Adaptação: Adaptado pela autora, 2023.

Figura 3 – Classes de solo da bacia do rio Pirapitinga (Adaptado de Koffler, 1992).



Adaptação: Adaptado pela autora, 2023.

Nesse contexto, destaca-se que a maior parte da bacia do rio Pirapitinga caracteriza-se pela Formação Pirambóia, que para Cunha (2001, p. 31) é recoberta principalmente pela presença de “[...] Latossolos Vermelho Amarelo, predominantemente da unidade Coqueiro [...]”. Para o IPT (1998) a Formação Pirambóia caracteriza-se por uma grande sucessão de camadas arenosas.

Os arenitos são geralmente de granulação média a fina, possuindo fração argilosa maior na parte inferior que na superior da formação, onde localmente ocorrem arenitos grossos, conglomeráticos. Predomina a estratificação plano-paralela, destacada pela alternância de lâminas mais ou menos ricas em argila e silte, ou ainda mostra

estratificação cruzada, de dimensão média a grande, do tipo tangencial. (IPT, 1981, p. 63)

Outra litologia presente na área é a Formação Botucatu, que delimita a Formação Pirambóia, marcada predominantemente pela constituição de arenitos avermelhados e em setores de maiores altitudes (IPT, 1981, p.63), bem como sobreposta por solos do tipo Latossolo Vermelho Amarelo e Neossolos Quartzarênicos.

Os Neossolos Quartzarênicos são classificados por Oliveira (1992, p. 182) como “[...] solos pobres em nutrientes para as plantas, tanto em macro como em micronutrientes, além de não disporem de reservas nutricionais que possam ser liberadas gradativamente [...]”, possuindo uma característica marcadamente arenosa, e, por isso:

Os maiores problemas quanto à erosão são quando se encontram desprovidas de cobertura vegetal, agravando a situação de escassez de materiais agregadores (argila e matéria orgânica) e tornando-se expostas também à erosão eólica. (Cunha; Guerra, 1998, p.191).

Ainda, sobre essa formação, mesmo que em pouca quantidade, encontram-se solos do tipo Latossolo Vermelho Escuro, que possui uma textura de média a muito argilosa, sendo solos heterogêneos quanto à textura e à fertilidade.

A grande variação textural, com teores de argila de 16 a 85% no horizonte B, confere aos solos dessa classe apreciável disparidade quanto à infiltração e a capacidade de retenção de água e à nutrientes. É de se esperar menor capacidade de retenção de água nos solos com grande contribuição de areia, especialmente quando predominantemente grossa. Esses latossolos vermelho-escuros pouco argilosos apresentam, também, em igualdade de condições, menor resistência à erosão do que os mais argilosos (Oliveira, 1992, p. 103).

Ainda, ocorre na área de estudo a Formação Serra Geral, sendo registrada sob os morros testemunhos do Bizigueli, Pelado e Baú, abrangendo um “conjunto de derrames de basalto, nos quais se intercalam fáceis areníticas”, de maior resistência a erosão, mantendo os morros testemunhos (Cunha, 2001, p.32).

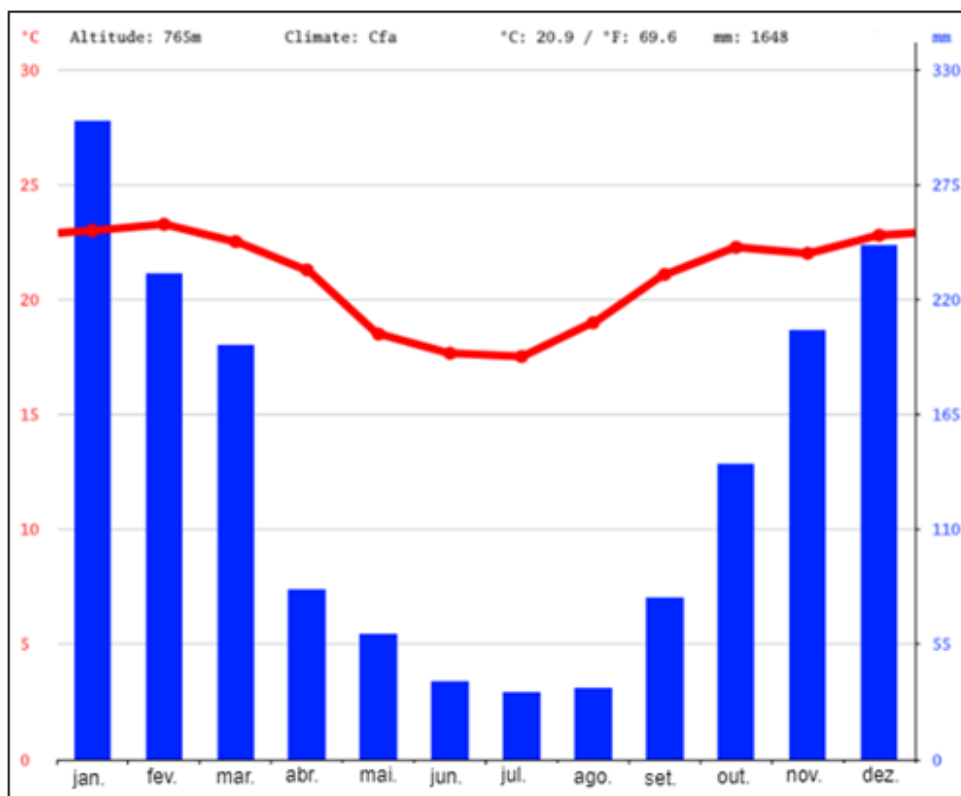
Sobre esta formação, constata-se a presença de Latossolos Vermelho Escuro, já mencionados, e Neossolos Litólicos, que são pouco evoluídos e rasos, de textura e fertilidade variáveis. Além disso, “[...] o fluxo d’água em seu interior é precocemente interrompido, facilitando o escoamento em superfície, gerado pela

rápida saturação do solo, e em subsuperfície, na zona de contato solo-rocha [...]” (Cunha; Guerra, 1998, p. 190), o que contribui para a ocorrência de processos denudativos.

Por sua vez, esses mesmos processos denudativos estão vinculados às condições climáticas da região, que desempenham um papel crucial na compreensão dos fatores externos da área. Segundo Penteado (1974) é imprescindível compreender essa relação, pois “toda forma de relevo resulta do equilíbrio entre o ataque da rocha por um certo número de processos morfoclimáticos e da resistência da rocha aos mesmos processos” (Penteado, 1974, p.107).

Partindo dessa premissa, Costa (2006) observa que o clima da alta bacia do rio Passa Cinco e, por consequência, da bacia do rio Pirapitinga, é considerado como subtropical do tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen. Isso implica em médias de temperaturas acima de 22°C nos meses mais quentes e em torno de 17°C nos meses mais frios (Figura 4).

Figura 4 - Climograma do município de Itirapina (SP).



Fonte: Climate-data (2023)

Quanto aos índices de precipitação, no mesmo contexto, Cunha (2001) observa que os meses de junho, julho e agosto são caracterizados por uma diminuição significativa nas chuvas, coincidindo com o período de inverno, enquanto nos demais meses do ano as precipitações mensais são significativamente maiores, “[...] somando uma pluviosidade média anual superior a 1600 mm [...]” (Climate-data, 2023).

Outro aspecto a ser destacado é referente ao uso e ocupação das terras, que para o IBGE (2013):

Fornecem subsídios para as análises e avaliações dos impactos ambientais, como os provenientes de desmatamentos, da perda da biodiversidade, das mudanças climáticas, das doenças reincidentes, ou, ainda, os inúmeros impactos gerados pelos altos índices de urbanização e pelas transformações rurais que se cristalizam em um grande contingente de população sem emprego, vivendo nos limites das condições de sobrevivência. (IBGE, 2013, p. 37)

Nesse sentido, Cunha (2001) verifica um intenso uso agrícola na alta bacia do rio Passa Cinco, com diversos tipos de uso da terra, os quais são intensamente fragmentados, formando pequenas manchas por toda alta bacia, além de pequenos setores urbanos. Dessa forma, Litholdo (2018) destaca que os principais padrões de uso encontrados na área, e, conseqüentemente na bacia do rio Pirapitinga em 2010, foram as classes: pasto (39,14%); vegetação arbórea (26,63%) e cana de açúcar (18,98%).

Portanto, constata-se na bacia do rio Pirapitinga a presença de características que desempenham um papel significativo na dinâmica do relevo, relacionadas às fragilidades inerentes às formações litológicas e pedológicas, que somadas ao clima e ao uso da terra contribuem para o desenvolvimento dos processos denudativos do relevo, que devem ser analisados e compreendidos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Como base para elaboração da pesquisa, foi utilizada a proposta metodológica elaborada por Zanatta (2018), a qual busca definir o uso adequado das terras em ambientes rurais e degradados. Assim, o autor coloca como ponto de partida a elaboração de alguns mapeamentos temáticos, que permitem a análise e compreensão da área estudada.

Os mapeamentos foram produzidos na escala de 1:10.000, no intuito de promover uma maior riqueza de detalhes, bem como georreferenciados sobre a carta topográfica Itirapina, também na escala de 1:10.000, obtida junto ao Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC). Ressalta-se que os mapeamentos foram realizados utilizando o programa *ArcGis 10.5*, disponível na universidade.

4.1 Cartografia retrospectiva

Para essa pesquisa foram utilizadas as fotografias aéreas de 1988, disponíveis no Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental, da UNESP, na escala de 1:40.000, e as ortofotos digitais de 2010, obtidas junto a EMPLASA, na escala de 1:10.000.

Ainda, utilizou-se o aplicativo *Stereo Photo Maker 5.20*, de uso livre, para a geração de imagens *Anaglifo*, proporcionando uma visão estereoscópica das fotografias aéreas, isto é, uma visualização do relevo a ser estudado em 3 dimensões.

Por fim, após a elaboração de cada mapeamento foram realizadas idas a campo para reambulação dos dados necessários.

4.1.1 Mapeamentos das feições geomorfológicas

Para os mapeamentos geomorfológicos foram adaptados os conceitos de Tricart (1965) e de Verstappen e Zuidam (1975). Tricart (1965) aponta que as cartas geomorfológicas se constituem como um suporte e um meio de identificação de determinados fenômenos, bem como fornece uma comparação entre a morfoestrutura e os agentes considerados esculturadores do relevo. Nesse sentido, para Verstappen e Zuidam (1975), as cartas geomorfológicas representam bases

concisas e sistemáticas das formas do relevo, bem como dos fenômenos relacionados a este.

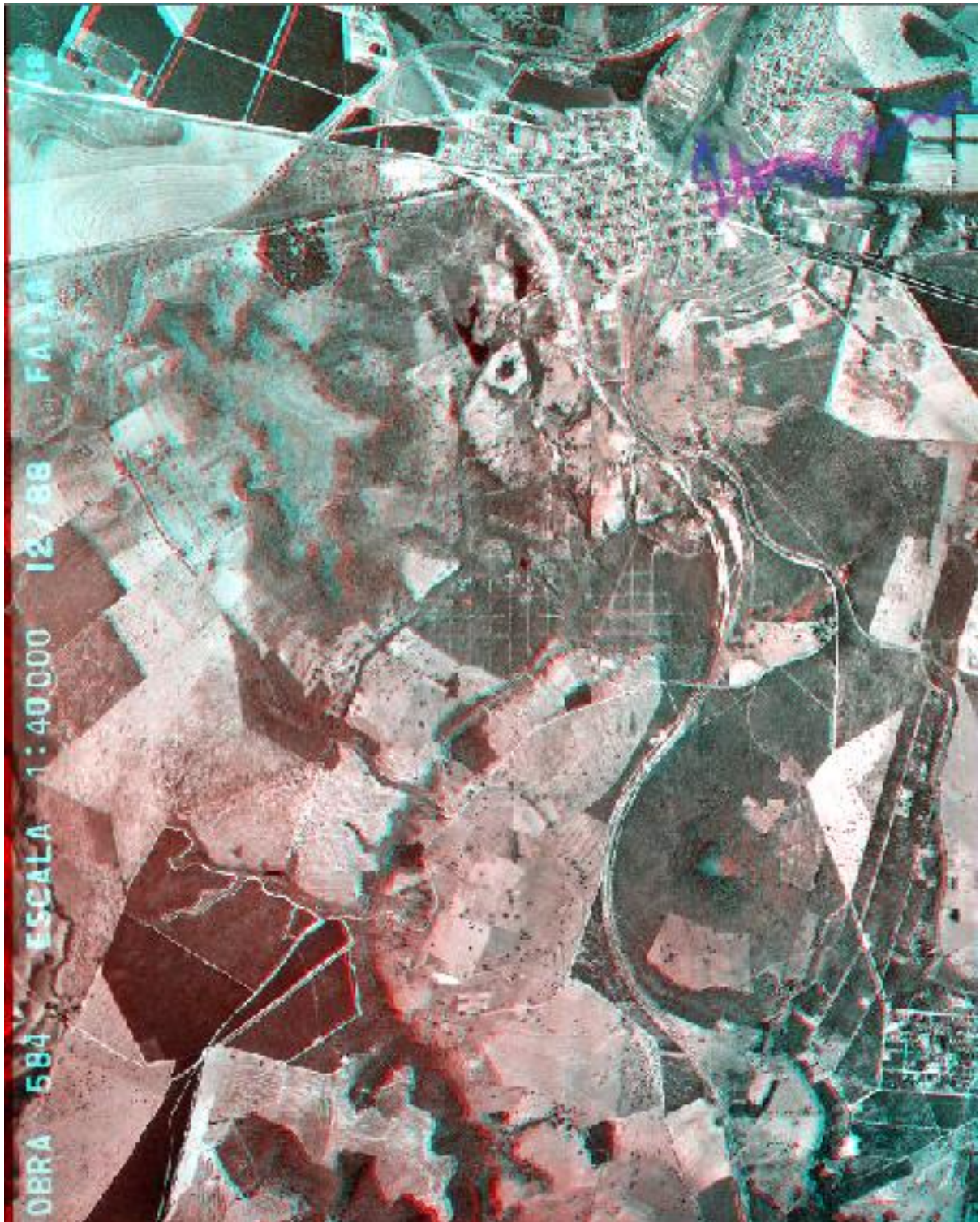
Para Tricart (1965), a carta geomorfológica deve ter em sua elaboração dados de naturezas distintas, como os dados morfométricos, as informações morfográficas e os dados morfogenéticos. Como explica o autor, os dados morfométricos referem-se ao aspecto quantitativo das formas de relevo, podendo ser representados por bases cartográficas que contenham dados menos elaborados, como os canais fluviais, ou mais elaborados, tais como as declividades; as informações morfográficas que correspondem às formas de relevo, sendo identificadas através de símbolos, que permitem compreender sua espacialização, como as formas de vertentes, de fundos de vales e de feições erosivas; e os dados morfogenéticos, que tratam das informações sobre a gênese do relevo, tais como as ações da água e do modelado antrópico.

Para a elaboração do mapeamento geomorfológico no *software* ArcGis, em ambos os cenários, 1988 e 2010, criaram-se vetores em *shapefile* no formato de linhas, polígonos e pontos, que representam as feições observadas e consequentemente mapeadas. Posteriormente, os símbolos foram editados, seguindo as orientações técnicas de Paschoal, Conceição e Cunha (2010), visando inserir no meio digital as orientações dos referidos autores. Além disso, ressalta-se que foram realizadas algumas adaptações próprias em alguns dos símbolos, para melhor atender ao objetivo e escala de análise deste presente trabalho.

No que concerne as feições referentes à origem antrópica, estas tiveram seus símbolos destacados na cor vermelha, com o objetivo de diferenciá-los dos demais.

Para o cenário de 1988, as fotografias aéreas foram transformadas em imagens *anáglifos*, utilizando o software de uso gratuito *StereoPhoto Marker 5.20* (Figura 5), que possibilita uma visão tridimensional do relevo, e, consequentemente uma maior percepção sobre suas características (Souza e Oliveira, 2012). Já para o cenário de 2010 essa transformação não foi possível, e tal interpretação foi auxiliada através de atividades de campo.

Figura 5 – Imagem *Anáglifo* gerada a partir da utilização do software *StereoPhoto Marker 5.20*.

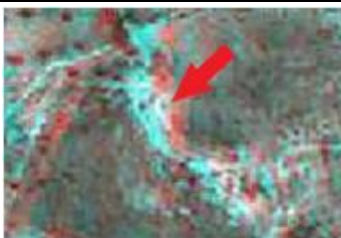
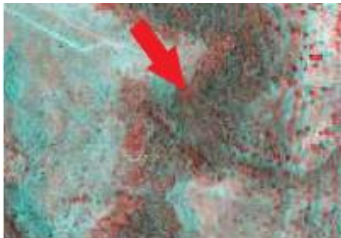


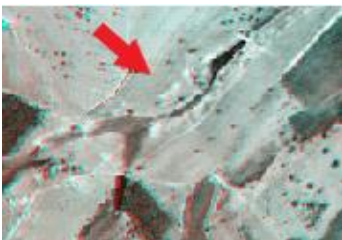
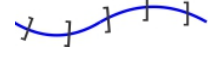
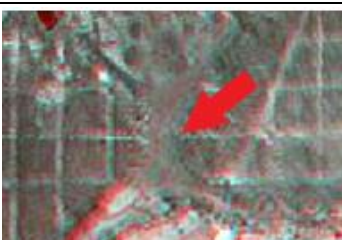
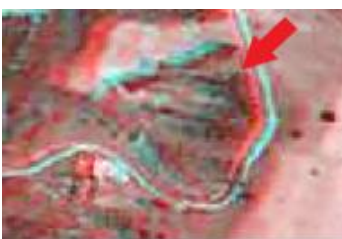
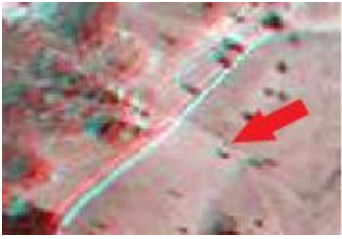
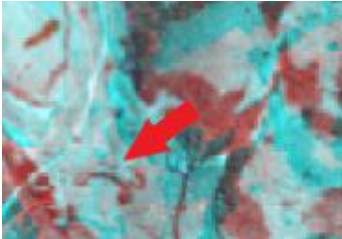
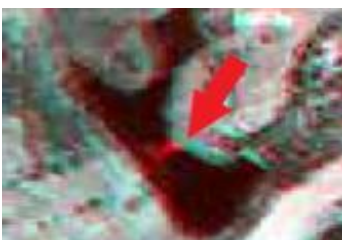
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

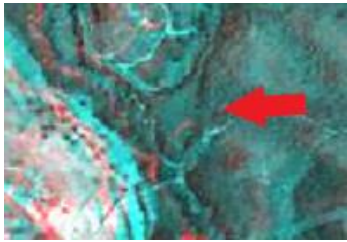
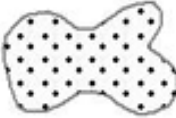
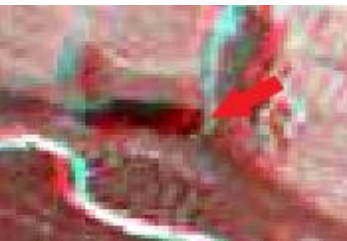
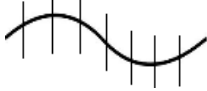
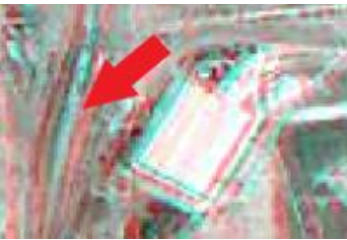
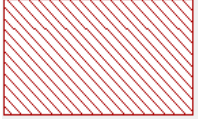
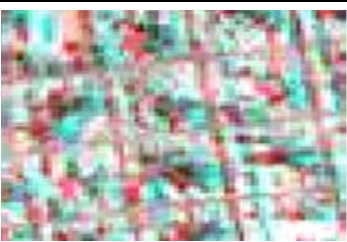
Quanto às formas de vertentes, côncava, convexa, retilínea e irregular, estas foram mapeadas utilizando a própria base cartográfica, analisando as características

das curvas de nível, bem como para mapear a presença de colos topográficos. Outras feições como as linhas de cumeada abrupta e suave também utilizaram esse método, de forma conjunta com a análise das fotografias aéreas e ortofotos digitais. Nesse sentido, ressalta-se que as demais feições foram analisadas seguindo alguns critérios e padrões de reconhecimento, demonstrados no quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Feições identificadas nos mapeamentos geomorfológicos de 1988 e 2010.

Feições Geomorfológicas	Simbologia	1988	2010
Sulco Erosivo			
Ravina			
Talude Erosivo de Voçoroca			
Morro Testemunho			
Colúvio			

Ruptura Topográfica Suave			
Ruptura Topográfica Abrupta			
Vale de Fundo Plano			
Vale em V			
Dranagem Pluvial			
Meandro Abandonado			
Lagos			

Leques Aluviais			
Acumulação de Planície e Terraço Fluvial			
Terraço Agrícola			
Barragem			
Estrada de Ferro			
Superfície Construída			

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Os sulcos erosivos foram identificados através de pequenas incisões no relevo, observadas nas imagens como pequenos riscos, demarcando uma concentração do fluxo d'água, sem a formação de taludes laterais. Por outro lado, as ravinas foram caracterizadas como incisões de maior magnitude vertical em comparação as primeiras, acompanhadas de taludes verticais. Quanto às voçorocas,

que representam o estágio mais avançado das feições erosivas lineares aceleradas, estas foram identificadas com base em características como taludes verticais pronunciados, frequentemente sombreados nas imagens, com incisões mais profundas, que por vezes ocasiona o afloramento do lençol freático.

Já as rupturas topográficas abruptas apresentam como característica principal um maior desnível local, de forma brusca, sinalizando uma fragilidade no terreno a ser analisada, enquanto que a rupturas abruptas suaves, são as que ocorrem de maneira mais branda, isto é, com desníveis locais menores.

Quanto à ação das águas correntes, que compreendem majoritariamente a presença dos rios com vale de fundo plano; vale de fundo em V e leques aluviais, é de suma importância enfatizar que os primeiros possuem como característica a presença de um vale notavelmente amplo e aparentemente nivelado, sugerindo a presença de áreas de deposição, o que não ocorre com os fundos de vale em V. Estes últimos são caracterizados por rios que esculpiram profundamente seus leitos, evidenciando uma ação erosiva pronunciada e, por conseguinte, uma velocidade significativa dos rios.

Quanto aos leques aluviais, foram mapeados a partir da análise dos rios e compreendendo que sua principal característica é o fato de conter material depositado em setores de confluência d'água, sendo estes sedimentos transportados de outros setores do curso fluvial.

Por fim, quanto as feições de modelado antrópico, este compreende principalmente a presença de terraços agrícolas e/ou curvas de nível agrícola, identificados como uma estrutura de retenção erosiva, geralmente construídas em setores de maior declividade, no intuito de reduzir a velocidade do escoamento pluvial, amenizando os processos erosivos e favorecendo o cultivo local, sendo construído ao longo das vertentes.

4.1.2 Mapeamento de Uso e Ocupação da Terra

Para a criação dos mapas dos cenários de 1988 e 2010 foram utilizados como referência os critérios postos no Manual Técnico de Uso e Ocupação da Terra, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013). Assim, segundo o instituto tal mapeamento indica a distribuição geográfica das diferentes

tipologias de uso, bem como envolve simultaneamente pesquisas de escritório e de campo, voltadas para a “[...] interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando sua classificação e espacialização por meio de cartas”. (IBGE, 2013, p. 37). Além disso,

O levantamento sobre a Cobertura e o Uso da Terra comporta análises e mapeamentos e é de grande utilidade para o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço, constituindo importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão.

Ao retratar as formas e a dinâmica de ocupação da terra, estes estudos também representam instrumento valioso para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental, frente aos diferentes manejos empregados na produção, contribuindo assim para a identificação de alternativas promotoras da sustentabilidade do desenvolvimento. (IBGE, 2013, p. 38)

Ainda, para atender a essa demanda, é essencial considerar quatro princípios na organização de sua classificação: a escala de mapeamento, a natureza da informação básica, nomenclatura e a unidade de mapeamento e definição da menor área a ser mapeada (IBGE, 2013).

Complementar a esses aspectos, para o mapeamento do uso e ocupação da terra, foram utilizadas as sugestões técnicas de análise de imagens proposta por Ceron e Diniz (1966), as quais afirmam que a identificação das culturas manejadas no local é composta por vários elementos, dependendo da época do ano em que as fotografias foram tiradas e do tipo de técnica agrícola empregada; esses elementos são:

- Cor: Apresentam grande variação nas fotografias aéreas, devido às mudanças que ocorrem conforme as diferentes culturas de manejo, bem como ao próprio estágio de desenvolvimento.

- Textura: Refere-se à mudança de tons observados nas fotografias aéreas.

- Forma da parcela: Para que seja possível a identificação dos diferentes usos da terra, a forma da parcela se torna essencial, pois algumas culturas se manifestam de maneira geométrica, outras irregulares, possibilitando seu reconhecimento através de tais características.

- Dimensão da área cultivada: Pressupõe pesquisa de campo, pois as dimensões das plantações variam de um município para outro.

- Dimensão dos campos de cultivo: Outro elemento variável, sua dimensão depende diretamente do tamanho das propriedades agrícolas.

- Altura: Nesse item o uso de fotografias aéreas com estereoscopia se torna de suma importância, permitindo uma maior percepção de tal característica. No entanto, diferentes culturas podem ser confundidas quando analisada apenas sua altura, devendo ser um critério utilizado de forma conjunta aos demais.

- Espaçamento: Além de ser um dos elementos mais importantes para a identificação de culturas permanentes, é também o menos propenso a erros, devido ao fato de ser constante dentro de um mesmo tipo de plantação.

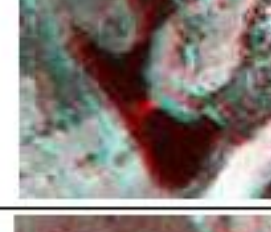
- Restos de colheita: A identificação e reconhecimento das culturas anuais a partir desse item dependem do mês em que as fotografias aéreas foram tiradas.

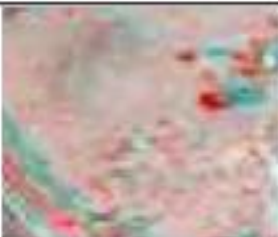
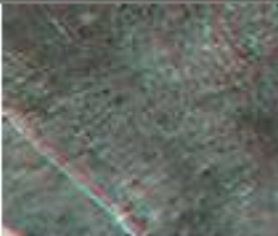
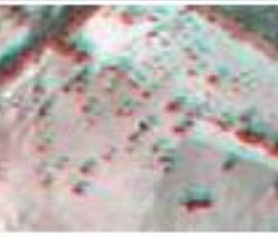
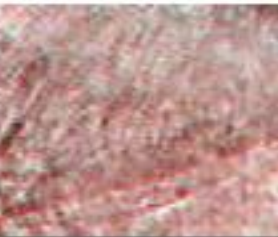
- Arranjo espacial: A posição ocupada pela cultura em relação às suas extremidades pode ajudar a diferenciá-las.

Assim, para a confecção dos mapeamentos a partir da interpretação das fotografias aéreas e ortofotos digitais, criaram-se vetores (*shapefiles*) no formato de polígonos, e a quantidade e as feições analisadas variaram conforme a necessidade identificada em cada cenário, o de 1988 e 2010. Além disso, legenda foi organizada, de forma geral, conforme a proposta do IBGE (2013).

No entanto, as classes disponíveis no Manual Técnico de Uso e Ocupação da Terra - IBGE (2013), não foram suficientes para contemplar todas as particularidades da área de pesquisa, sendo necessário utilizar um grupo de cores diversificadas criada por Litholdo (2018), bem como propor a adaptação de cor para uma classe específica, a denominada de pasto sujo, visando suprir as demandas apresentadas. Dessa forma, a seguir (Quadro 2) são descritas as classes utilizadas para este trabalho, bem como sua chave de interpretação, RGB e autor (a).

Quadro 2 – Classes e critérios para identificação do uso e ocupação da terra

Uso e Ocupação da Terra	Autor (a)	1988	2010
Área Construída R: 232 G: 138 B: 255	LITHOLDO (2018)		
Área Urbanizada R: 255 G: 168 B: 192	IBGE (2013)		
Cana de Açúcar R: 181 G: 255 B: 0	LITHOLDO (2018)		
Citricultura R: 255 G: 214 B: 0	IBGE (2013)		
Corpos D'água Continental R: 0 G: 77 B: 168	Elaborado pela autora (2023)		
Vegetação Arbórea R: 115 G: 168 B: 0	IBGE (2013)		

Vegetação Herbácea R: 171 G: 205 B: 102	LITHOLDO (2018)		
Cerrado R: 145 G: 82 B: 20	LITHOLDO (2018)		
Lavoura Temporária R: 255 G: 255 B: 0	IBGE (2013)		
Pasto Sujo R: 137 G: 112 B: 68	Elaborado pela autora (2023)		
Pasto Limpo R: 205 G: 137 B: 0	IBGE (2013)		
Silvicultura R: 205 G: 173 B: 0	IBGE (2013)		

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Diante da necessidade de adaptação, a classe denominada área construída refere-se aos setores afastados do perímetro urbano, sendo compreendidas como construções rurais ou mesmo as granjas. A classe cana de açúcar, presente apenas no cenário de 2010, abrange as áreas cobertas por tal cultura, nos diversos estágios de crescimento. Já a classe vegetação herbácea foi aplicada em ambientes

transicionais, isto é, em pequenas porções de terreno encontradas entre duas categorias distintas, as quais não possuíam características de ambas, geralmente situadas entre vegetação arbórea e áreas de cultivo de cana de açúcar, bem como na transição entre as áreas de pastagens e as de silvicultura.

Outra classe adaptada se refere às áreas de cerrado, abrangendo espaços em que a vegetação era escassa e apresentava uma estrutura semelhante à do próprio cerrado, além de ser uma área previamente identificada durante algumas visitas a campo.

Por fim, a última classe adaptada refere-se à de pasto sujo, com a compreensão de que as áreas relacionadas a pastagens apresentam variações distintas em relação à presença de vegetação arbórea entre as gramíneas. Nesse contexto, a classe pasto sujo foi atribuída às áreas que exibem uma proporção significativamente maior dessas características, enquanto que a classe de pasto limpo se aplica com menor incidência da mesma.

Assim, as demais classes, isto é, a área urbanizada; citricultura; vegetação arbórea, lavoura temporária; pasto limpo; silvicultura e corpos d'água continental seguiram as recomendações postas pelo IBGE (2013). O quadro 3 demonstra como cada classe pode ser identificada através dos produtos de sensoriamento remoto utilizados, tanto para o cenário de 1988, em formato *Anáglifo*, como para o cenário de 2010, com ortofotos no formato digital. No entanto, é importante salientar que, mesmo estando em formatos diferentes, os critérios de mapeamento utilizados foram os mesmos, visando assegurar a maior confiabilidade possível na geração dos dados.

Ainda, para mensurar as áreas ocupadas pelas classes mapeadas, estas foram calculadas através da ferramenta *Calcuete Geometry*, a qual forneceu dados em quilômetros quadrados, isto é, a ocupação territorial referente a cada classe observada, possibilitando a análise, comparação e compreensão das classes em ambos os cenários.

4.2 Mapeamentos Morfométricos

Neste tópico se concentram descritas as técnicas dos mapeamentos morfométricos, que envolvem a análise de características como declividade,

dissecação horizontal, dissecação vertical e energia do relevo. Os dados foram coletados a partir da carta topográfica de Itirapina, escala de 1:10.000, disponibilizada pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC), com curvas de nível equidistantes a 5 metros. O objetivo é fornecer uma análise precisa dessas variáveis, contribuindo para uma compreensão detalhada da área de estudo.

4.2.1 Carta de Declividade

A Carta de Declividade, também chamada de Carta Clinográfica tem por objetivo quantificar a inclinação do terreno, sendo importante para a compreensão dos processos morfodinâmicos ocorridos, bem como para um maior entendimento do uso adequado das terras.

Para sua confecção foram utilizados os princípios apontados por De Biasi (1992), que “[...] avalia os espaçamentos entre as curvas de nível através de medidas, convertidas em dados de declividade em porcentagem, de acordo com a equidistância das curvas de nível e escala de trabalho [...]” (DE BIASI, 1970 apud ZANATTA, 2018, p.15), isto é, transforma os dados de declividade do relevo em porcentagem, estabelecendo uma maior compreensão do relevo.

Os procedimentos técnicos para obtenção dos dados de declividade foram elaborados de forma automática, utilizando o programa *ArcGis 10.5*. Assim, utilizando a ferramenta Create TIN from feature criou-se o modelo numérico do terreno, no qual inseriram-se os valores altimétricos, isto é, as curvas de nível e os pontos cotados. Posteriormente, para gerar a declividade utilizou-se a ferramenta 3D Analyst e a opção Convert TIN to Raster. Por fim, reclassificou-se o mapa em Arc ToolBox - Spatial Analyst Tools - Reclass - Reclassify, tornando possível visualizar cada classe de declividade criada.

As classes foram definidas com base na proposta de Lepsch (1983) e adaptada por Zanatta (2018), a saber:

A) $\leq 2\%$: há grande possibilidade de alagamento;

Formada por áreas planas ou quase planas, onde o escoamento superficial ou enxurrada (deflúvio) é muito lento ou lento. O declive do terreno, por isso, não oferece nenhuma dificuldade ao uso de máquinas agrícolas e não existe também erosão hídrica significativa,

exceto, possivelmente, em vertentes cujas rampas sejam muito longas e com solos altamente suscetíveis à erosão ou quando recebam enxurradas de áreas vizinhas situadas à montante e mais declivosas (Lepsch, 1983, p. 89).

B) 2 + 5%: tendência ao alagamento;

Compreende áreas com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos, o escoamento superficial é lento ou médio. Os declives, por si só, não impedem ou dificultam o trabalho de qualquer tipo de máquina agrícola mais usual. Em alguns tipos de solos com esses declives, a erosão hídrica não oferece nenhum problema; em muitos deles, práticas simples de conservação são necessárias, enquanto em solos muito erodíveis e com comprimentos de rampa muito longos, proteções com práticas complexas podem ser necessárias, tais como sistemas de terraços e faixas de retenção (Lepsch, 1983, p. 89-90).

C) 5 + 10%: Declive entre as indicações apontadas por Lepsch (1983);

Áreas com superfícies inclinadas, geralmente com relevo ondulado, nas quais o escoamento superficial, para a maior parte dos solos, é médio ou rápido. O declive, por si só, normalmente não prejudica o uso de máquinas agrícolas. A erosão hídrica oferece poucos problemas ou então pode ser controlada com práticas simples; na maior parte das vezes, no entanto, práticas complexas de conservação do solo são necessárias, para que terras com esse declive possam ser cultivadas intensamente (Lepsch, 1983, p. 90).

D) 10 + 15%: 15% constitui-se no limite máximo de declive passível de utilização de máquinas no preparo do solo ou colheita (DE BIASI, 1992, p. 47);

E) 15 + 30%: terrenos não aptos ao uso de maquinário agrícola e com severas limitações devido ao declive acentuado (Lepsch, 1983, p. 90). Complementar a isso, segundo a Lei Lehmann, nº 6.766 não será permitido o parcelamento do solo “em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes” (BRASIL, 1999, Art. 3º, inciso III);

F) 30 + 47%: Segundo a Lei 12.651/12, referente as Áreas de Conservação, esses locais possuem declividade considerada imprópria ao parcelamento do solo ou mesmo para fins de moradia;

G) $\geq 47\%$: de acordo com a Lei 12.651/12

Em áreas de inclinação entre 25º e 45º serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas

agronômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social (BRASIL, 2012, Art. 11º).

4.2.2 Carta de Dissecação Horizontal

A dissecação horizontal do relevo corresponde à medida de distância entre as linhas de cumeada e os talwegues, isto é, a extensão horizontal dos pontos de maior elevação em relação aos de menor altitude (Ferreira *et. al*, 2014). Para Spiridonov (1981) o mapeamento da dissecação horizontal constitui-se em ferramenta de suma importância ao facilitar a organização do uso da terra, posto que indica áreas com maiores ou menores distanciamento dos cursos fluviais.

Assim, a carta de dissecação horizontal do relevo permite analisar “[...] setores com maior potencialidade para remobilização do material, em função da ação erosiva dos cursos fluviais, o que, por conseguinte, eleva a possibilidade de ação denudativa nas vertentes” (Zanatta, 2018, p. 17).

Para a confecção desta carta, foi empregada a metodologia sugerida por Spiridonov (1981), a qual passou por adaptações para incorporação ao meio digital. Dessa forma,

Spiridonov (1981) propõe que a carta de dissecação horizontal deve ser elaborada a partir da delimitação das bacias e sub-bacias de drenagem em uma base topográfica. Dentro dos limites de cada bacia, são traçadas as linhas de caimento das encostas e nelas são separadas distintas seções com início nos talwegues. Os pontos equidistantes dos talwegues são unidos mediante curvas, que são equivalentes às isolinhas de distância dos talwegues mais próximos. As faixas geradas representam as classes de dissecação horizontal, sendo coloridas de acordo com a seguinte regra: quanto mais longe do talwegue, menor a dissecação horizontal (Ferreira *et. al*, 2014, p. 587).

Com isso, as classes de dissecação geradas seguiram tais preceitos postos, bem como iniciaram-se a partir do mínimo possível de ser mapeado, de acordo com a escala de 1:10.000, ou seja, 10 metros, dobrando-se os valores para as classes seguintes, como proposto por Spiridonov (1988), e apresentado quadro 3.

Quadro 3 – Classes de dissecação horizontal

Classes	Divisão em metros
1	≤ 10 m
2	10 - 20 m
3	20 - 40 m
4	40 - 80 m
5	80 - 160 m
6	160 - 320 m
7	≥ 320 m

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Assim, utilizando-se o programa *ArcGis 10.5* criaram-se os *shapefiles* correspondentes a cada classe interpretada e com o auxílio da ferramenta de medição de distância disponível no programa, iniciou-se o mapeamento manual das classes.

4.2.3 Carta de Dissecação Vertical

A dissecação vertical do relevo consiste na diferença de altitude entre os terrenos mais altos e mais baixos, isto é, entre as linhas de cumeadas e os fundos de vale, tendo como objetivo principal compreender e quantificar as variações altimétricas que definem a topografia, fornecendo informações importantes para os estudos da estabilidade das bacias. Além disso,

A carta de dissecação vertical tem por objetivo destacar na topografia o grau de entalhamento realizado pelos canais fluviais. Estes dados indicam o desnível altimétrico entre o divisor de águas e o canal fluvial, o que possibilita identificar os setores com maior potencial para ocorrência de processos gravitacionais (Zanatta, 2018, p. 18).

Nesse sentido, para a elaboração dessa carta foram utilizados os preceitos postos por Spiridonov (1981), também adaptados ao meio digital. Assim,

O primeiro passo proposto pelo autor é a delimitação das bacias e sub-bacias de drenagem em uma base topográfica. A seguir, assinalam-se todos os pontos nos quais as curvas de nível interceptam o canal fluvial, e a partir de cada um desses traçam-se as linhas de maior queda da vertente, ou seja, a menor distância entre o talvegue e o divisor de água. Por fim, assinala-se em cada

uma dessas linhas um ponto de cruzamento com as curvas de nível e, assim, por meio de pontos com altitude relativa similar, traçam-se isolinhas de altitude. As faixas geradas representariam as classes de dissecação vertical (Ferreira *et. al*, 2015, p. 1233).

Com isso, no *ArcGis 10.5* foram elaborados os *shapefiles* correspondentes as classes necessárias para este presente trabalho, totalizando 6 classes de dissecação vertical. Por sua vez, cada classe corresponde a um desnível altimétrico de 10 metros em relação ao fundo de vale, mediante a equidistância entre as curvas de nível, como apresentado no quadro 4.

Quadro 4 - Classes de dissecação vertical

Classes	Divisão em metros
1	≤ 10 m
2	11 - 20 m
3	21 - 30 m
4	31 - 40 m
5	41 - 50 m
6	≥ 51 m

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.2.4 Carta de Energia do Relevo

Para a confecção da Carta de Energia do Relevo, utilizou-se a proposta apresentada por Mendes (1993), a qual aponta que a mesma deve ser elaborada a partir dos dados morfométricos obtidos nas cartas de declividade, dissecação vertical e dissecação horizontal. Ainda, ressalta que seu objetivo principal é o de evidenciar o potencial do terreno para a geração de processos geomórficos, que são os processos responsáveis pela formação e modificação das formas de relevo, tais como a erosão, sedimentação e movimentos de massa, apresentando graus de intensidade que variam de muito fraco a muito forte.

Por sua vez, tal metodologia foi adaptada para o meio digital, utilizando-se da proposta elaborada por Zanatta (2015), o qual propõe uma série de procedimentos que visam otimizar o tempo em relação a sua elaboração.

Inicialmente, utilizando o software *ArcGIS 10.5*, os *shapefiles* referentes à declividade foram unificados por meio da ferramenta *Merge*, localizada na seção *Geoprocessing* do *ArcMap*. A tabela de atributos resultante, acessível clicando-se com o botão direito sobre o *shapefile* criado e selecionando em *Open Attribute Table*, foi organizada conforme as classes de declividade. O mesmo procedimento foi aplicado aos *shapefiles* referentes à dissecação vertical e horizontal.

Posteriormente, com a ferramenta *Intersect*, localizada novamente em *Geoprocessing* todos os dados foram unidos, gerando um único *shapefile* e em sua tabela de atributos criou-se uma nova coluna, chamada “Energia”. Com isso, em *Field Calculator*, foi selecionado a ferramenta *Parser Python* e adicionado os dados em formato de linguagem Python, incluindo as informações de dissecação horizontal, vertical e de declividade. Dessa maneira, a combinação proposta para esse presente trabalho (Quadro 5) resultou em classes de energia do relevo.

Quadro 5 - Critérios para definição das classes de energia do relevo da bacia do rio Pirapitinga (SP).

Classes de Energia do Relevo	Declividade		Dissecação Horizontal		Dissecação Vertical
Muito forte	30 a 47% e ≥ 47%	ou	≤ 10m	ou	-
Forte	15 a 30%	ou	11 a 20m	ou	≥ 51m
Medianamente Forte	10 a 15%	ou	21 a 40m	ou	41 a 50m e 31 a 40m
Média	5 a 10%	ou	41 a 80m	ou	21 a 30m
Fraca	2 a 5%	ou	81 a 160m	ou	11 a 20m
Muito Fraca	≤ 2%	ou	161 a 321m e ≥ 321m	ou	≤ 10m

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Por fim, seguindo os critérios definidos por Cunha (2001), Zanatta (2018) e Bonzanini, Lupinacci e Stefanuto (2022), a classe "muito forte" foi determinada pelas maiores intensidades de declividade e dissecação horizontal. A dissecação vertical é excluída da definição da classe "muito forte" de energia, pois, em áreas de topos suaves e planos, há uma generalização dessa classe mais intensa de dissecação vertical.

Já a classe de energia Forte inclui áreas com declividades entre 15 a 30%, dissecação horizontal variando de 11 a 20m, e dissecação vertical superior a 51m. Essas características indicam terrenos íngremes e espaçamento moderado entre os rios, refletindo um relevo significativamente dissecado, enquanto que a classe de energia Medianamente Forte considerou as declividades de 10 a 15%, com dissecação horizontal de 21 a 40m, e dissecação vertical entre 31 a 50m.

Para a classe de energia Média, considerou-se declividades de 5 a 10%, dissecação horizontal de 41 a 80m e dissecação vertical entre 21 a 30m, isto é, terrenos com inclinações moderadas, vales amplamente espaçados e variações de altitude moderadas. Por sua vez, na classe de energia Fraca encontram-se declividades de 2 a 5%, com dissecação horizontal de 81 a 160m e dissecação vertical entre 11 a 20m, caracterizando áreas com inclinações suaves, espaçamento maior entre vales e pequenas variações de altitude.

Por fim, a classe Muito Fraca apresenta declividades menores ou iguais a 2%, dissecação horizontal entre 161 a 321m ou superior a 321m, e dissecação vertical inferior ou igual a 10m. Esta classe descreve áreas quase planas, vales muito espaçados e mínimas variações de altitude relativa, indicando uma baixa energia do relevo.

4.3 Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal

Os limites para as Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal foram estabelecidos conforme a Lei N.º 12.651/12.

Esta lei estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as Áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e a prevenção

dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos (BRASIL, 2012, Art. 1º).

Além disso, entende-se por:

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

III - Reserva Legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (BRASIL, 2012, Art. 3º, incisos II e III).

Assim, com o uso do programa *ArcGis 10.5* iniciou-se o mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal. Para isso, utilizou-se a ferramenta Buffer, disponibilizada na aba toolbox do ArcMap, no intuito de criar um polígono constante em torno de cada feição.

Dessa forma, as feições analisadas nesse primeiro momento, foram as nascentes, com *shapefiles* no formato de pontos, e os cursos d'água permanentes, com *shapefiles* no formato de linhas. Para as nascentes, a Lei N.º 12.651/12 estabelece uma área de preservação de um raio mínimo de 50 (cinquenta) metros e para os cursos d'água com menos de 10 (dez) metros de largura, o que condiz com os rios observados na bacia do rio Pirapitinga, uma margem de 30 (trinta) metros.

Outro ponto importante no mapeamento das APPs são as áreas com declive igual ou superior a 45°, porções de terras protegidas por lei devido à sua importância na conservação dos recursos naturais, como rios, lagos, nascentes, topos de morros, encostas íngremes, entre outros. Assim, para seu mapeamento, utilizou-se as classes definidas na Carta de Declividade, mais especificamente a última classe. Em posse deste dado, criou-se um *shapefile* no formato de polígono e com a ferramenta Editor acionada, em Create Features realizou-se manualmente seu levantamento, permitindo uma análise dissociada dos demais dados de declividade.

Por fim, foram adquiridos dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR), que disponibiliza *shapefiles* referentes às Áreas de Reserva Legal existentes nas

propriedades do local de estudo, na escala de 1:10.000, e seu mapeamento foi sobreposto aos demais dados para uma análise integrada da área.

4.4 Mapeamento dos Compartimentos do Relevo

Para a realização do mapeamento dos compartimentos do relevo, utilizou-se como base a proposta de Rodriguez (1995), que segundo o autor permite o levantamento e a compreensão das informações referentes à natureza dos terrenos, analisando algumas características como áreas de emissão, transmissão e coletoras de massa e energia.

Assim, o autor compreende que:

- **emissoras** são até certo ponto autônomas, tem a responsabilidade fundamental de garantir fluxos de Energia, Matéria e Informação (EMI) para o restante da área. Correspondem as formas posicionadas em níveis topográficos mais elevados, com uma certa tendência à serem lavadas pelas chuvas e serem destruídas. Muitas vezes possuem um papel relíctico;
- **transmissoras**, coincidem fundamentalmente com as vertentes e patamares, cuja responsabilidade consiste em garantir o traslado dos fluxos EMI, com uma predominância forte de serem lavadas na superfície, pelas águas das chuvas;
- **coletoras**, coincidem fundamentalmente com as planícies aluviais e com os terraços, cuja função consiste em coletar e acumular os fluxos de EMI. Têm ainda, uma função de transmissão concentrada e seletiva de energia e matéria através das correntes hídricas, do leito do rio, sendo este, o fluxo fundamental que garante a comunicação com as partes inferiores e médias da bacia. Geralmente são paisagens dinâmicas, recentes e em constante estado de evolução (Rodriguez, 1995, p. 97).

Concomitante a isso, para a elaboração desta carta foram utilizadas as adaptações propostas por Zanatta (2018), utilizando-se o software ArcGis. Para tanto, criou-se shapefiles em formato de polígonos para cada uma das áreas do compartimento do relevo, sendo elas:

- Áreas transmissoras: vertente côncava, vertente convexa, vertente retilínea e vertente irregular;
- Áreas emissoras: topos;

- Áreas coletoras: planícies e terraços fluviais.

Posteriormente, com os shapefiles criados delimitou-se as áreas a partir da análise das curvas de nível e dos cursos d'água presente na carta topográfica de Itirapina, disponibilizada pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC). Quanto às áreas coletoras, utilizou-se o mapeamento geomorfológico referente ao cenário de 2010.

4.5 Os Dados Litológicos e Pedológicos.

Os levantamentos litológicos e pedológicos foram conduzidos com base em um mapeamento prévio, o qual foi adaptado para atender à escala deste projeto, estabelecida em 1:10.000.

Para os dados litológicos adaptou-se o trabalho desenvolvido pelo Instituto Geográfico e Geológico (1966) e Bacci (1994), o qual foi posteriormente reorganizado por Cunha (2001), apresentando-se na escala de 1:50.000. Assim, com os *shapefiles* adquiridos do trabalho de Cunha (2001), na ferramenta *Catalog*, criaram-se outros novos, agora representando as feições observadas na área de estudo, isto é, dentro do limite imposto, e, posteriormente selecionando as feições no campo *Create Feature* e fixada a escala cartográfica desejada, realizou-se a adaptação da escala.

Já para o mapeamento dos dados pedológicos, utilizou-se dos mesmos princípios, mas com base no material desenvolvido por Koffler *et al* (1992) na escala de 1:50.000, o qual foi adaptado para a escala de 1:10.000 conforme o objetivo deste presente trabalho. Estes dados não são os ideais, assim tem se buscado reambular estas informações em trabalhos de campo.

4.6 Carta de Uso Adequado das Terras

Para a elaboração da Carta de Uso Adequado das Terras, seguiu-se a proposta sugerida por Zanatta (2018), que se baseia nas metodologias da Cartografia Geomorfológica Retrospectiva, Geoecologia das Paisagens e Sistema de Capacidade de Uso. Esta abordagem considera os pontos positivos e negativos de cada metodologia, bem como a [...] “evolução histórica do relevo, suas variáveis e

classes temáticas, identificando aquelas com maior ou menor potencial para a formação e desenvolvimento de processos erosivos” [...] (Zannata, 2018, p.132), Ainda, têm por intuito complementar e adaptar a orientação de uso adequado das terras proposta por Lepsch *et al.*(1983).

Dessa forma, foram consideradas todas as informações obtidas ao longo desse trabalho, isto é, os dados da cartografia retrospectiva; os morfométricos; o mapeamento das Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal; os compartimentos do relevo e as informações referentes à litologia e pedologia da bacia do rio Pirapitinga.

Inicialmente, foram quantificados os dados referentes às feições erosivas lineares (sulco, ravina e talude de voçoroca), dos cenários de 1988 e 2010, em relação aos fatores mencionados anteriormente, para elencar sua maior ou menor suscetibilidade em função das características levantadas.

Assim, os dados de feições erosivas lineares foram transformados em polígonos, através da ferramenta *Buffer* disponível em *Geoprocessing* no *ArcMap*. Com isso, aos sulcos erosivos, mapeados nas cartas geomorfológicas em formato de linha, foi adicionado um *buffer* de 10 cm, as ravinas, mapeadas em *shapefiles* de polígono, foi adicionado um *buffer* de 50 cm e aos taludes de voçoroca, mapeados em formato de linha, foi adicionado um *buffer* de 100 cm (Stefanuto, 2019, p.58).

Posteriormente, através da ferramenta *Clip*, também disponível no *ArcMap*, todos os dados citados foram recortados referente as feições erosivas, para ambos os cenários, no intuito de obter a área ocupada em cada classe, de todas as variáveis analisadas. Diante disso, os dados foram calculados da seguinte forma:

Primeiramente, foram contabilizadas as áreas totais em m² de cada classe das diversas variáveis, bem como a área de cada feição erosiva, conforme demonstrado na Tabela 2, a qual toma como exemplo a variável compartimentos do relevo.

Tabela 1 - Área total das feições erosivas em compartimento do relevo.

Compartimentos do Relevo	Área (m²)	Sulco (m²)		Ravina (m²)		Talude de Voçoroca (m²)	
		1988	2010	1988	2010	1988	2010
Área Coletora - Planície e Terraço Fluvial	1160689	33,62	0,00	1301,38	1152,93	0,00	0,00
Área Emissora - Topo	1683250,19	394,26	0,00	78,02	218,37	0,00	0,00
Área Transmissora - Vertente Retilínea	678060,28	92,59	44,00	10685,28	0,00	0,00	440,30
Área Transmissora - Vertente Convexa	25246787	3890,07	576,28	94688,34	29597,05	419,73	5789,35
Área Transmissora - Vertente Irregular	410346,89	0,00	5,41	0,00	931,89	0,00	55,52
Área Transmissora - Vertente Côncava	13546386	2699,70	456,16	107287,60	9796,90	117,14	4581,90

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Posteriormente, foi calculada a porcentagem da área ocupada pelas feições erosivas em cada classe de cada variável. Para isso, considerou-se a área total de cada feição ao longo da bacia, possibilitando determinar a proporção de área ocupada. Esse cálculo pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Porcentagem de área ocupada pelas feições erosivas em cada compartimento do relevo.

Compartimentos do Relevo	Área (%)	Sulco (%)		Ravina (%)		Talude de Voçoroca (%)	
		1988	2010	1988	2010	1988	2010
Área Coletora - Planície e Terraço Fluvial	2,72%	0,47%	0,00%	0,61%	2,77%	0,00%	0,00%
Área Emissora - Topo	3,94%	5,54%	0,00%	0,04%	0,52%	0,00%	0,00%
Área Transmissora - Vertente Retilínea	1,59%	1,30%	4,07%	4,99%	0,00%	0,00%	4,05%
Área Transmissora - Vertente Convexa	59,09%	54,71%	53,27%	44,24%	70,98%	78,18%	53,27%
Área Transmissora - Vertente Irregular	0,96%	0,00%	0,50%	0,00%	2,23%	0,00%	0,51%
Área Transmissora - Vertente Côncava	31,71%	37,97%	42,16%	50,12%	23,50%	21,82%	42,16%

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Para cada classe, somaram-se as feições erosivas de 1988 e 2010, em seguida, dividiu-se esse total por 2, correspondendo ao número de cenários. Logo

após, esse resultado foi dividido pela área da variável em análise, como exemplificado na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Proporcionalidade entre as feições erosivas e compartimentos do relevo.

Compartimentos do Relevo	Sulco	Ravina	Talude de Voçoroca
Área Coletora - Planície e Terraço Fluvial	0,084	0,617	0,000
Área Emissora - Topo	0,703	0,071	0,000
Área Transmissora - Vertente Retilínea	1,685	1,566	1,270
Área Transmissora - Vertente Convexa	0,913	0,974	1,110
Área Transmissora - Vertente Irregular	0,260	1,157	0,260
Área Transmissora - Vertente Côncava	1,263	1,160	1,008

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Por fim, todos os valores foram divididos pelo maior valor encontrado, criando uma relação proporcional que varia entre zero e um (Tabela 4). Quanto mais próximo de um, maior a intensidade da feição erosiva observada. Vale ressaltar, que tal procedimento foi realizado no intuito de obter a real relação da suscetibilidade a erosão com as características do terreno, desconsiderando a área ocupada por cada classe, enfatizando seus aspectos qualitativos.

Tabela 4 - Relação proporcional que varia de 0 a 1 – Compartimentos do Relevo.

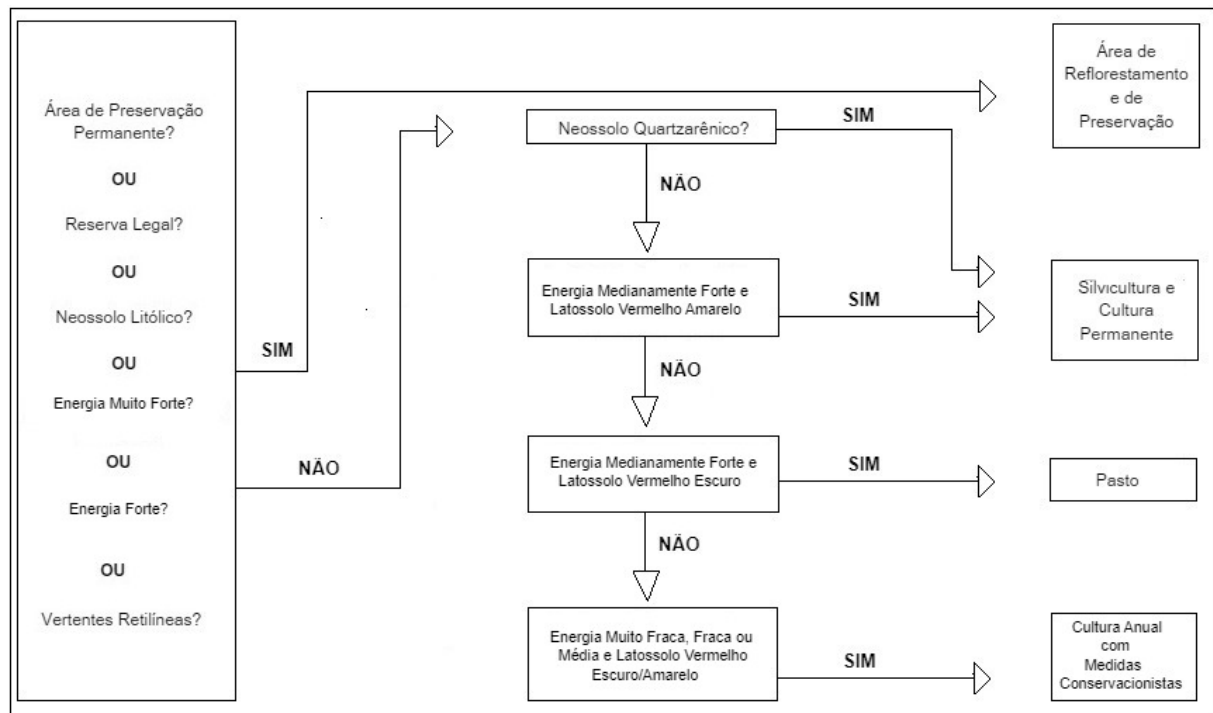
Compartimentos do Relevo	Sulco	Ravina	Talude de Voçoroca
Área Coletora - Planície e Terraço Fluvial	0,049	0,393	0,000
Área Emissora - Topo	0,417	0,453	0,000
Área Transmissora - Vertente Retilínea	1,000	1,000	1,000
Área Transmissora - Vertente Convexa	0,541	0,621	0,874
Área Transmissora - Vertente Irregular	0,154	0,738	0,204
Área Transmissora - Vertente Côncava	0,749	0,740	0,793

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Vale ressaltar, que tal procedimento foi realizado no intuito de obter a real relação de suscetibilidade de um relevo e suas características para a formação das feições erosivas, desconsiderando seu tamanho.

Diante disso, elaboraram-se duas propostas distintas de Carta de Uso Adequado das Terras, a primeira considerada ideal e a segunda viável. Quanto à primeira proposta, sua árvore de decisão encontra-se na figura a seguir:

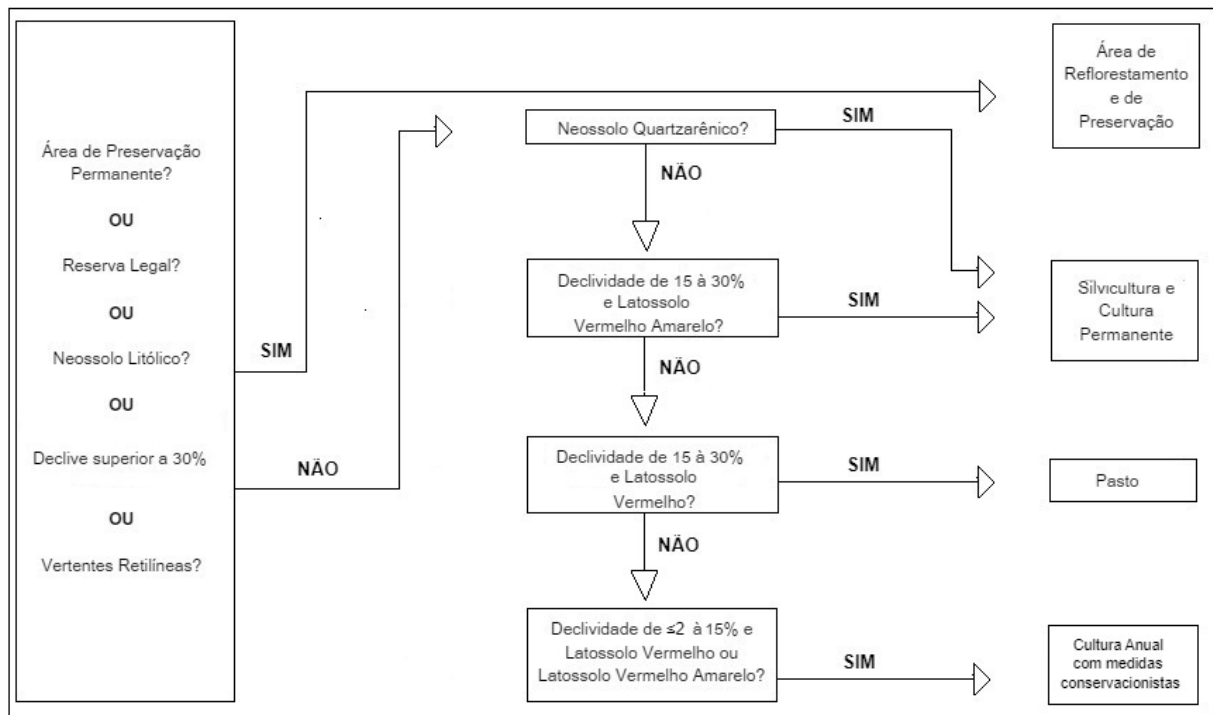
Figura 6 - Arvore de decisão para identificar o uso adequado das terras, proposta ideal.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Conforme observado na figura anterior, a proposta ideal utilizou como base os dados de energia do relevo, juntamente com informações sobre solo, compartimentos do relevo, áreas de preservação permanente e reserva legal. Em contraste, a proposta viável (Figura 7) utiliza dados de declividade em substituição à energia do relevo, além dos outros dados mencionados, sendo assim de menor complexidade.

Figura 7- Arvore de decisão para identificar o uso adequado das terras, proposta viável.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

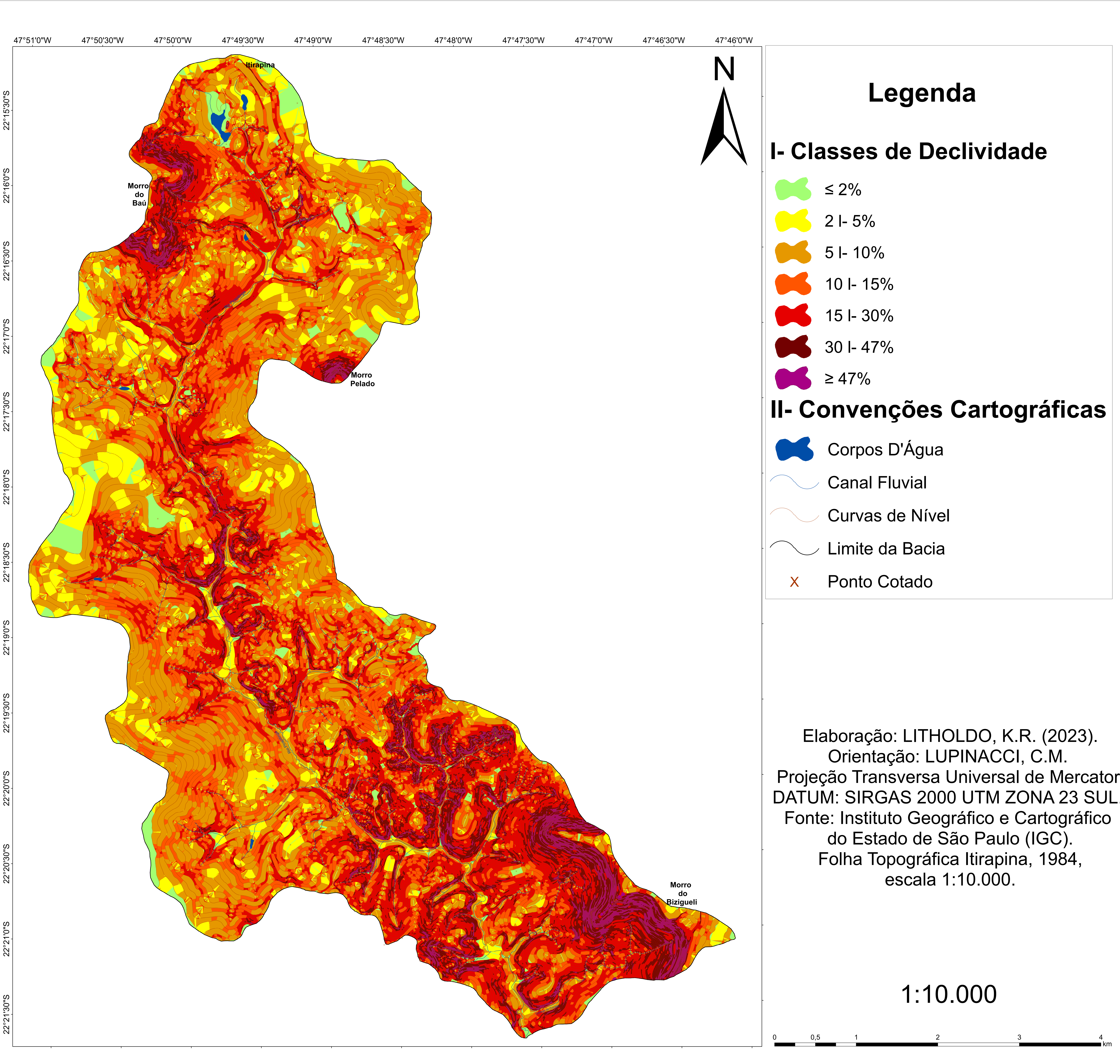
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A área de estudo, a bacia do rio Pirapitinga, o qual é afluente do rio Passa Cinco, encontra-se na Depressão Periférica Paulista, circundada pelo compartimento denominado de *Cuestas Basálticas*.

Nesse sentido, os resultados apresentados baseiam-se em dados extraídos de diversas cartas temáticas, incluindo: Declividade, Dissecação Horizontal e Vertical, Compartimentos do Relevo, Uso e Ocupação da Terra e Geomorfologia, com foco nos anos de 1988 e 2010 para os dois últimos. Adicionalmente, serão discutidos os resultados das cartas de Preservação Permanente e Reserva Legal, bem como da Carta de Energia do Relevo, dados litológicos e pedológicos, além da proposta de Uso Adequado das Terras, considerando tanto a proposta Ideal quanto a Viável.

Em relação à declividade (Figura 8), constatou-se uma variação notável quanto a esta característica. A menor classe apresentou um valor inicial de 2%, enquanto a última atingiu 45%, conferindo a área uma ampla diversidade de declives.

Figura 8 - Carta de Declividade da bacia do rio Pirapitinga (SP).

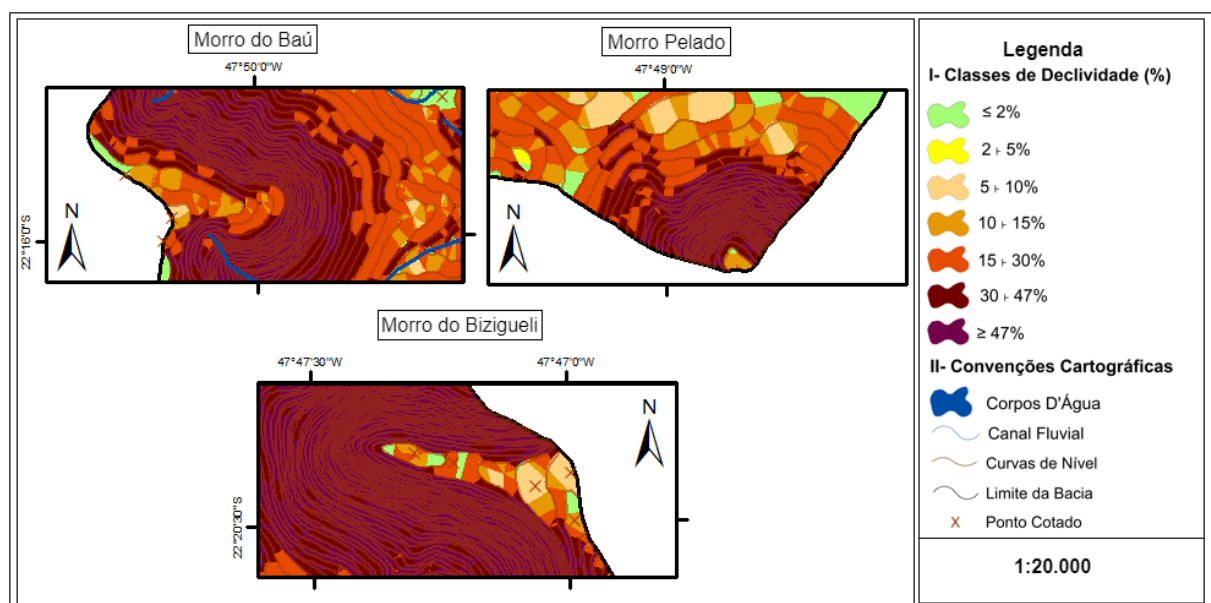


Nesse sentido, Cunha (2001) em seu trabalho referente à alta bacia do rio Passa Cinco aponta que:

Os setores N e NW da alta bacia do rio Passa Cinco, drenados pelo rio Pirapitinga, constituem-se na área onde se registram os topos mais suaves do ponto de vista morfométrico. Nos setores de topo ocorrem baixas declividades, sendo predominante aquelas inferiores a 5% e entre 5 e 10%, as quais correspondem também à baixa dissecação vertical e horizontal. Contudo, o setor de vale configura-se com razoável grau de entalhamento, registrando altas declividades, grande dissecação vertical e considerável densidade de drenagem (Cunha, 2001, p.83).

Os setores de maiores declives, evidenciados pelas cores mais escuras (Figura 9), encontram-se majoritariamente em torno dos morros testemunhos denominados Baú; Pelado e Bizigueli, bem como aponta Cunha (2001, p.71), ao mencionar que as “[...] maiores declividades ocorrem nos setores ocupados pelo front cuestasiforme e nas vertentes íngremes registradas nos morros testemunho [...]”, o último caso pertencente à área de estudo desta pesquisa.

Figura 9 - Declividade em torno dos Morros Testemunhos da bacia do rio Pirapitinga.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Por sua vez, o morro Pelado encontra-se na margem esquerda do rio Pirapitinga (Figura 10), exibindo um topo aplainado em comparação com seu entorno, e, o mesmo fato constata-se em relação ao morro do Baú, localizado a direita do rio e para o morro do Bizigueli, ao Sul, na margem esquerda do rio,

evidenciando uma declividade entre 2 e 15%. Já as suas encostas, possuem declividades superiores a 30%.

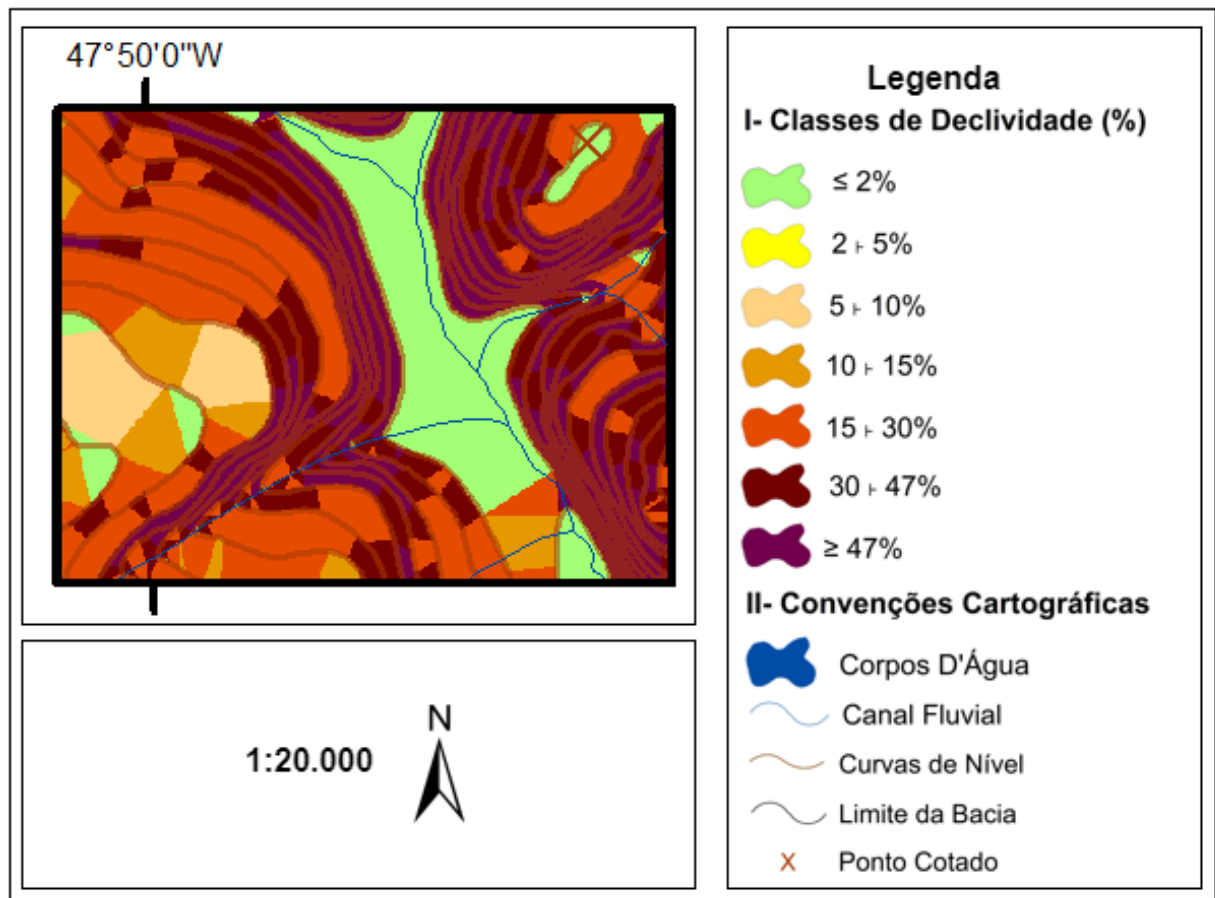
Figura 10 - Topo aplainado do morro testemunho denominado Pelado.



Fonte: Autora (2024)

Ainda, destaca-se uma notável elevação nas áreas circundantes ao curso d'água. Tal dado é resultado direto da incisiva ação erosiva da água, que, ao longo do tempo, moldou o terreno com declividades frequentemente superiores a 30% (Figura 11). Esta dinâmica fluvial intensa contribui para a configuração de uma topografia mais íngreme e acidentada.

Figura 11 - Declividades em áreas circundantes ao rio Pirapitinga (SP).



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No entanto, nas áreas diretamente percorridas pelo rio, evidencia-se uma declividade inferior, como visto na figura anterior (Figura 11), sugerindo processos geomorfológicos distintos, isto é, a deposição gradual de sedimentos ao longo do curso d'água, que resulta em terrenos mais planos e suaves, com declividades compreendidas em uma faixa menor, majoritariamente de 2%, mas variando em até 15% em alguns pontos. Nesse sentido, Souza, Andrade e Lupinacci (2020) evidenciam que:

Os pequenos afluentes perdem energia ao desaguar no Pirapitinga, resultando na acumulação de detritos nos setores de foz. As nascentes destes cursos d'água estão situadas em setores de declividades de 5-12% e 12-30% (Souza, Andrade e Lupinacci, 2020, p. 480).

Concomitante a isso, buscando compreender ainda a dinâmica natural do relevo, fez-se a análise da dissecação horizontal da bacia do rio Pirapitinga (Figura 12), avaliando a área ocupada por cada classe (Tabela 5).

Figura 12 - Carta de Dissecação Horizontal da bacia do rio Pirapitinga (SP).

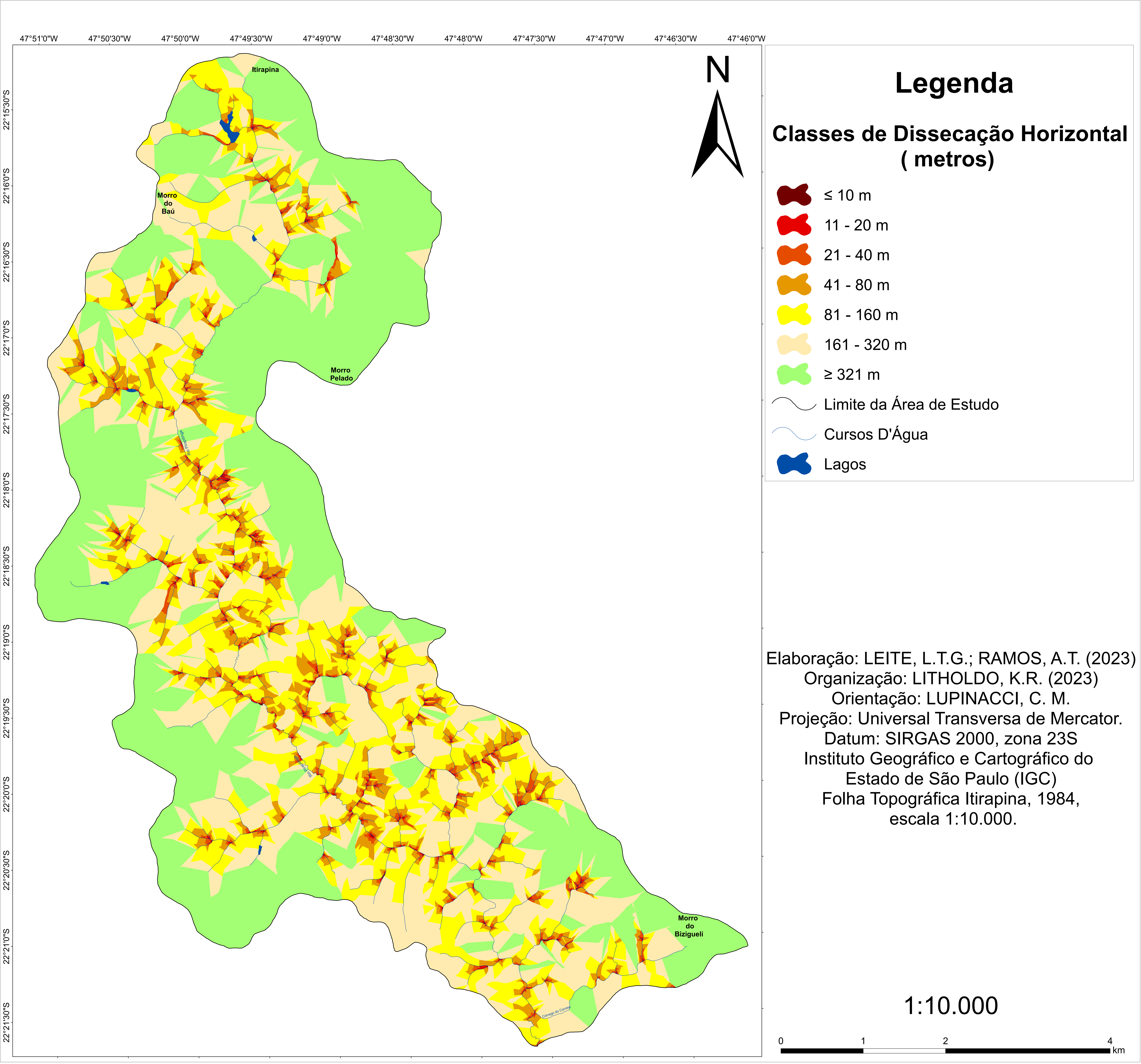


Tabela 5 - As classes de Dissecação Horizontal em área (m²) e porcentagem (%).

Dissecação Horizontal		
Classes	Área (m ²)	Porcentagem da área (%)
≤ 10 m	72037,90	0,17
11 - 20 m	198475,91	0,46
21 - 40 m	764938,87	1,79
41 - 80 m	2780363,46	6,51
81 - 160 m	8850649,95	20,73
161 - 320 m	13062182,18	30,59
≥ 321 m	16975774,86	39,75

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Assim, a análise revela que as classes representadas pelas cores vermelho, laranja e amarelo, de menor valor, indicam áreas com maior susceptibilidade à remobilização de material, caracterizando processos erosivos influenciados pelos cursos fluviais. Mesmo que em menor porcentagem, essas áreas estão predominantemente localizadas nas proximidades das nascentes e nas confluências dos rios, distribuindo-se por toda a bacia do rio Pirapitinga.

Nesse sentido, como observado, na bacia do rio Pirapitinga ocorre o predomínio da classe de dissecação igual ou superior a 321 metros, indicando a predominância de interflúvios amplos, com vertentes longas, as quais, a depender do grau do declive, podem dinamizar a energia do escoamento da água.

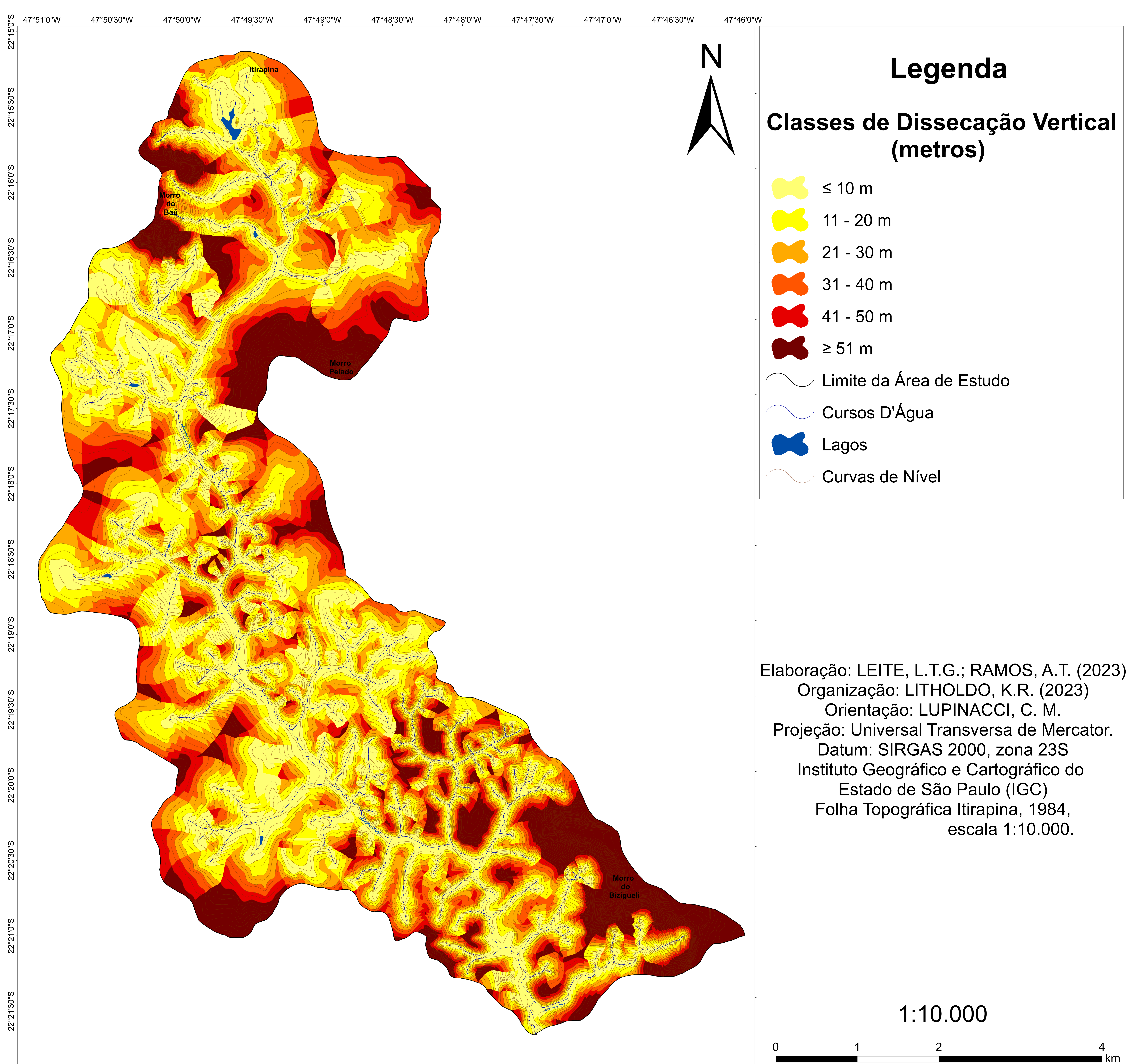
Por sua vez, ressalta-se que o dado em questão reflete a dissecação dos interflúvios, isto é, a distância horizontal que separa as linhas de cumeada dos talvegues, devido à ação d'água. As classes mais elevadas correspondem às vertentes de maior dimensão, indicando menor grau de dissecação. Por outro lado, as classes menos elevadas representam vertentes mais curtas, caracterizadas por um processo de dissecação mais intenso.

Nesse sentido, Souza, Andrade e Lupinacci (2020), constataram que:

Os vales de fundo plano do rio Pirapitinga, do rio Passa Cinco e do Córrego Monjolo Grande são predominantemente caracterizados pela classe de declividade de menor porcentagem ($<2\%$). Estes cursos d'água concentram baixos valores de Profundidade de Dissecção, porém apresentam altos valores de Densidade de Drenagem, indicando uma forte influência da erosão fluvial nos terrenos altimetricamente mais baixos da Depressão Periférica Paulista (Souza, Andrade e Lupinacci, 2020, p. 483).

Já no que se refere a Dissecção Vertical (Figura 13, Tabela 6), esta refere-se ao grau de entalhamento realizado pelos canais fluviais, indicando os setores com maior potencial para ocorrência de processos gravitacionais (Zanatta, 2018).

Figura 13 - Carta de Dissecação Vertical da bacia do rio Pirapitinga (SP).



Assim como anteriormente, a Tabela a seguir exhibe a porcentagem de área ocupada por cada classe mapeada:

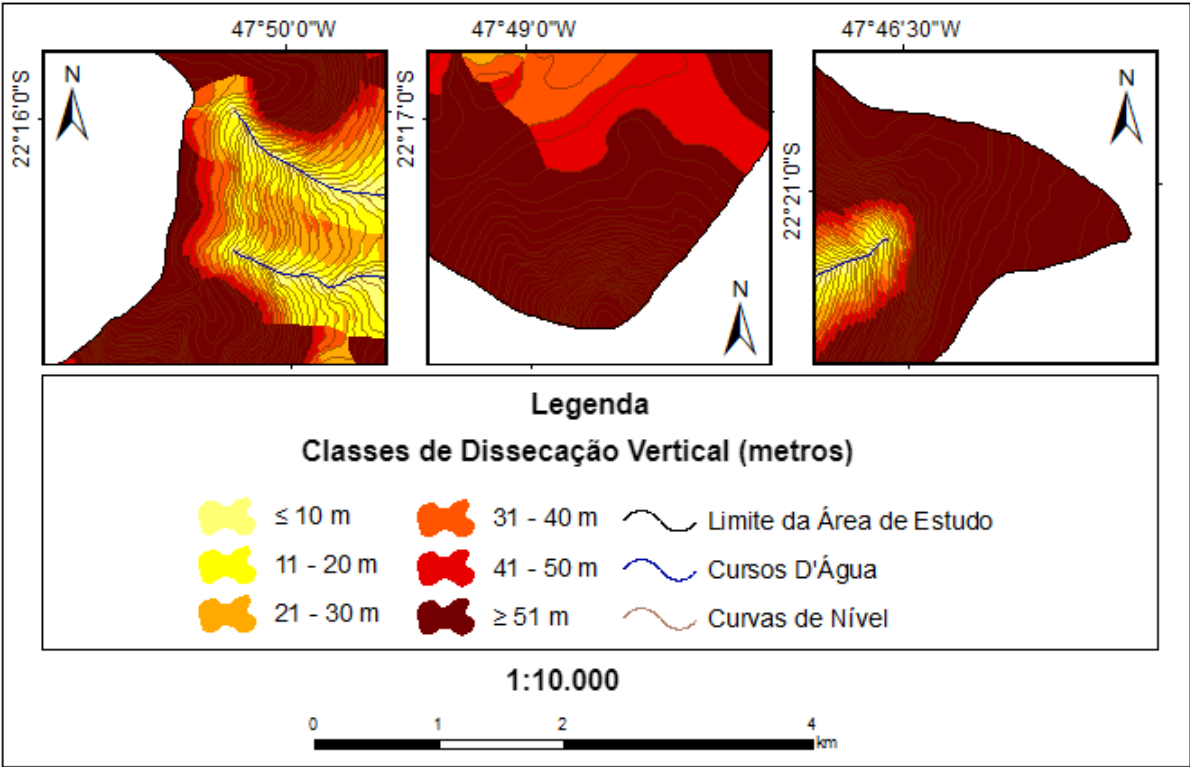
Tabela 6 - As classes de Dissecação Vertical em área (m²) e porcentagem (%).

Dissecação Vertical		
Classes	Área (m²)	Porcentagem da área (%)
≤ 10 m	10524427,38	24,64
11 - 20 m	9724175,28	22,77
21 - 30 m	7675757,81	17,97
31 - 40 m	5368906,73	12,57
41 - 50 m	3462333,7	8,11
≥ 51 m	5952114,84	13,94

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Dessa forma, podemos constatar que as menores classes, representadas pelos vários tons de amarelo ocupam a maior parte da bacia do rio Pirapitinga. Além disso, concentram-se nas imediações dos canais fluviais, indicando uma menor intensidade de entalhamento dos cursos d’água. Essa observação pode ser corroborada pela comparação com a declividade, conforme constatado anteriormente durante a análise da carta clinográfica, já que os setores destinados ao fundo de vale demonstraram ser mais planos, e vinculados à deposição fluvial, enquanto que os terrenos próximos aos morros testemunhos denominados Baú, Pelado e Biziguelli apresentam as maiores classes, evidenciadas pelas cores laranja e vermelho (Figura 14)

Figura 14 - Dissecação Vertical em torno dos morros testemunhos Baú, Pelado e Bizigueli, respectivamente.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Além da análise morfométrica, considera-se que a compreensão da morfologia do relevo (Figura 15) de uma área é fundamental para o planejamento e reconhecimento de suas potencialidades naturais. Ainda, além do mapeamento, apresentam-se as porcentagens de área ocupada pelos diferentes compartimentos de relevo (Tabela 7) encontrados na área de estudo, destacando sua distribuição e proporção.

Figura 15 - Carta de Compartimentos do Relevo da Bacia do Rio Pirapitinga (SP).

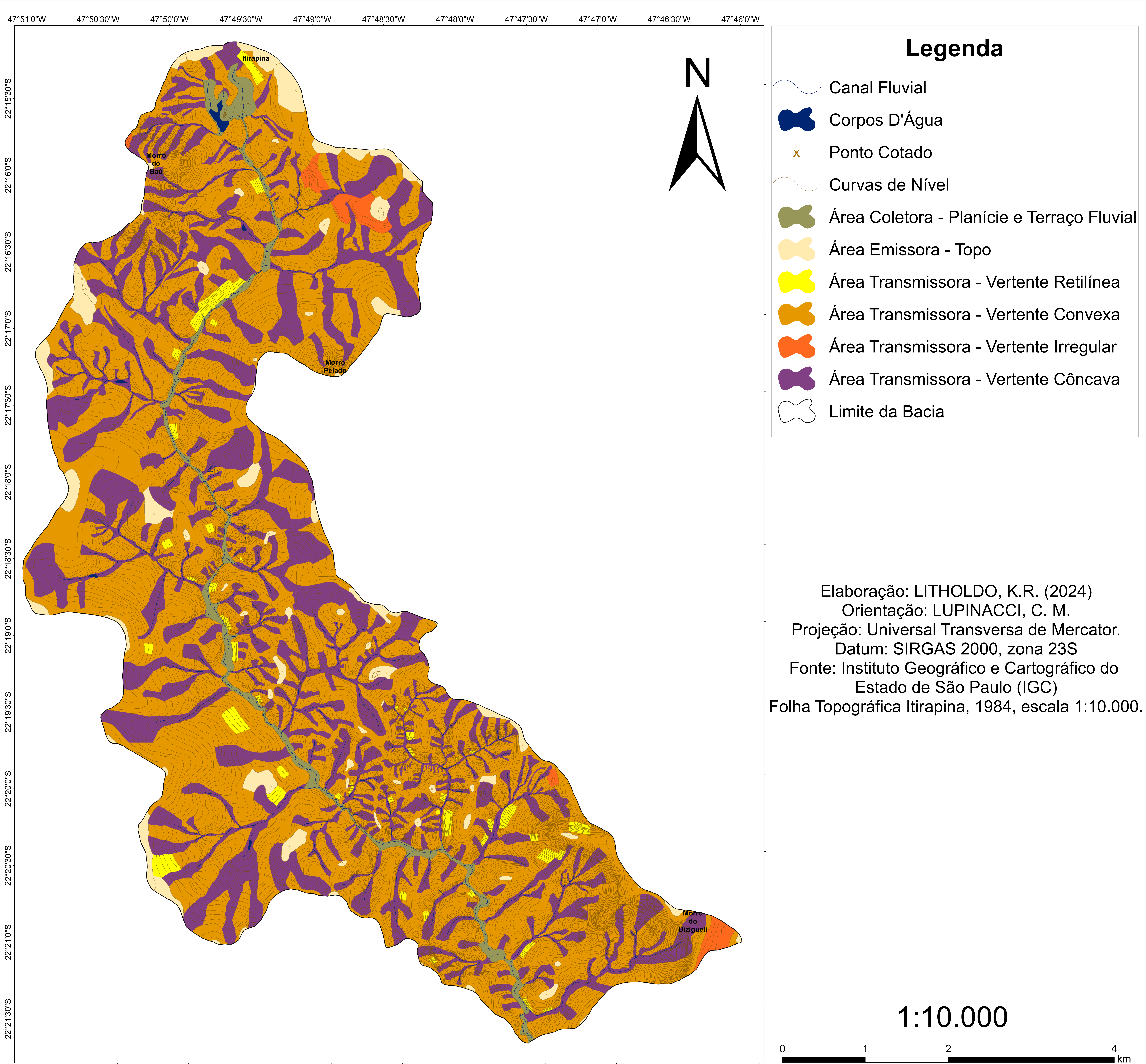


Tabela 7 - As classes de Compartimentos de relevo em área (m²) e porcentagem (%).

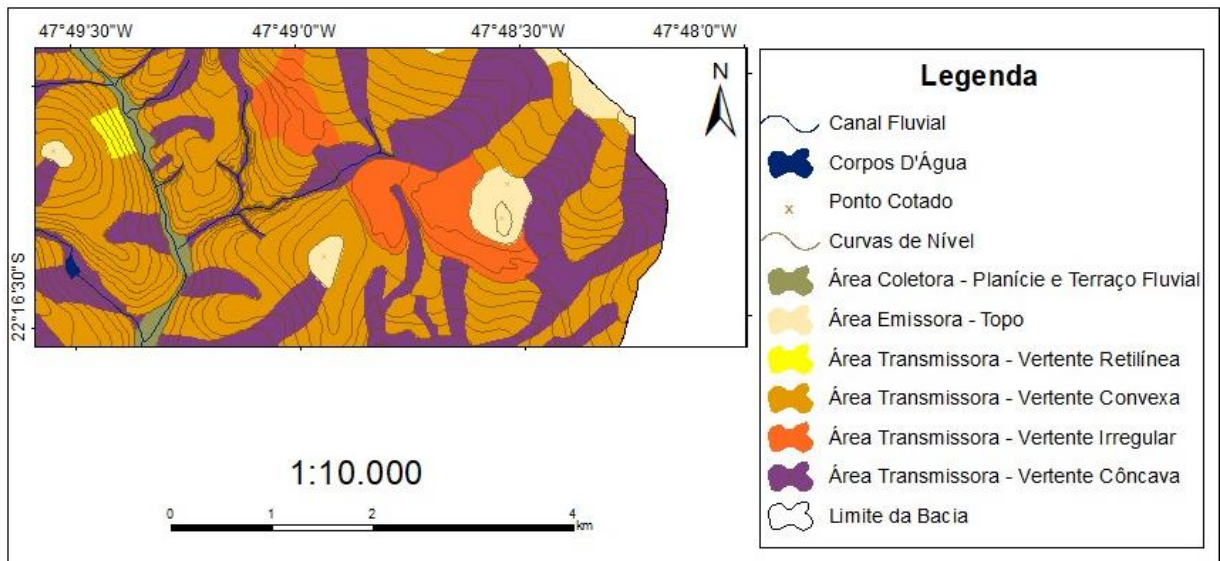
Compartimentos do Relevo		
Classes	Area (m ²)	Porcentagem da área (%)
Área Emissora - topo	1683250,19	3,94%
Área Transmissora - Vertente Retilínea	678060,28	1,59%
Área Transmissora - Vertente Convexa	25246787,11	59,09%
Área Transmissora - Vertente Irregular	410346,89	0,96%
Área Transmissora - Vertente Côncava	13546386,42	31,71%
Área Coletora - Planície e Terraço Fluvial	1160689	2,72%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A análise das porcentagens dos compartimentos de relevo na área revela uma distribuição diversificada e significativa dos diferentes tipos de compartimentos. Assim, ocorre a presença da classe denominada Área Emissora - topo, a qual caracteriza-se por suas elevações mais proeminentes, desempenhando um papel fundamental no início de processos erosivos e na distribuição do escoamento superficial.

Já as classes referentes às áreas transmissoras representam a maior parte da área de estudo, com variações significativas em sua morfologia. A vertente convexa domina em termos de extensão e como resultado, desempenha um papel crucial, facilitando a dispersão do escoamento das águas, já que são comumente encontradas entre os rios da bacia do rio Pirapitinga (Figura 16).

Figura 16 – Disposição dos Compartimentos do Relevo da bacia do rio Pirapitinga (SP).



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Por outro lado, as vertentes côncavas também ocupam uma parcela significativa da área, sendo caracterizada por seus declives superiores a 5%, resultando em um padrão de escoamento mais concentrado (Figura 13), e em maior susceptibilidade à erosão devido à sua topografia.

Já as áreas transmissoras vinculadas as vertentes irregulares e retilíneas ocupam parcelas menores, apresentando variações na inclinação e na forma do terreno, contribuindo para a complexidade da paisagem.

Por fim, as áreas coletoras caracterizadas como planícies e terraços fluviais situadas em áreas de menor declive, atuam como receptoras dos sedimentos transportados pelas águas, desempenhando um papel essencial na deposição e na formação de terrenos aluviais.

No que concerne a Energia do Relevo, essencial para a pesquisa por possibilitar a análise do potencial denudativo dos terrenos, ou seja, a propagação de processos erosivos, a Tabela 8 apresenta as classes mapeadas na área de estudo e sua distribuição.

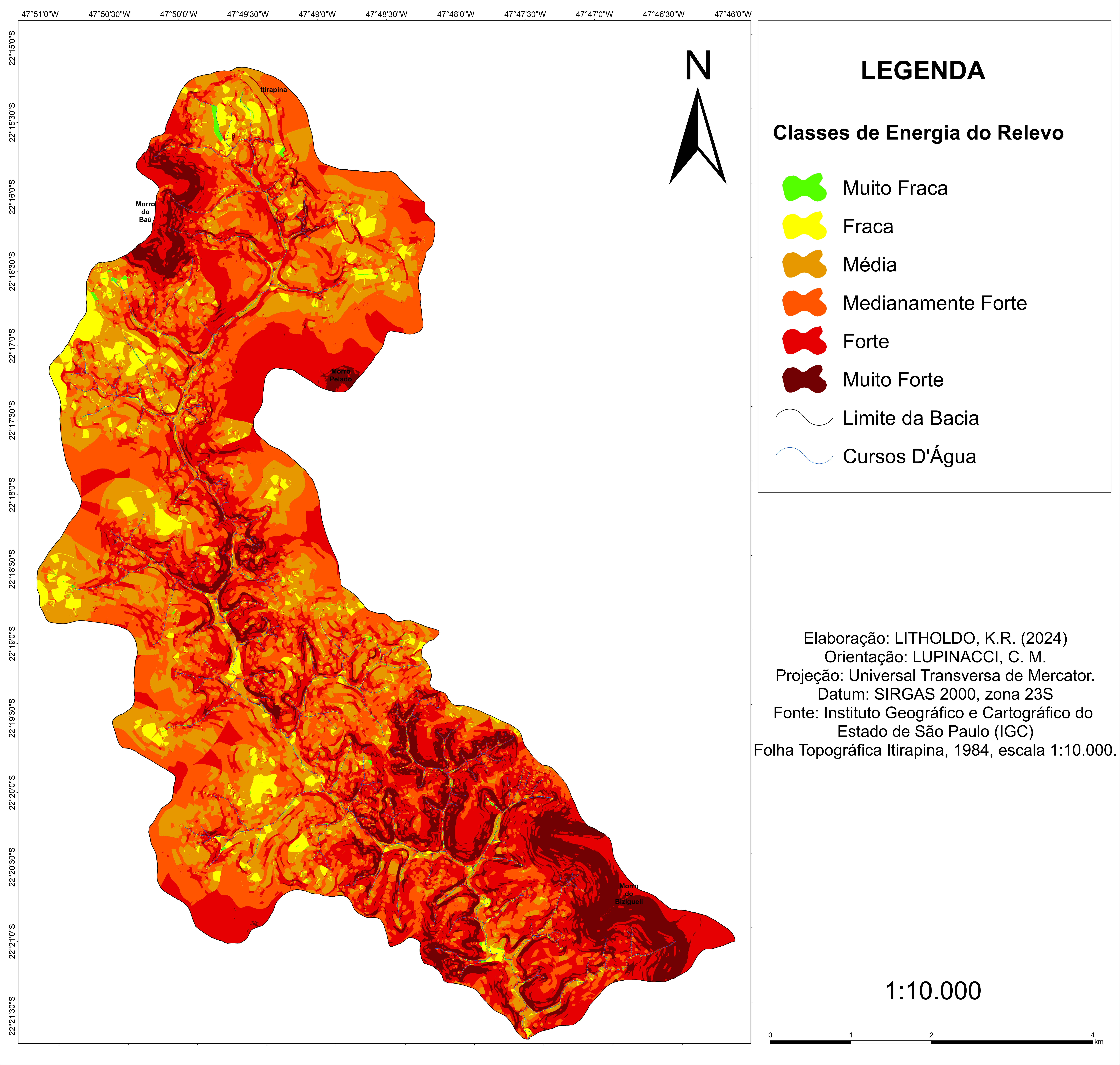
Tabela 8: Área Ocupada por cada classe de energia do relevo na bacia do rio Pirapitinga (SP).

Classes de Energia	Área ocupada em m ²	Área ocupada em porcentagem
Muito Fraca	0,44767	0,00%
Fraca	1700551,66798	3,99%
Média	8655605,89670	20,31%
Medianamente Forte	12903633,04587	30,28%
Forte	13800574,47616	32,38%
Muito Forte	5558483,70178	13,04%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

A partir da análise dos dados apresentados e da Carta de Energia do Relevo (Figura 17), verifica-se a predominância das classes de energia Forte e Medianamente Forte, que juntas representam 62,66% da área total da bacia. Esse cenário indica um potencial significativo para a formação de processos denudativos, favorecidos pela declividade local, que na sua maioria correspondem a declives entre 10% e 30%.

Figura 17 – Carta de Energia do Relevo da bacia do rio Pirapitinga (SP).



Nesse sentido, um ponto importante a ser salientado, é que os setores destinados aos morros testemunhos, sendo estes Baú, Pelado e Bizigueli possuem em seu topo uma energia Forte, circundada pela classe de energia Muito Forte, indicando a existência de vertentes íngremes que aceleram o processo de escoamento superficial, evidente através da alta quantidade de drenagens com fundo de vale em V, bem como a existência de nascentes em torno dos morros testemunhos.

Outro aspecto relevante é que, na classe de energia Forte a dissecação horizontal é de 11 a 20m, enquanto que na classe de energia Medianamente Forte é de 21 a 40m, indicando a existência interflúvios pequenos, que são característicos de áreas com alto potencial de erosão e processos geomorfológicos ativos, visto que a presença de rios próximos intensifica a atividade denudativa.

No que tange às classes de energia Muito Fraca e Fraca, são predominantemente encontradas em áreas de fundos de vale, sinalizando uma diminuição no potencial erosivo. Isso ocorre devido à declividade desses setores, que varia de $\leq 2\%$ a 5%, ocasionando uma redução da velocidade do escoamento superficial, bem como pela dissecação horizontal, que indica a presença de vertentes longas, que, em baixos declives, contribui para a diminuição do potencial erosivo.

Em conclusão, a bacia do rio Pirapitinga, localizada na Depressão Periférica Paulista e circundada pelos morros testemunhos vinculados as Cuestas Basálticas, apresenta uma diversidade morfológica e uma dinâmica natural complexa. Os resultados revelam uma variação significativa na declividade e uma distribuição diversificada dos compartimentos de relevo, influenciando o potencial erosivo e a dinâmica fluvial da região. A predominância de classes de energia do relevo forte e medianamente forte sugere um elevado potencial para processos denudativos, fatores cruciais para o planejamento ambiental da área estudada.

Ainda, buscando compreender as mudanças antrópicas sofridas pela área a partir de uma proposta comparativa, analisaram-se dois cenários distintos, 1988 e 2010, gerando mapeamentos de uso e ocupação da terra e geomorfológicos para ambos os anos.

Através dos mapeamentos geomorfológicos, foram observadas feições como sulcos erosivos, ravinas, voçorocas, terraços agrícolas, leques aluviais, entre outros. Já nos mapeamentos de uso e ocupação da terra, observou-se a presença de cana de açúcar, silvicultura, pasto, citricultura, vegetação arbórea, entre outros (Figuras 18 e 19).

Figura 18 - Carta de Uso e Ocupação da Terra na bacia do rio Pirapitinga (1988)

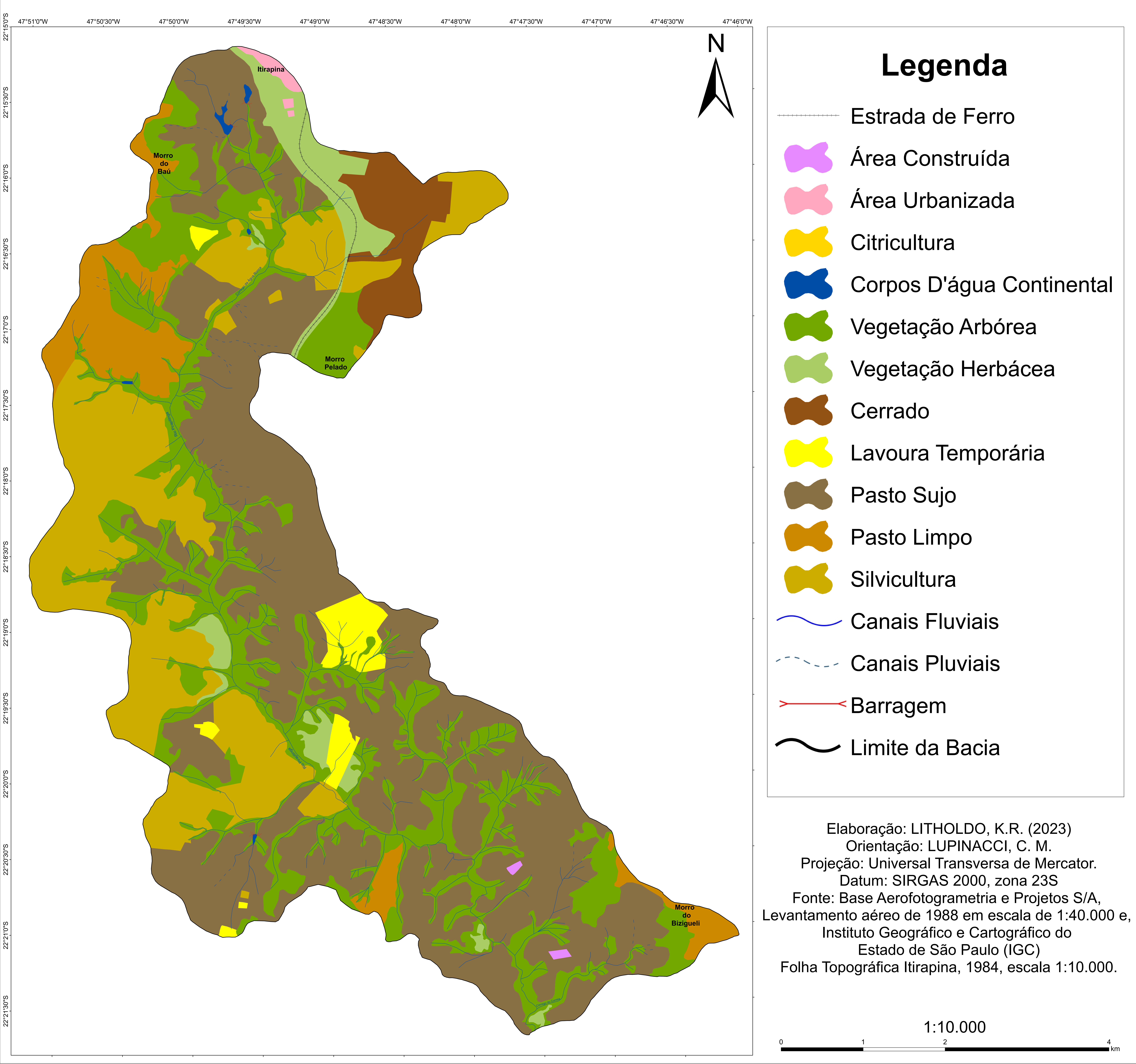
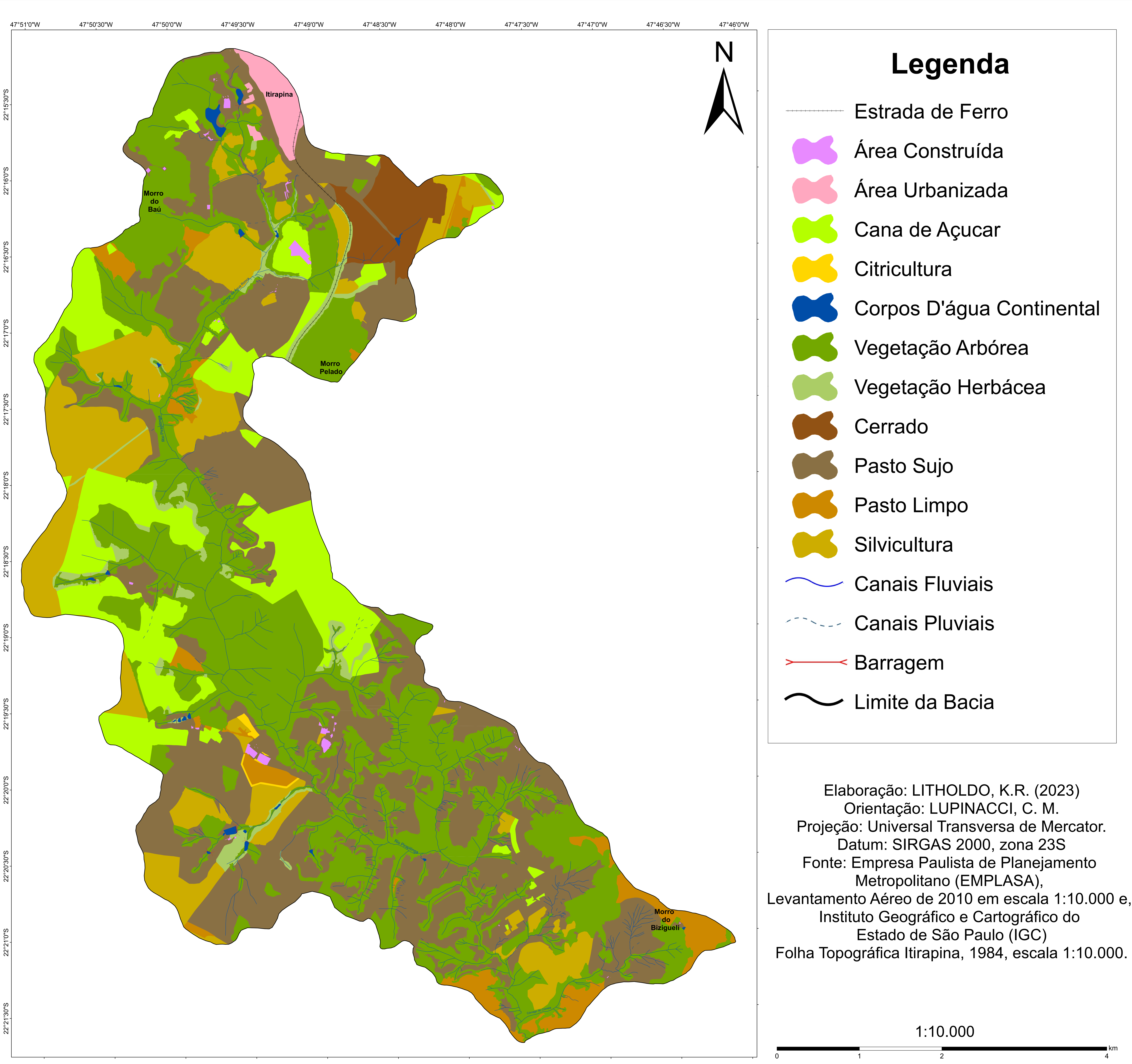
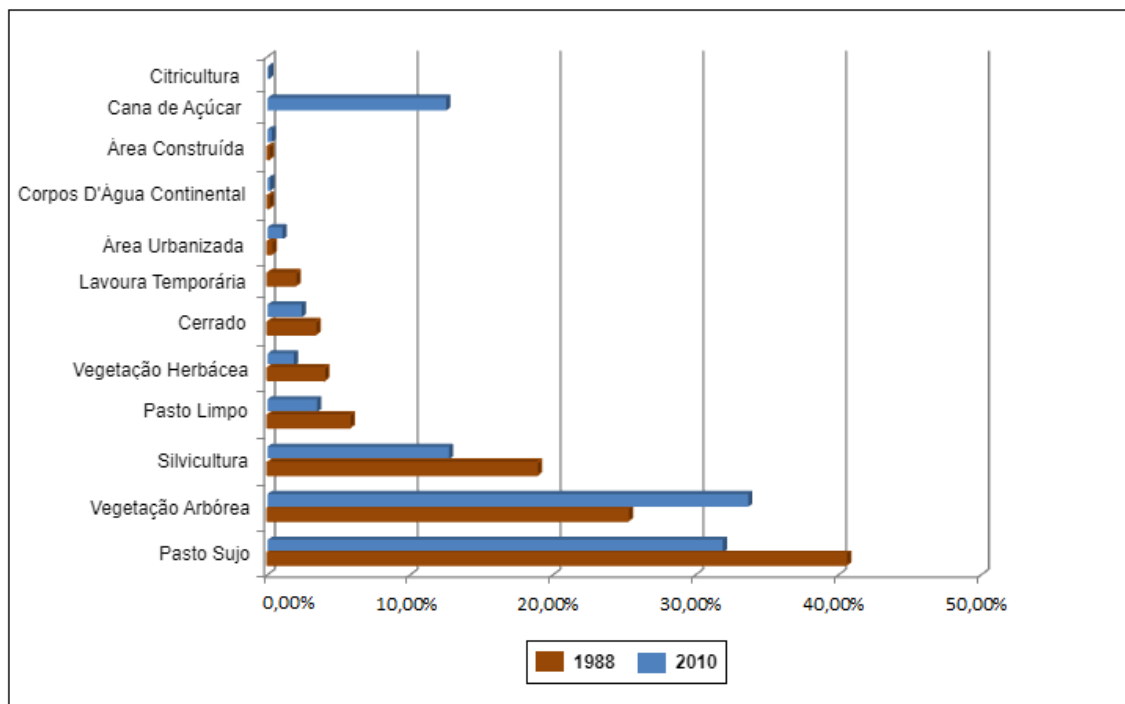


Figura 19 - Carta de Uso e Ocupação da Terra da bacia do rio Pirapitinga (2010)



Os dados obtidos foram transformados em gráficos, os quais apresentam, em porcentagem (%), a área ocupada por cada classe mapeada (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Área ocupada pelas classes de uso da terra em, em porcentagem (%) – 1988 e 2010.

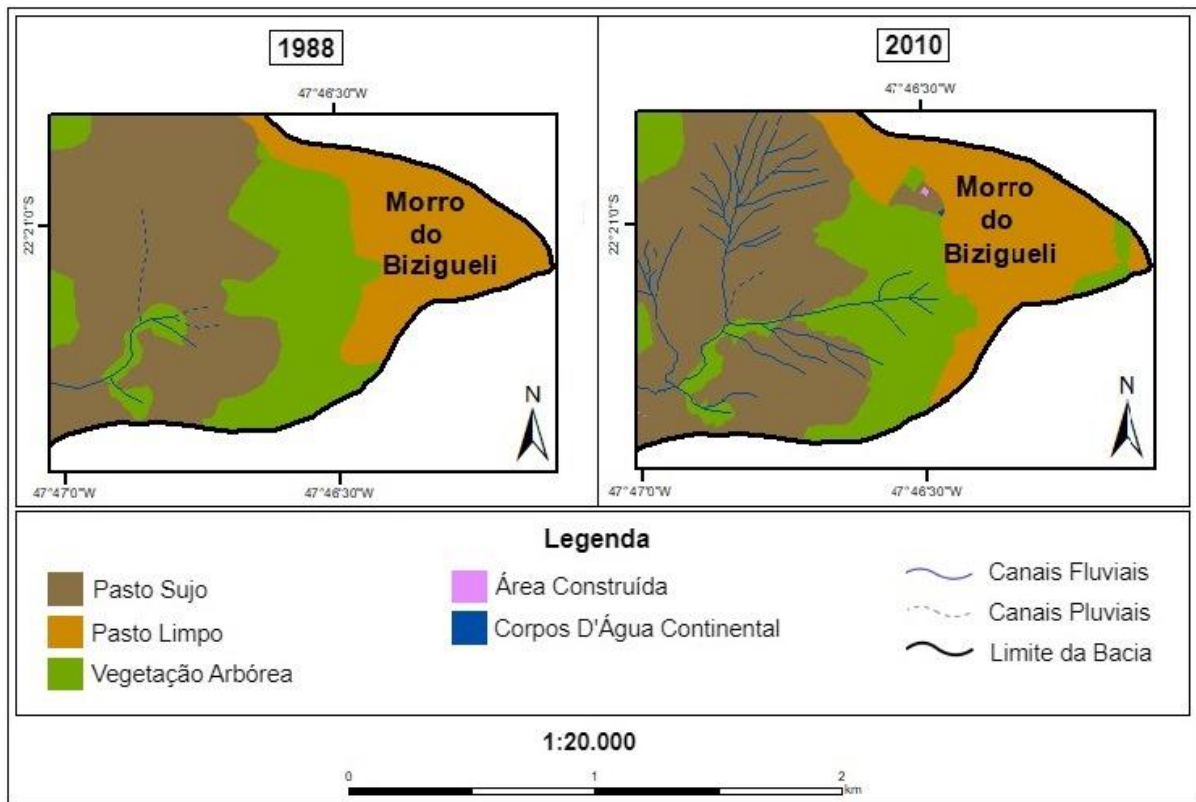


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A bacia do rio Pirapitinga abrange uma extensão territorial de 43,44 km², e, a partir de uma análise comparativa temporal, constatou-se um extenso uso da classe denominada pasto sujo. No cenário de 1988 seu uso é predominante, e em 2010, observa-se uma transição notável, com a referida classe ocupando a posição de segunda maior categoria de uso e ocupação da terra.

Por sua vez, constatou-se que o pasto sujo tende a ocupar as áreas que possuem maior declividade (Figura 20 e 21), que como visto anteriormente são as proximidades com os morros testemunhos. Essa preferência está relacionada à dificuldade que tal característica impõe a manutenção de outros usos, os quais demandam maior utilização de maquinaria para sua conservação. Além disso, de acordo com a Lei nº 12.651, os setores com declividade entre 25° e 45° são áreas de uso restrito e, portanto “[...] serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades” (BRASIL, 2012, Art. 11º).

Figura 20 – Predominância da classe pasto sujo em áreas de maior declividade (1988 e 2010).



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Figura 21 – Predominância da classe pasto. (colocar uma atual)



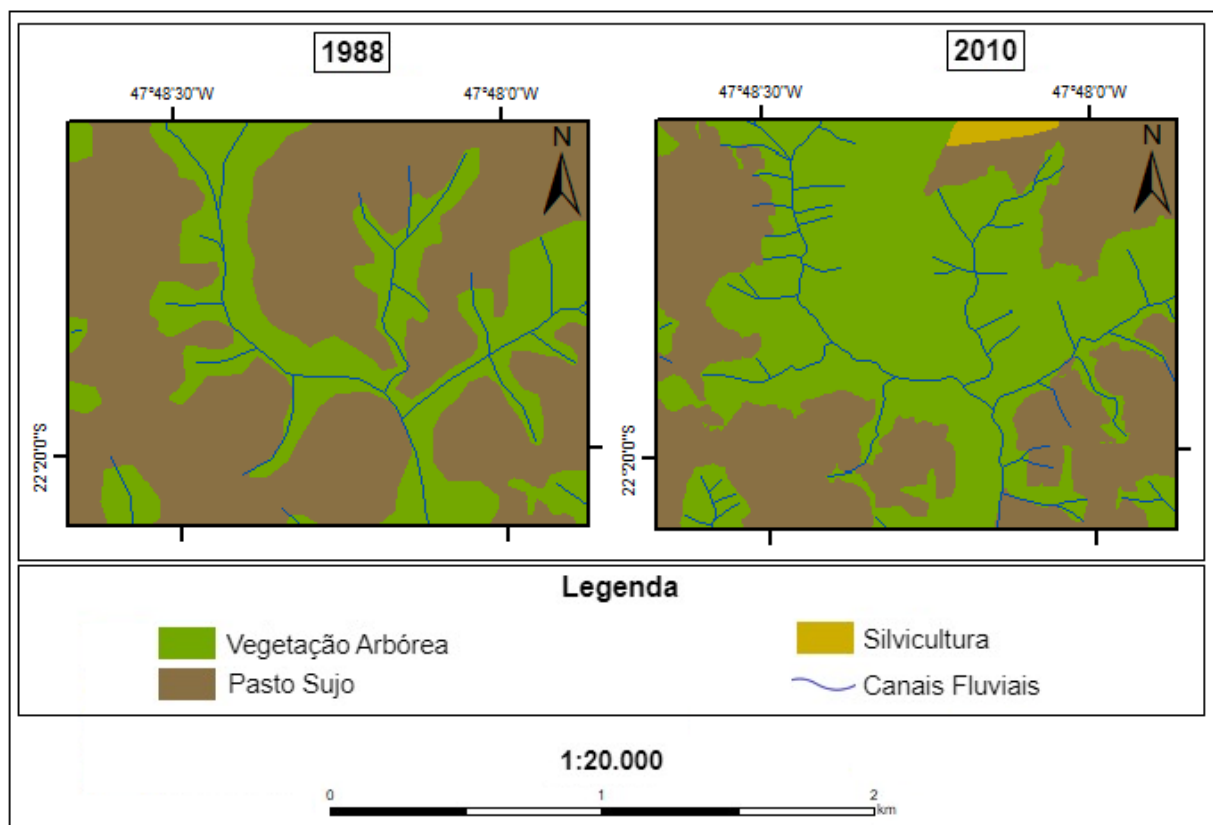
Fonte: Autora (2024).

Por sua vez, Corvalán (2005) observa que ao longo dos anos as áreas da bacia do rio Passa Cinco, que engloba a área estudada, têm cedido espaço para

culturas agrícolas como a cana de açúcar, o eucalipto e a vegetação arbórea. Concernente a isso, a análise dos gráficos 1 e 2 permitem constatar que o mesmo ocorre na bacia do rio Pirapitinga, em que a classe pasto sujo sofreu a maior redução, cerca de 8,65%, dando margem ao crescimento das classes vegetação arbórea; área urbanizada; corpos d'água continental e área construída, além do surgimento das classes cana de açúcar e citricultura.

Nas áreas de maior declividade, a classe pasto sujo manteve-se como a mais predominante e, nos pontos em que sofreu redução, ocorreu principalmente o avanço da vegetação arbórea, que ocupava uma área de aproximadamente 10,97 km² em 1988 e amplia-se para aproximadamente 14,63 km² em 2010. Outra característica notável reside no fato de que esta classe permanece nos mesmos locais do primeiro cenário, contudo, em proporções mais amplas e abrangentes, isto é, com um aumento significativo em largura na representação cartográfica, como demonstrado na figura 22.

Figura 22 – Comparação da distribuição espacial da vegetação arbórea na bacia do rio Pirapitinga (1988 e 2010).



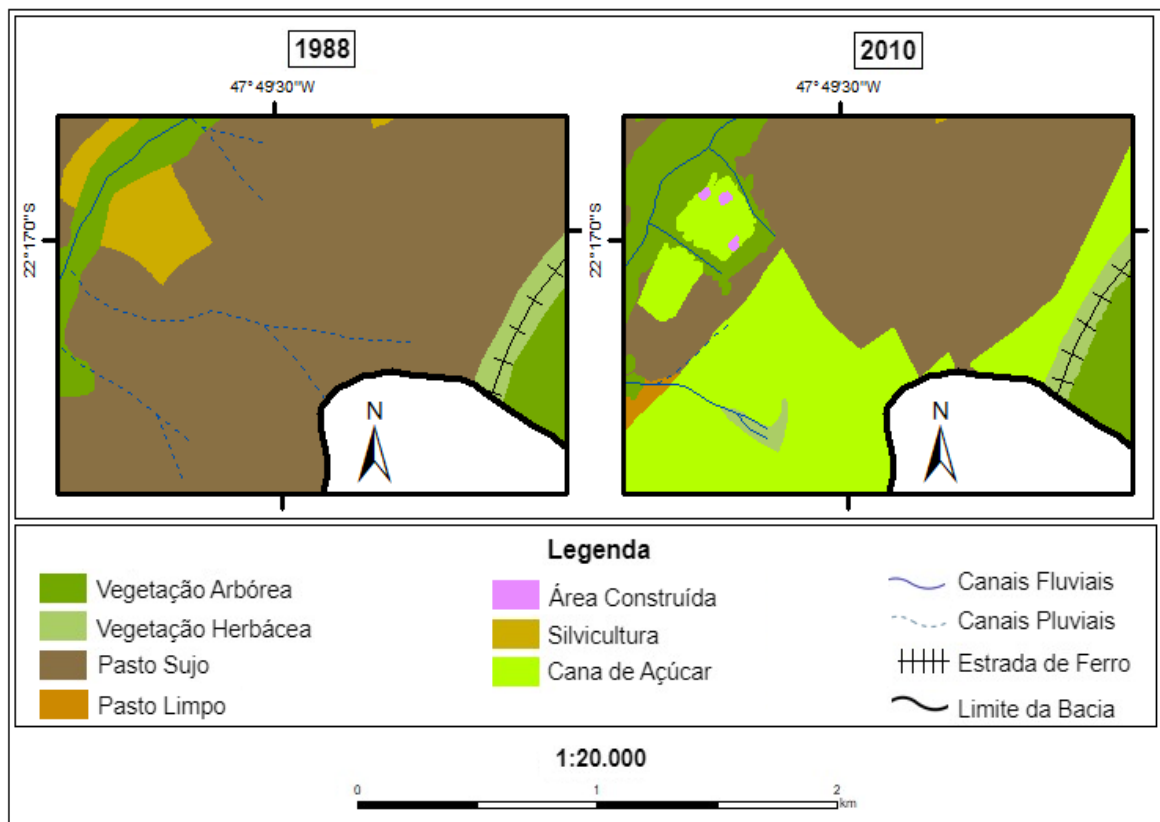
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Para Corvalán (2005), a presença desta vegetação deve-se ao fato de ocorrerem em áreas de Preservação Permanente e com isso a obrigatoriedade da preservação de florestas e outras formas de vegetação natural ao redor das nascentes dos rios, topos de morros, encostas e áreas de alta declividade.

No tocante à categoria cana de açúcar, Adami *et al.* (2013), enfatiza que a expansão do cultivo de cana-de-açúcar em terras paulistas entre 2005 e 2011 manifestou-se predominantemente em áreas anteriormente destinadas a pastagens (63,1%), bem como em terrenos designados a culturas anuais ou temporárias (32,1%). Esses resultados corroboram a evidência de que a expansão acentuada da cana-de-açúcar está ocorrendo mediante a ocupação de territórios previamente alocados para a produção de alimentos.

Quanto a presente área de estudo, a cana de açúcar, registrada somente no cenário de 2010, ocorreu sobre a classe pasto sujo, bem como sobre a de silvicultura (figura 23), estando em áreas de média declividade. Este padrão sugere uma correlação entre a topografia do terreno e a ampliação da cultura, indicando que áreas com menor inclinação foram mais propícias à incorporação de culturas que demandam maior manutenção e manejo intensivo.

Figura 23 – Diminuição do pasto sujo e da silvicultura devido à cana de açúcar na bacia do rio Pirapitinga (SP).



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

De acordo com Pilachevsky e Pinto (2011):

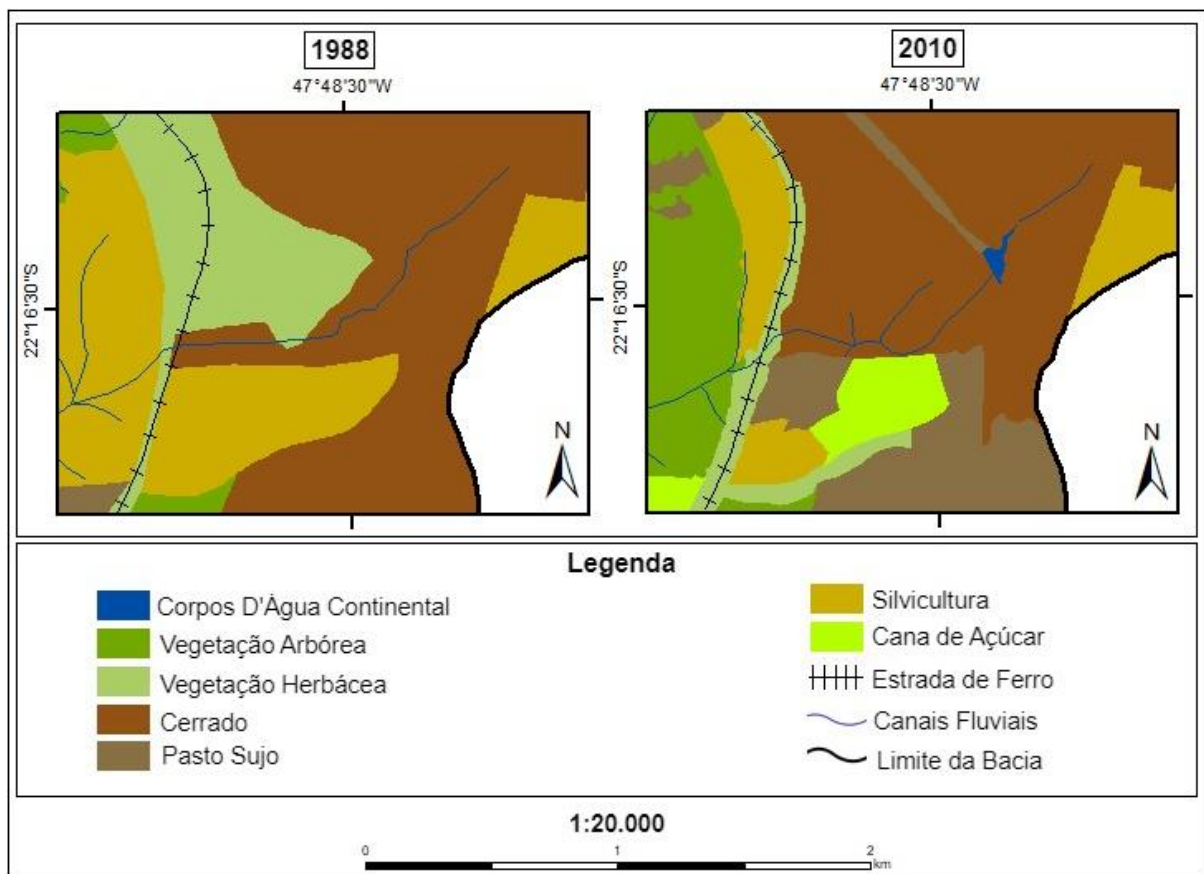
As áreas que apresentam declives inferiores a 12% são áreas em que o corte da cana possui o potencial de ser mecanizado. Já as áreas com declives superiores a 12% a implantação do maquinário se torna dificultosa o que impossibilita o corte mecanizado e consequentemente aumenta a necessidade da realização da queima pré-corte da cana-de-açúcar (corte manual) (Pilachevsky e Pinto, 2011, p. 628).

No que concerne à classe de vegetação herbácea, esta registrou uma diminuição em suas feições, sendo pouco expressiva na área de estudo. Assim, torna-se importante ressaltar que sua presença ocorre geralmente entre áreas de vegetação arbórea e de cultivo de cana de açúcar, conforme evidenciado anteriormente (Figura 23), bem como na transição entre as áreas de pastagens e silvicultura.

Outra categoria de uso da terra que registrou uma contribuição menos proeminente refere-se à classe associada ao Cerrado, o qual desempenha o papel

de Reserva Legal, mas que apresentou uma diminuição no cenário de 1988 para o de 2010, dando margem, especificamente em suas proximidades, ao avanço da classe pasto sujo e cana de açúcar (Figura 24). Segundo Valente (2001), na sub-bacia do rio Passa Cinco, “[...] essa vegetação não tem uma estrutura florestal estabelecida, mas contribui para a locomoção de animais na paisagem, colaborando para a dispersão de sementes [...]” (Valente, 2001, p.112), além disso, o “[...] o número de fragmentos do Cerrado e, principalmente a distância entre eles, não contribuem para a perpetuação desse tipo de vegetação no Passa-Cinco” (Valente, 2001, p.112).

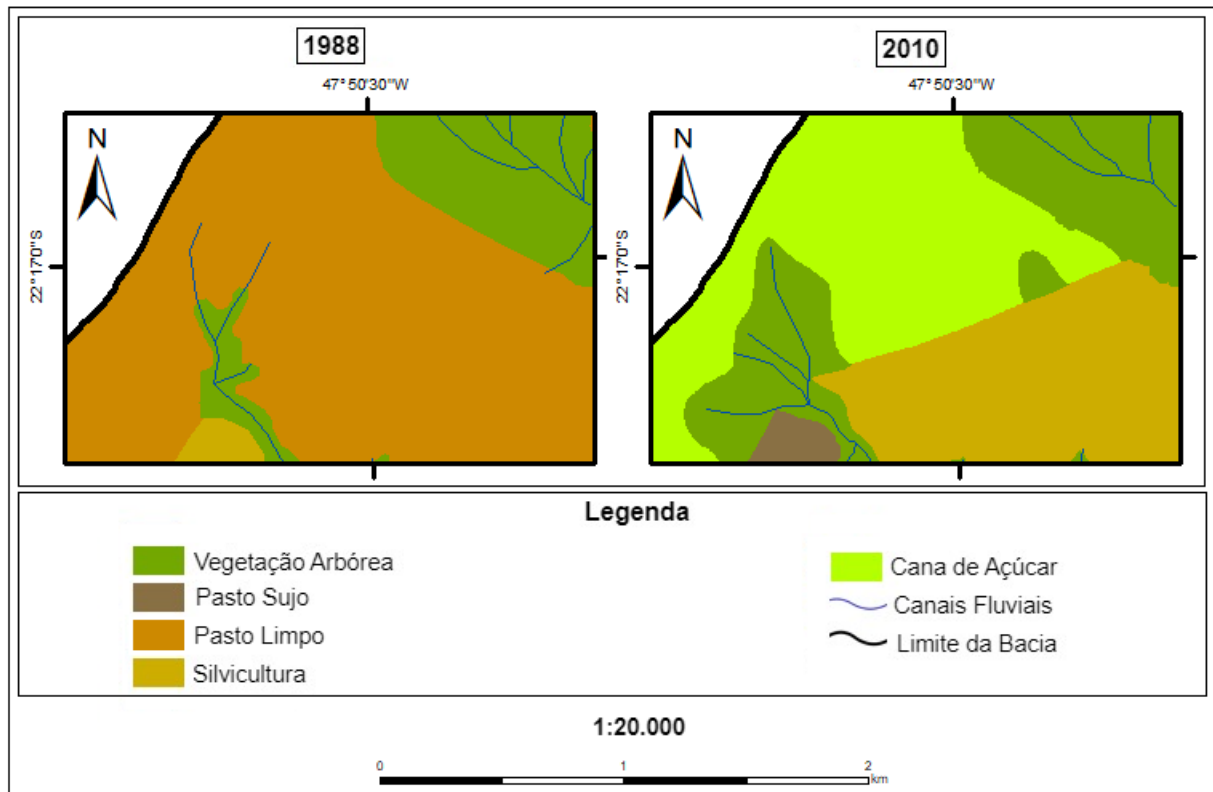
Figura 24– Diminuição da classe Cerrado do cenário de 1988 para o de 2010.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Quanto à categoria de uso da terra denominada pasto limpo, distinguível da classe pasto sujo pela sua menor variação na presença de vegetação arbórea entre as gramíneas, registrou-se uma substituição considerável pela classe silvicultura e cana de açúcar. Essas alterações são evidenciadas na Figura 25 a seguir:

Figura 25 - Diminuição da classe pasto limpo em função da expansão da silvicultura e cana de açúcar.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Por fim, à classe área urbanizada, apresentou um crescimento de 0,76%, saltando de 0,13 km² para 0,46 km², o cenário de 1988 para o de 2010, enquanto que a classe área construída, destinada as construções rurais e granjas, passaram de 0,04 km² para 0,14 km², evidenciando um caráter agrário e não urbano da bacia do rio Pirapitinga.

Como proposto, cabe ainda compreender a mudança da dinâmica geomorfológica nos períodos estabelecidos, a partir de uma proposta comparativa com o uso e ocupação da terra e declividade identificando a expansão ou regressão de feições erosivas, bem como a atuação antrópica através de terraços agrícolas. Ressalta-se que as informações geomorfológicas mapeadas (Figuras 26 e 27) foram sobrepostas aos dados referentes à litologia e solos (Figuras 2 e 3), a fim de considerar também a influência dessas características dos terrenos sobre as feições do relevo.

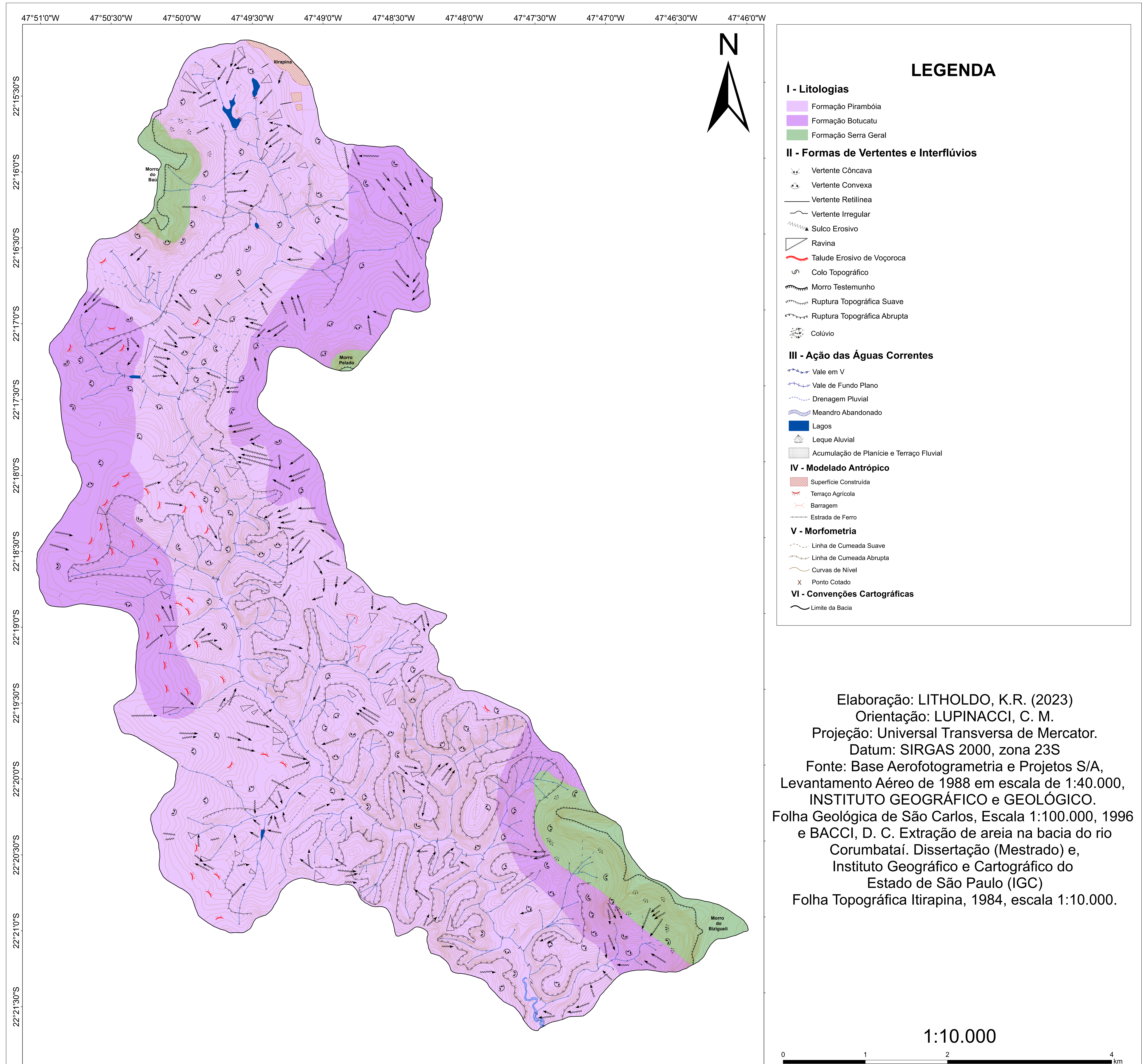
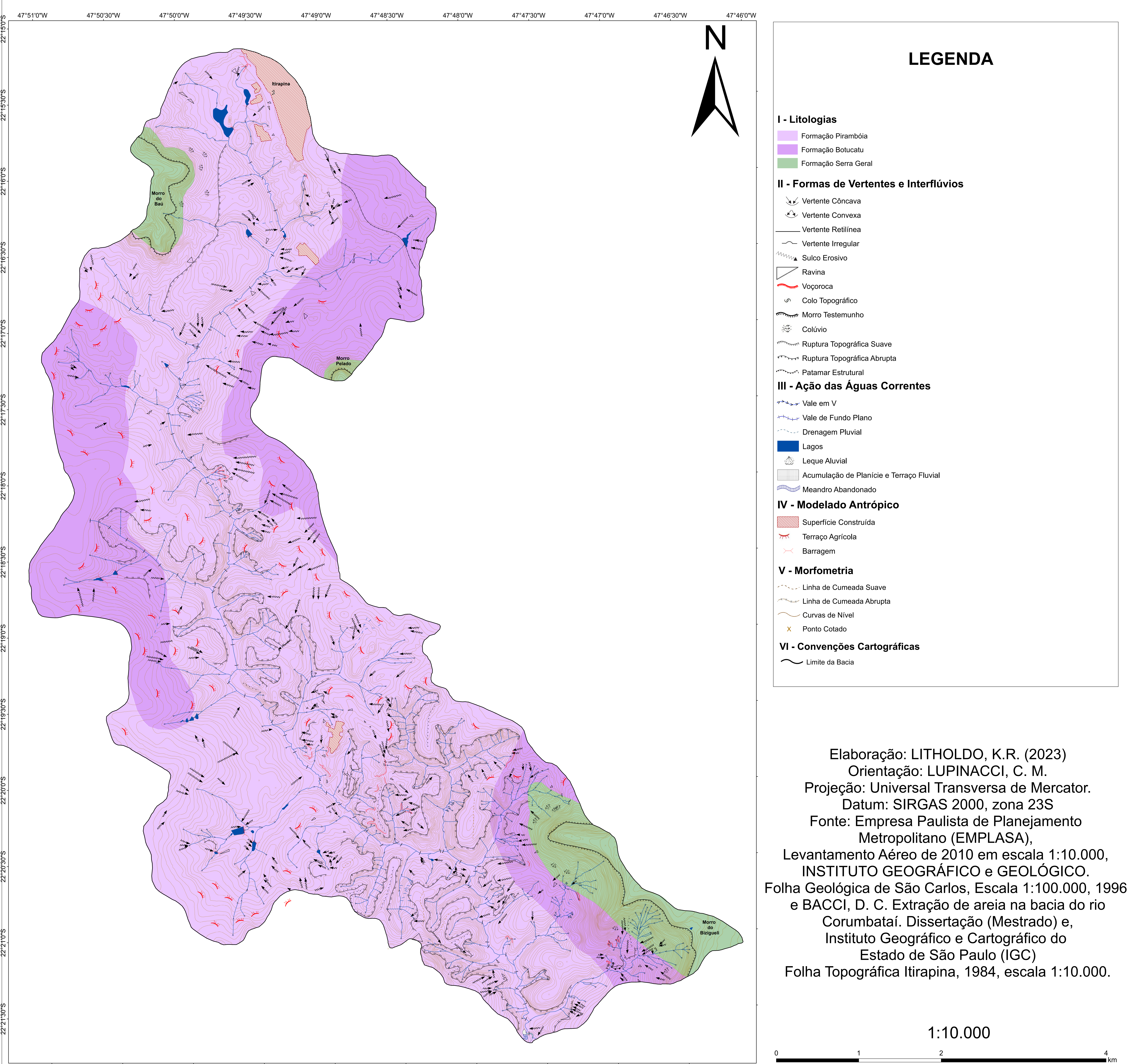


Figura 27: Carta geomorfológica da bacia do rio Pirapitinga (2010)



Assim, a tabela 9 apresenta a quantificação de algumas das feições mapeadas nas cartas geomorfológicas dos cenários de 1988 e 2010:

Tabela 9 – Feições erosivas lineares (1988 e 2010).

Feições	1988	2010
Sulco Erosivo (nº de feições)	241	293
Ravina (nº de feições)	39	56
Talude Erosivo de Voçoroca (metros)	669	5401

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

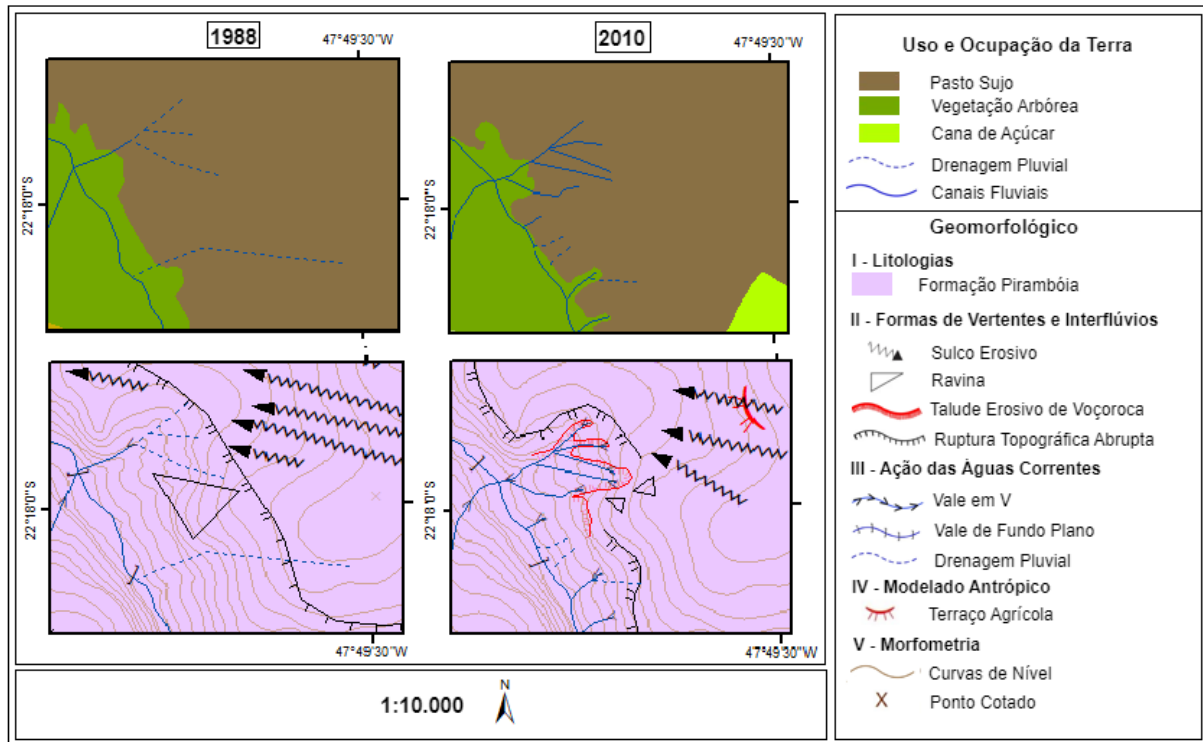
Por sua vez, os dados morfométricos podem oferecer contribuições para compreender regiões potencialmente propensas a manifestações de fenômenos denudativos. Contudo, ao examinar a disposição espacial das feições erosivas lineares na bacia, verifica-se que, além de estarem relacionadas com as características morfométricas do relevo, os solos também podem atuar como fator importante em seu desenvolvimento, visto que certos tipos naturalmente apresentam maior propensão à ocorrência de fenômenos erosivos.

Diante disso, pós análise da relação de proporcionalidade entre o relevo e feições denudativas, com índice que varia entre zero e um, no qual mais próximo de um, maior a intensidade da feição erosiva observada, destaca-se que os sulcos erosivos se encontram dispostos majoritariamente sobre a Formação Pirambóia, a mais expressiva na bacia do rio Pirapitinga. Concomitante a isso, tal formação dá origem a classe de solo Latossolo Vermelho Amarelo.

Nesse contexto, é importante salientar que os Latossolos Vermelho Amarelo, como apresentados anteriormente no item referente à caracterização da área, são solos profundos, com boa drenagem e por vezes de baixa fertilidade natural, e quando localizados em terrenos mais planos ou levemente ondulados, são destinados à agricultura ou pastagens devido à ausência de teores elevados de areia. Entretanto, em áreas de relevo acidentado, apresentam limitações devido ao declive acentuado e propensão à erosão.

Assim, destaca-se que tanto no cenário de 1988 como o de 2010, a classe de uso denominada pasto sujo, localizada sobre o solo e litologia mencionados configuram-se como os setores de maior presença de sulcos erosivos (Figura 28), especialmente em locais de declividade que variam entre 10 à superiores a 47%.

Figura 28 - Sulcos erosivos nos cenários de 1988 e 2010 da bacia do rio Pirapitinga (SP).



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Dessa forma, em um estudo realizado na bacia do Rio Cabeça (SP), que engloba à área de estudo desta pesquisa, Silva e Lupinacci (2021) relatam que:

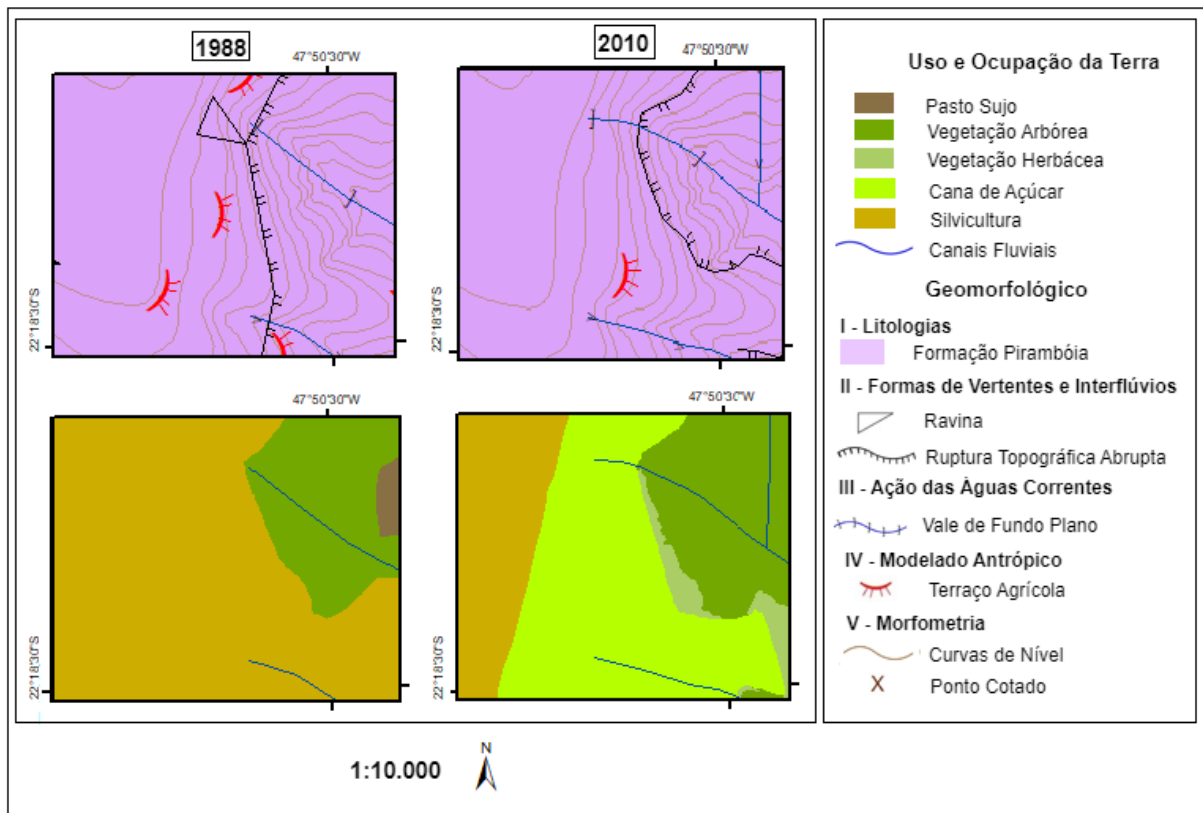
O aumento das feições erosivas lineares ocorre em maior parte sobre condições de uso e ocupação da terra identificada pelas classes de pasto sujo e pasto limpo. Dessa forma, constata-se que o manejo inadequado da pastagem e suas consequências, como o pisoteio, compactação do solo e dificuldade de retenção de água, podem concentrar o fluxo superficial de água e potencializar a ocorrência de processos erosivos, evidenciando a dinâmica antropogênica na Bacia do Rio Cabeça (Silva e Lupinacci, 2021, p. 10).

Quanto às ravinas, segunda a relação de proporcionalidade, ocorrem majoritariamente sobre os Neossolos Quartzarênicos, que se caracterizam como

solos profundos e arenosos, de fácil intemperização, apresentando baixa coesão, elevada susceptibilidade a erosão, elevada permeabilidade, baixa retenção d'água e elevada fragilidade, de modo a necessitar de práticas conservacionistas para se manter produtivo, além disso, seu principal uso da terra é destinado à silvicultura.

Ao ser comparado com o cenário de 2010, observa-se uma drástica diminuição dessas feições, indicando a obliteração destas, bem como a implementação de medidas de contenção da erosão. Tal constatação é respaldada pela presença de terraços agrícolas em ambos os cenários (Figura 29).

Figura 29 - Ravinas e terraços agrícolas nos cenários de 1988 e 2010.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Assim, como visto na figura anterior, no ano de 2010 constata-se uma continuidade na prática de silvicultura, embora tenha sido reduzida, cedendo espaço para o cultivo de cana-de-açúcar. Ambos os padrões de uso da terra demandam uma manutenção intensiva do solo, e essa expansão de atividades pode ter sido o fator contribuinte para a obliteração das feições erosivas. Além disso, tal modificação indica uma resposta proativa às condições do relevo, evidenciada não apenas pela diminuição das ravinas, mas também pelo notável emprego de terraços agrícolas e

bacias de contenção (Figura 30), já que combinados “[...] com outras praticas conservacionistas, como o próprio uso da silvicultura, reduz os impactos dos processos gravitacionais advindos de uma dinâmica natural pluvio-erosiva, diminuindo a perda de solo por erosão no local” (Pinton e Cunha, 2008, p. 342).

Figura 30 – Bacia de Contenção na bacia do rio Pirapitinga.



Fonte: LITHOLDO (2017)

Quanto às voçorocas, último estágio de desenvolvimento das feições erosivas lineares, sendo os “[...] os canais erosivos que apresentam, em seu fundo, o afloramento do lençol freático [...]” (Pinton e Cunha, 2008, p.330), verifica-se que se estendem sobre o Neossolo Litólico da Formação Botucatu, notavelmente sobre a classe pasto sujo, reforçando a tendência identificada em outras áreas, de que as feições erosivas lineares no primeiro e segundo estágio de evolução são obliteradas devido à cana de açúcar e silvicultura, que requerem um maior uso de máquinas agrícolas, diferentemente da classe pasto sujo.

Outro ponto que requer uma investigação minuciosa, são as feições de origem fluvial, evidenciadas no quadro 6, que apontam para os processos erosivos-deposicionais.

Quadro 6 – Número e extensão de feições hídricas (1988 e 2010).

Feições	1988	2010
Fundo de Vale em V (em metros)	86588	109933
Fundo de Vale Plano (em metros)	21782	19643
Leque Aluvial (em nº de Feições)	11	9

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Em ambos os cenários, nota-se uma prevalência significativa dos fundos de vale em V, evidenciando um caráter erosivo das águas. Entretanto, é importante ressaltar que, mesmo com essa característica, a extensão dos fundos de vale plano é notável, especialmente no cenário de 1988. Nesse contexto, a presença de leques aluviais sugere que os rios, com alta carga de sedimentos, depositam sedimentos quando alcançam setores de menor declividade, próximos ao nível de base local.

Já no cenário de 2010, observa-se uma diminuição dos vales planos e um aumento nos vales em formato de V, que indica um processo erosivo das águas mais intenso, isto é, um aumento dos rios com capacidade de entalhamento. Essa evolução nos padrões hidrogeomorfológicos indica uma dinâmica complexa e em constante evolução dos processos erosivos na região.

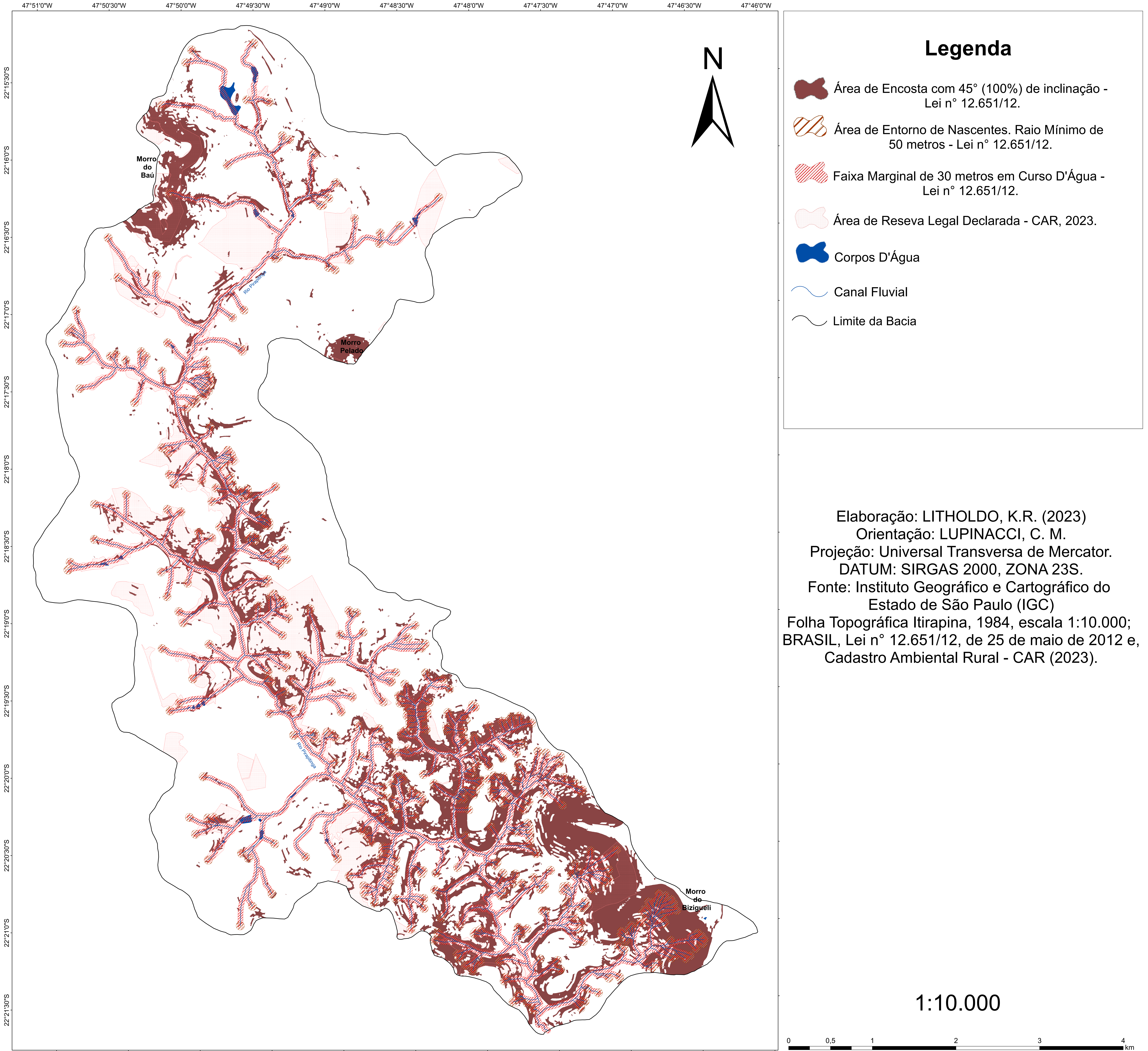
Nesse sentido, Souza, Andrade e Lupinacci (2020), em um estudo sobre a alta bacia do rio Passa Cinco evidencia que:

Ao sul dos Morros do Baú e Pelado, observa-se que o Rio Pirapitinga é assinalado pela presença de leques aluviais situados em setores caracterizados por elevados valores de Densidade de Drenagem, aliada à ocorrência dos arenitos da Formação Piramboia, altamente suscetíveis aos processos erosivos. Os pequenos afluentes perdem energia ao desaguar no Pirapitinga, resultando na acumulação de detritos nos setores de foz. As nascentes destes cursos d'água estão situadas em setores de declividades de 5-12% e 12-30%.

O Rio Pirapitinga apresenta evidente controle morfoestrutural na direção NW-SE, desde o sul do Morro Pelado até seu deságue no Rio Passa Cinco. Este direcionamento também pode ser constatado na Carta Clinográfica, na qual o fundo de vale da drenagem fica evidenciado pelo tom verde (classe <2%) (Souza, Andrade e Lupinacci, 2020, p. 480).

Outro fator de análise crucial refere-se às áreas de preservação permanente, conforme estabelecido pela Lei 12.651, e às áreas de reserva legal declaradas pelos proprietários (Figura 31). A conformidade com essas diretrizes legais desempenha um papel fundamental na conservação ambiental e na sustentabilidade do uso da terra. Os dados detalhados relacionados a essas áreas são apresentados no Quadro 7.

ÁREAS COM RESTRIÇÕES LEGAIS AO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DA BACIA DO RIO PIRAPITINGA (SP).



Quadro 7 – Dados referentes às APPs e Reservas Legais na bacia do rio Pirapitinga.

	Área Total	Área sem vegetação de porte florestal, destinadas a outro uso	Área de Reserva Legal Declarada sobreposta a áreas de APPs	Total de área com vegetação de porte florestal
Área de Preservação Permanente	1044 hectares	420 hectares	—	624 hectares
Área de Reserva Legal	866 hectares	141 hectares	333 hectares	725 hectares
Total	1910 hectares	561 hectares	333 hectares	1349 hectares

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Não obstante as disposições da Lei 12.651 que regulamenta a obrigatoriedade das APPs, bem como das Reservas Legais (RL), conforme indicado pelo Quadro 7, uma extensa porção territorial se destaca pela ausência de vegetação arbórea, sendo desviada para usos irregulares como pasto sujo; silvicultura e cultivo de cana de açúcar. Este cenário compromete sensivelmente a conservação do solo, dada a propensão dessas áreas a uma declividade acentuada, aumentando, assim, a vulnerabilidade a processos erosivos.

Além disso, às áreas destinadas a RL, totalizam 866 hectares, que em conformidade com a lei apresentada não são permitidas sobrepor as áreas de APPs, fazendo com que 333 hectares estejam ilegais, dos quais muitos não apresentam vegetação de porte florestal.

Ainda, os dados revelam que, dos 1910 hectares que compõem as áreas de APPs e RL, 561 hectares encontram-se desprovidos de vegetação arbórea, representando aproximadamente 30% do total e indicando uma discrepância significativa em relação à sua finalidade prevista.

Dessa forma, o não cumprimento das diretrizes estabelecidas para a conservação das APPs e RL, conforme exigido pela lei 12.651 em vigor, destaca a urgência de implementar estratégias de manejo e fiscalização eficaz. Essas medidas são essenciais para minimizar os efeitos prejudiciais sobre a integridade ambiental e

a estabilidade do solo na região específica em discussão, isto é, diminuir a perda e a degradação do solo da bacia do rio Pirapitinga.

Por fim, após a análise detalhada da bacia do rio Pirapitinga, é necessário examinar a proposta de uso adequado das terras, que é o objetivo principal deste trabalho. As figuras 32 e 33 apresentam, respectivamente, as cartas confeccionadas para as propostas Ideal e Viável.

Carta de Uso Adequado das Terras em Ambiente Rural e Degradado, proposta Ideal.

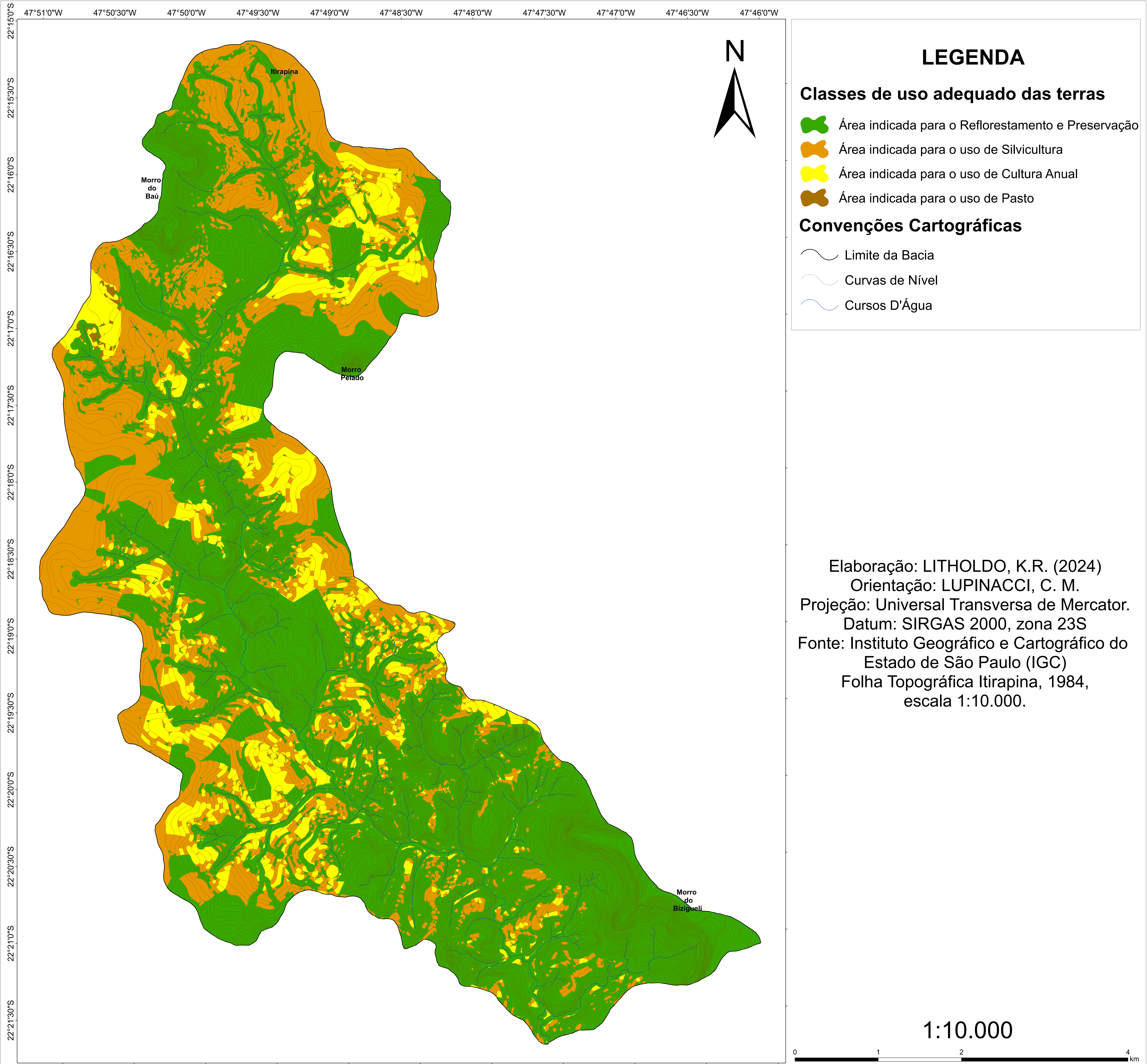
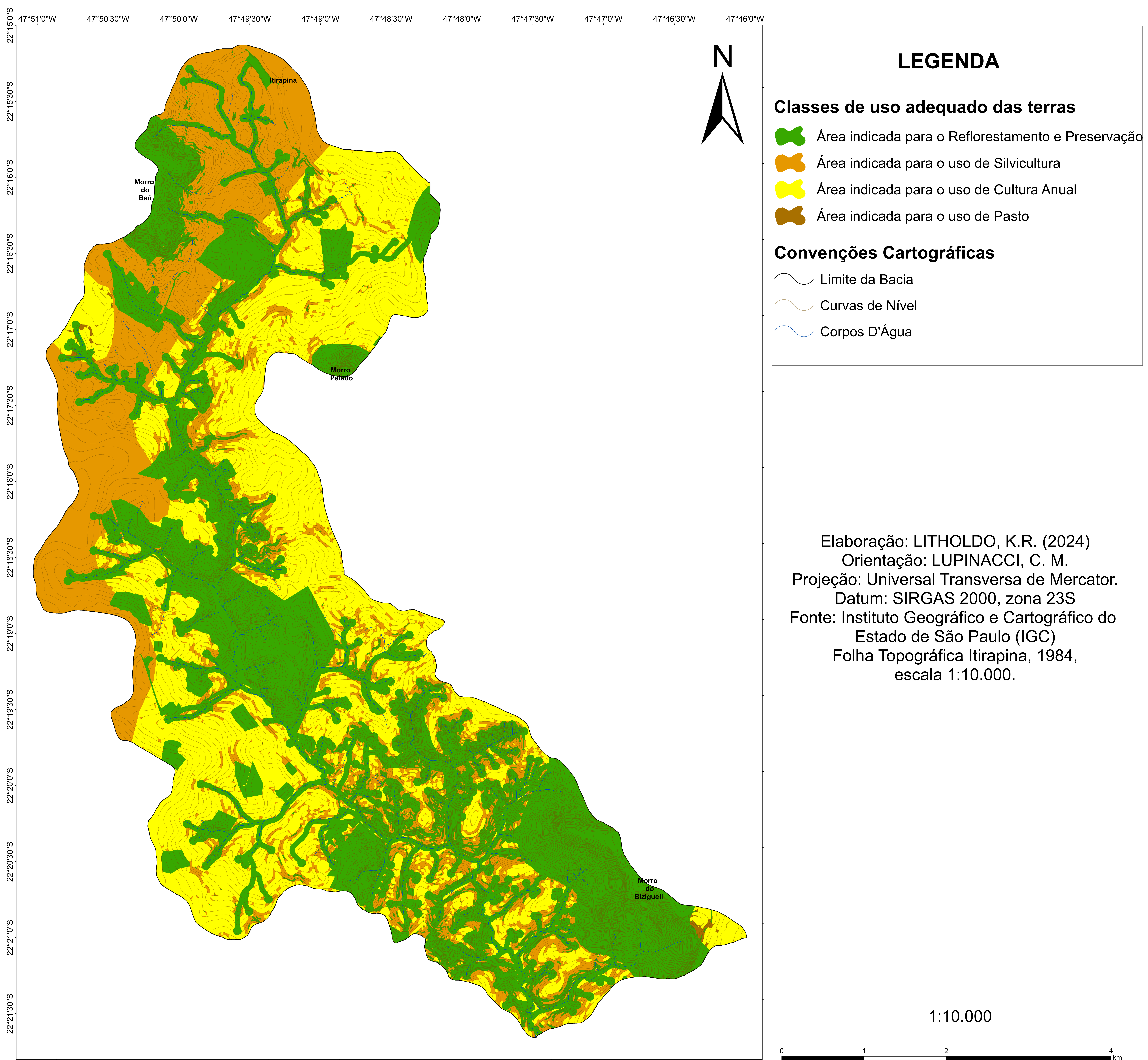
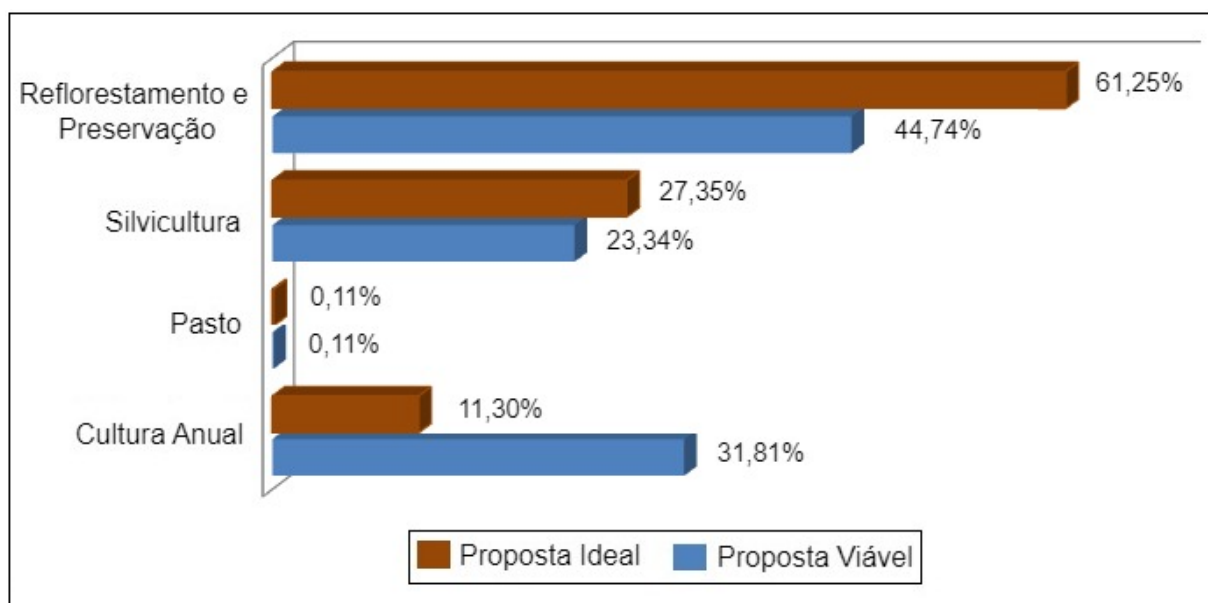


Figura 33 – Carta de Uso Adequado das Terras em Ambiente Rural e Degradado, Proposta Viável.



Ainda, para melhor análise estabeleceu-se uma comparação entre a proposta considerada Ideal e Viável, que pode ser observado no Gráfico 2 a seguir:

Gráfico 2 – Área em porcentagem (%) ocupada por cada uso proposto – Viável e Ideal.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Para ambas as cartas, foram propostas Áreas de Reflorestamento e de Preservação, cujo uso é restrito a essa finalidade conforme a Lei nº 12.651 de 2012. Assim, além das Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal, as áreas compostas por Neossolo Litólico, Energia Muito Forte, Energia Forte, declives superiores a 30% e vertentes retilíneas foram destinadas a esse uso, já que foram identificadas como locais com alta tendência à formação de processos erosivos lineares, conforme demonstrado nas relações de proporcionalidade estabelecidas na Tabela 4.

Nesse sentido, a classe de Neossolo Litólico configura-se como solos que são pouco evoluídos e rasos, em que “[...] o fluxo d’água em seu interior é precocemente interrompido, facilitando o escoamento em superfície, gerado pela rápida saturação do solo, e em subsuperfície, na zona de contato solo-rocha [...]” (Cunha; Guerra, 1998, p. 190), o que contribui para a ocorrência de processos denudativos. Já os setores com energia muito forte, energia forte e declive superior a 30% são

vulneráveis devido a alta energia do escoamento d'água, que contribui para a remoção da camada superficial do solo.

Outro setor destinado a esse uso são as áreas ocupadas pela classe Vertente Retilínea, que muitas vezes são induzidas por cortes que ocorrem no relevo e que acarretam na concentração de águas superficiais e consequentemente no desmatamento, tornando tais setores vulneráveis a formação das feições erosivas lineares (Santos, 2004).

Outro uso da terra proposto em ambas às cartas foi a Silvicultura e Cultura Permanente, que abarca as classes de Neossolo Quartzarênico, Energia Medianamente Forte combinada com Latossolo Vermelho Amarelo ou, na proposta viável, Declividade de 15 a 30% com Latossolo Vermelho Amarelo.

No caso do Neossolo Quartzarênico, a ausência de cobertura vegetal agrava a escassez de materiais agregadores, tornando o solo mais suscetível à erosão (Cunha; Guerra, 1998, p.191). Por outro lado, as demais áreas, compostas principalmente por Latossolo Vermelho-Amarelo, apresentam uma grande sucessão de camadas arenosas (IPT, 1998), necessitando de um maior manejo agrícola.

Quanto às áreas de pastagem propostas, estas abrangem os setores ocupados pelas classes de Energia Medianamente Forte com Latossolo Vermelho Escuro ou, na proposta viável, Declive de 15 a 30% com Latossolo Vermelho Escuro. Tal decisão ocorreu devido à predominância de argila no solo que ocasiona uma maior resistência ao solo. Nesse contexto, torna-se de suma importância ressaltar que as áreas de pastagens, embora tenham sido designadas a classes de maior resistência, ainda necessitam de um manejo adequado das terras, no intuito de evitar o sobrepastoreio.

No que concerne às áreas indicadas como de cultura anual, foram destinadas as classes de energia muito fraca, fraca e média com latossolo vermelho escuro e amarelo, bem como as classes de declividade de ≤ 2 a 15% com os mesmos latossolos na proposta viável. Tais classes caracterizam-se como setores mais planos e de baixa energia do relevo, o que proporciona uma maior estabilidade frente aos processos erosivos que podem ocorrer. Além disso, ambos os latossolos são bem desenvolvidos, tornando-os passíveis para o uso da cultura anual. Porém,

destaca-se a necessidade de implementar medidas de contenção, como terraços agrícolas ou bacias de contenção, para prevenir os processos denudativos e controlar o escoamento superficial, minimizando assim o transporte de sedimentos.

Por fim, a designação das Áreas de Reflorestamento, Silvicultura, Pastagem e Cultura Anual consideram as características individuais de cada setor da bacia do rio Pirapitinga, visando mitigar a erosão e promover práticas sustentáveis, além de enfatizar a necessidade do manejo adequado de cada uso proposto, medida essencial para garantir a proteção dos recursos naturais e a sustentabilidade a longo prazo.

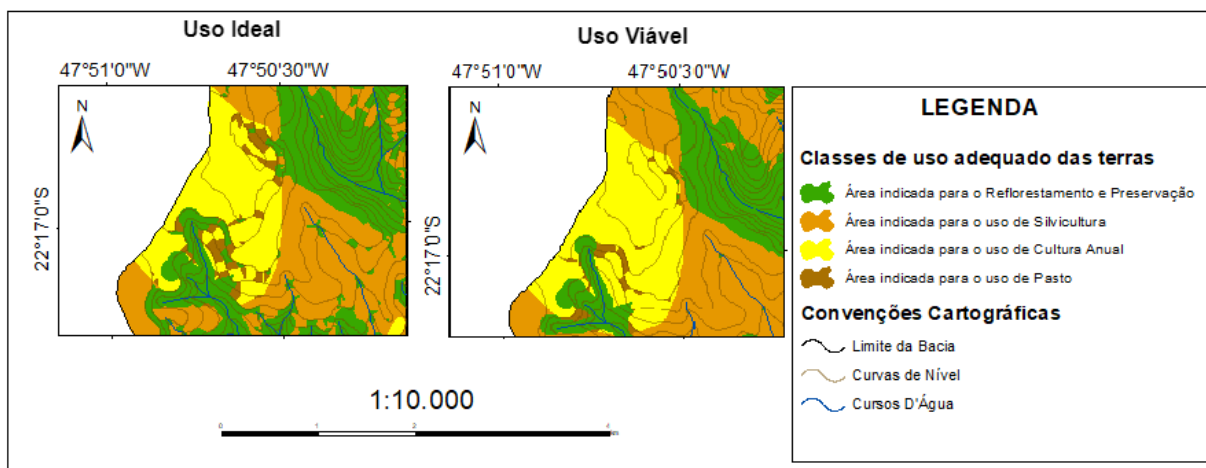
Diante disso, ressalta-se que as áreas destinadas ao Reflorestamento e Preservação sofreram uma redução de 16,51%. Como diferencial a proposta Ideal considera as áreas de Energia Forte e Muito Forte como classes que são altamente suscetíveis a processos denudativos, enquanto que na proposta Viável, consideram-se apenas os setores com declividade superior a 30%, que estão presentes em menor quantidade. Quando se utiliza a Energia do Relevo como parâmetro, além da declividade, avalia-se a dissecação do relevo, principalmente a horizontal, a qual aponta setores de confluência de drenagens como forte energia. Entende-se que tais setores possuem maior fragilidade e que por isso devem pertencer a um uso de baixo impacto, isto é, que promova uma menor fragilização do solo.

Posteriormente, o uso destinado a Silvicultura e Cultura Permanente também apresentou uma redução, mais especificamente de 4,01%. Tal uso foi proposto por averiguar que tais locais apresentam fragilidades, sendo necessário minimizar o impacto erosivo local, já que seu plantio combinado com técnicas conservacionistas [...] “reduz os impactos dos processos gravitacionais advindos de uma dinâmica natural pluvio-erosiva, diminuindo as perdas de solo por erosão local” (Cunha e Pinton, 2008, p.342).

Ainda, na proposta Ideal considerou-se como uso para a Silvicultura as classes de Energia Medianamente Forte com Latossolo Vermelho Amarelo, enquanto na proposta Viável considerou-se as classes de Declividade de 15 a 30% com Latossolo Vermelho Amarelo. Outro ponto de suma importância é que, na proposta Ideal, a silvicultura se espalhou por quase toda a bacia, enquanto na proposta Viável concentrou-se majoritariamente no setor noroeste.

Já no que se refere ao uso destinado as Pastagens, estes possuem exatamente as mesmas porcentagens, mas não estão concentrados na mesma área, conforme podemos observar na Figura 34.

Figura 34 – Áreas de pastagens – Uso Ideal e Viável.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Tal uso antrópico, considerado como o mais agressivo em ambas as propostas, manteve-se em uma proporção restrita, já que na carta de uso Ideal encontra-se sobre a Energia Medianamente Forte, com dissecação horizontal de 21 a 40m, indicando a presença de vertentes mais curtas, resultando em uma maior velocidade do escoamento superficial, evidenciado também pela dissecação vertical, que varia de 31 a 50m, indicando um considerável grau de entalhamento do relevo.

Além disso, na proposta Viável, ao substituir a energia do relevo pela declividade de 15 a 30%, observou-se que as áreas de pastagem incluíram alguns setores no topo de morros testemunho, especificamente nos morros do Baú e Bizigueli. A problemática desta abordagem é que, ao considerar apenas a declividade, desconsideram-se as atividades de solapamento nessas áreas. Em outras palavras, ignora-se que essas regiões estão em constante evolução e, portanto, sujeitas a processos denudativos.

Outro ponto de extrema relevância, é que em ambas as propostas, as áreas de pastagem ocupam apenas pequenas extensões na área de estudo, com continuidade espacial limitada e distribuição dispersa, o que torna o uso da terra para pastagem economicamente inviável em ambas as abordagens.

No que concerne ao uso destinado a Cultura Anual, da proposta Ideal para a Viável, ocorreu um aumento significativo, mais especificamente de 20,51%, evidenciando mais uma vez a importância da energia do relevo em detrimento da declividade.

Na proposta Ideal, para o uso de Cultura Anual considerou-se as classes de energia do relevo Muito Fraca, Fraca e Média, isto é, com dissecação horizontal que varia de ≥ 321 a 80m, indicando vertentes mais amplas em comparação as demais classes, além de uma dissecação vertical que varia de ≤ 10 a 30m, sinalizando locais com baixo e médio grau de entalhamento do relevo, o que limita o uso dessa cultura a setores menos suscetíveis a processos denudativos. Em contraste, a proposta Viável apresentou uma maior generalização deste uso, ao considerar apenas a declividade de ≥ 2 a 15%, juntamente com a presença de Latossolos Vermelho Escuro/Amarelo. No entanto, essa generalização não é adequada, pois esses setores ainda possuem particularidades que os tornam suscetíveis a processos denudativos.

A comparação entre as propostas de uso adequado das terras, consideradas Ideal e Viável, pode ser corroborada pela análise das feições denudativas identificadas nos mapeamentos geomorfológicos de 1988 e 2010, associados a cada tipo de uso. As tabelas 10 e 11 a seguir demonstram essa comparação:

Tabela 10 - Feições erosivas lineares em uso adequado das terras – Proposta Ideal.

Usos da Terra	Cenário de 1988 (%)			Cenário de 2010 (%)		
	Sulco	Ravina	Talude de Voçoroca	Sulco	Ravina	Talude de Voçoroca
Reflorestamento e Preservação	37,20	42,33	62,17	97,61	65,46	97,55
Silvicultura	42,00	43,00	18,00	2,00	27,00	2,00
Pasto	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cultura Anual	21,18	14,55	20,25	0,39	7,61	0,38

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Tabela 11 - Feições erosivas lineares em uso adequado das terras – Proposta Viável.

Usos da Terra	Cenário de 1988 (%)			Cenário de 2010 (%)		
	Sulco	Ravina	Talude de Voçoroca	Sulco	Ravina	Talude de Voçoroca
Reflorestamento e Preservação	17,11	30,66	15,36	17,45	29,93	88,38
Silvicultura	26,44	31,07	15,30	27,80	48,31	10,35
Pasto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cultura Anual	56,45	38,27	69,34	54,75	21,75	1,27

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Assim, como observado nas tabelas anteriores, o uso destinado ao Reflorestamento e Preservação, tanto da proposta ideal como na viável, ocupam em ambos os cenários, 1988 e 2010, a maior parte dos taludes de voçoroca, indicando uma adequabilidade do uso proposto com a dinâmica do relevo. Por sua vez, os taludes de voçoroca que se encontra em outros usos, são os que surgem em uma classe de energia ou declividade mais acentuada e se expandem para as de menores valores.

Quanto às ravinas, estas estão presentes em todos os usos, exceto o de pastagem, que devido à área restrita e pequena não exhibe esta feição denudativa. Com isso, torna-se evidente a necessidade de implementar medidas de conservação em todos os tipos de uso, tais como terraços agrícolas e bacias de contenção, além de um manejo adequado que vise minimizar o impacto no solo.

Por fim, para o uso destinado à cultura anual, a proposta Ideal mostrou uma diminuição das feições erosivas do cenário de 1988 para o de 2010, alinhando-se com as características do relevo. Em contraste, a proposta Viável, como mencionado anteriormente, apresenta uma alta quantidade de sulcos erosivos, ravinas e até alguns trechos de taludes de voçoroca tanto no cenário de 1988 quanto no de 2010. Isto indica que a proposta Viável não funcionou de forma adequada para o cenário geomorfológico analisado, no qual a presença dos morros testemunhos e de uma

alta densidade de drenagem exigem uma análise morfométrica que não pode se restringir a declividade, necessita de dados mais complexos como os de Energia do Relevo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia do Rio Pirapitinga apresenta uma complexidade significativa em suas características naturais, conforme observado nos mapeamentos realizados nesta pesquisa. O uso da terra, conforme documentado nos cenários de 1988 e 2010, contribuiu para a aceleração de várias feições geomorfológicas, especialmente os processos erosivos lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas. Essas mudanças estão relacionadas às práticas de manejo que não consideraram adequadamente as características do relevo. Além disso, parte das áreas analisadas não atende aos requisitos da legislação em áreas de preservação permanente e reserva legal

A análise comparativa entre as propostas de uso Ideal e Viável revela aspectos cruciais sobre a eficácia e adequação de cada abordagem no manejo das terras. Dessa forma, a primeira demonstrou maior eficiência na adaptação às características do relevo, evidenciando uma maior compatibilidade com as condições naturais observadas. Além disso, ressalta-se a importância da análise dos dados relativos à energia do relevo, que possibilita uma compreensão aprofundada das fragilidades que contribuem para o surgimento de processos erosivos lineares.

Diante disso, a alocação das áreas destinadas ao Reflorestamento e Preservação, Silvicultura, Pasto e Cultura Anual, na proposta considerada ideal demonstrou-se como uma estratégia promissora para minimizar o surgimento significativo de processos erosivos lineares. No entanto, assim como na proposta Viável, a classe destinada a pastagem apresenta uma limitação no que se refere à viabilidade econômica, já que sua área restrita e dispersa pode dificultar seu uso e portanto, a manutenção das áreas propostas para tal uso.

Quanto a segunda proposta, isto é, a considerada Viável, ao adotar uma abordagem baseada em critérios de declividade e tipo de solo, possibilitou uma maior implementação do uso destinado a Cultura Anual, comprometendo sua adequação ao relevo, evidenciado pela significativa presença de feições erosivas lineares nesses setores. Em resumo, a utilização de áreas com declividade de 2 a 15% e Latossolos Vermelho Escuro/Amarelo, sem considerar as características específicas do terreno, tais como dissecação Vertical e Horizontal, resultou em uma

alocação inadequada da Cultura Anual, que pode intensificar e/ou contribuir para o surgimento dos processos denudativos.

Por fim, para a bacia do rio Pirapitinga, a proposta Ideal demonstrou-se mais eficaz na proposição do uso adequado das terras, isso devido ao fato de incorporar dados referentes à energia do relevo, fundamental para a análise de áreas com dinâmicas naturais e antrópicas complexas, isto é, uma abordagem simplificada como vista na proposta Viável pode resultar em análises generalizadas, que não atendem às reais necessidades da área. Para tanto, torna-se de suma importância enfatizar que nenhuma proposta de uso adequado das terras retira a necessidade de medidas que visem a conservação do solo, essencial para a manutenção e equilíbrio do relevo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, Marcos *et al.* Mudança do uso da terra devido à expansão da cana de açúcar em São Paulo de 2005 a 2011. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, p. 482 – 489, abr. 2013.

AB'SÁBER, A. N. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 23, p. 5- 38, jun/1956.

ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1974. (Série Teses e Monografias, n. 14).

BACCI, D. C. **Extração de areia na bacia do rio Corumbataí**. 1994. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

BASTOS, A. S.; MANIESI, V.; GOMES, F. B. Vulnerabilidade natural à erosão no sudoeste da Amazônia associada aos seus modos de ocupação – o caso do entorno da terra indígena Uru Eu Wau Wau. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.16, nº 2, p.271- 282, 2015.

BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2005.

BLANCO, H. LAL. R. **Principles of Soil Conservation and Management**. New York: Springer, 2008.

BONZANINI, H.L.; LUPINACCI, C. M.; STEFANUTO, E. B. A Erosão Linear e Sua Relação com a Morfometria do Relevo na Alta Bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, n.4, v. 15, p.1947-1964, 2022.

BRASIL. **Lei nº 6.766/79, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm . Acesso em: 13/09/2023.

BRASIL, **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. [2012]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. 13/09/2023.

BROWN, E. H. **O homem modela a Terra**. In: Boletim Geográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, n. 222, p. 03-18, mai/jun, 1971.

CADASTRO AMBIENTAL RURAL – CAR. **Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural**. Disponível em: <https://www.car.gov.br/#/>. Acesso em: 13/11/2023.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: < <http://www.funape.org.br/geomorfologia/> >. Acesso em: 02 jun. 2023.

CERON, A. O. DINIZ, J. A. F. **O uso das fotografias aéreas na identificação das formas de utilização agrícola da terra**. Revista Brasileira de Geografia. n. 2, v. 28, p. 161-173, 1966.

CLIMATE-DATA. Clima: Itirapina. **Climate-data.org**. 2023. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/itirapina-34775>. Acesso em: 25 jul. 2023.

CORRÊA, E. A. **Perdas de solo e índices de vegetação: Proposta metodológica para a determinação do fator C (meups) em pastagens e cana-de-açúcar**. 2016. 187 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2016.

COSTA, G. C. **Distribuição e abundância de pequenos mamíferos em relação à paisagem da bacia do rio Passa-Cinco, São Paulo, Brasil**. 2006. 96f. Tese (Doutorado em Ecologia de Agrossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

CORVALÁN, S. B. Levantamento e caracterização dos atrativos naturais da bacia do rio Passa Cinco, através de geoprocessamento. **Tese (Mestrado em Geociências)**. IGCE-UNESP, Rio Claro - SP, 2005.

CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001, 128f. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro. 2001.

Cunha, S. B; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 392 p.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo (USP), v.6, 1992, p.45-60.

DREW, D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente**. 6 ed. Tradução de João Alves dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

FERREIRA, M. V.; TINOS, T. M.; PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. da.; A dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: proposta de técnica digital automática. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.15, n.4, (Out-Dez) p.585-600, 2014.

FERREIRA, M. V.; T, T. M.; PINTON, L. G.; LUPINACCI, C. M. A cartografia da dissecação vertical para avaliação do relevo: proposta de técnica automática. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, N. 67/6, p. 1231-1245, Set/Out/2015.

FLAUZINO, B.K.; MELLONI, E. G.; PONS, N. A. D.; LIMA, O. Mapeamento da capacidade de uso da terra como contribuição ao planejamento de uso do solo em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. **Geociências**, Rio Claro (SP), v.35, n.2, p.277-287, 2016.

GARCÍA-RUIZ, J. M.; NADAL-ROMERO, E.; LANA-RENAULT, N.; BEGUERÍA, S. Erosion in Mediterranean Landscapes: Changes and future challenges. **Geomorphology**. v.198, p. 20-36, 2013.

GOUDIE, A. S. **The human impact on the natural environment**. Cambridge: MIT Press, 1981.

GOUDIE, A.S; VILES, H.A. **Geomorphology in the Anthropocene**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, New York, 380 p. 2016.

GUERRA, A. J. T. **Erosão dos solos e Movimentos de Massa: Abordagens Geográficas**. Curitiba: CRV, 2016.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 8 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. 7 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

GUERRA, A. J.T.; JORGE, M. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. **Folha geológica de São Carlos (SF-23-M- 100)**. São Paulo: IGG, 1966. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; DIVISÃO DE MINAS E GEOLOGIA APLICADA. **Mapa geológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 1 v. Escala 1:500.000

KOFFLER, N. F.; *et. al.* **Solos da bacia do Rio Corumbataí.** Rio Claro: Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1992.

LAL, R. **Soil erosion in the tropics: principles and management.** New York: McGrawHill, 1990.

LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação e terras no sistema de capacidade de uso.** 4º aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1983.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos.** São Paulo: Oficina textos, 2002.

LIMA, W.P.; RANZINI, M. Levantamento hidrológico da bacia hidrográfica do Passa-Cinco, Ipeúna, SP. In: FUNDAÇÃO DE ESTUDOS AGRÁRIOS LUIZ DE QUEIROZ. **Estudo para implantação de matas ciliares de proteção na bacia hidrográfica do Passa-Cinco visando a utilização para abastecimento público:** Relatório de pesquisa. Piracicaba, 1986. Cap.1, p. 1-33.

LITHOLDO, K. R. **Análise das alterações geomorfológicas derivadas do uso da terra na alta bacia do Rio Passa Cinco (SP).** 2018. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2018.

MARINO JR., E. **Análise integrada dos efeitos do uso da terra em fragmentos florestais da bacia do rio Corumbataí.** 2006. 111p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do Córrego Lafon – Araçatuba – SP.** 1993. 171 f. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MILANI, E. J. SOUZA; P. A; MELLO, J. H. G; FERNANDES, L. A. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências Petrobras.** Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, mai/nov. 2007.

MONTOVANI, M.; ZALÁN, P. V. Contribuição ao estudo da evolução mecânica da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v. 29, p. 217-226, jun. 1999.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Inglaterra: Blackwell Publishing, 1942, 3 ed., 304 p.

Nir, D. **Man, a Geomorphological agente**: an introduction to anthropic geomorphology. Jerusalém: Katem Pub, House, 1983.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

PASCHOAL, L. G.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L. Utilização do ArcGis 9.3 na elaboração de simbologias para mapeamentos geomorfológicos: Uma aplicação na área do Complexo Argileiro de Santa Gertrudes/SP. Simpósio Nacional de Geomorfologia. 8, 2010, Recife. **Anais**. p. 1-13.

PASCHOAL, L. G.; CUNHA, M. L. CONCEIÇÃO, F. T.; A cartografia geomorfológica como subsídio para a análise do relevo antropogênico em área de mineração. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.4, 2012 (b). (p.379-391).

PASCHOAL, L. G.; SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Geomorfologia antropogênica e sua inserção em pesquisas brasileiras. **Geografia Meridionalis**. Pelotas, v. 1, n.1, p.95-126, jun. 2015.

PEDRO, F.G.; LORANDI, R. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, Universidade Federal de São Carlos, n. 56/01, p. 28-33, 2014.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro, IBGE, 1974. 158 p.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do Setor Centro Ocidental da Depressão Periférica Paulista**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1976. (Série Teses e Monografias, n22).

PILACHEVSKY, T.; PINTO, S. dos A. F. Avaliação da distribuição da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP) por meio de geotecnologias. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, PR, Brasil, abri/mai, 2011, p. 623 – 630.

PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. Avaliação da dinâmica dos processos erosivos lineares e sua relação com a evolução do uso da terra. **Geociências**, São Paulo, n. 3, v. 27, p. 329-343, 2008.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1978, 70p.

RODRIGUES, C. **Geomorfologia aplicada ao planejamento físico territorial brasileiro**. Tese (Doutorado em Geografia Física). FFLCH, USP, São Paulo, 1997.

_____. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos Geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH, USP, São Paulo, n. 14, p. 69 – 77, 2001.

_____. A urbanização da Metrópole sob a perspectiva da geomorfologia. In CARLOS, A.F. e OLIVEIRA, A.U. **Geografias de São Paulo**. São Paulo, Contexto, v. 1, 2004, p. 89-114.

_____. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades Espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 17, p. 101 – 111, 2005.

RODRIGUES, C.; GOUVEIA, I. C. M. C.; LUZ, R. A.; VENEZIANI, Y.; SIMAS, I. T. H.; SILVA, J. P. Antropoceno e mudanças geomorfológicas: Sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 40, p. 105-123, 2019.

RODRIGUEZ, J.M.M.; MAURO, C. A.; RUSSO, I. L.; SILVA, C. M. S.; BOVO, R.; ARCURI, M. E. P.; MARINHO, V. L. F. Análise da paisagem como base para uma estratégia de organização geoambiental: Corumbataí (SP). **Geografia**, Rio Claro (SP), vol. 20 (1), p. 81-129, 1995.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Editora UFC, 2004. 222p.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, v.8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. Análise e síntese na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, v.9, p. 65-75, 1995.

SANTOS, A.R. **A grande barreira da Serra do Mar- Da trilha dos Tupiniquis à Rodovia dos Imigrantes**. O Nome da Rosa, Ed. São Paulo, 122 p., 2004.

SILVA, M. M.; LUPINACCI, C. M. Análise das alterações antropogeomorfológicas na Bacia do Rio Cabeça (SP) a partir do uso de geoindicadores. **Geografias**, v. 29, p. 1-22, 2021.

SIMON, A.L. H. **Influência do reservatório de Barra Bonita sobre a morfohidrografia da baixa bacia do Rio Piracicaba – SP: contribuições à geomorfologia antropogênica**. 150 f. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

SOUZA, T. de A. de.; OLIVEIRA, R. C. de. Avaliação da potencialidade de imagens tridimensionais em meio digital para o mapeamento geomorfológico. **Revista Geonorte**. v. 2, N.4, p.1348-1355, 2012.

SOUZA, J.C; PEREIRA, U.C. Antropogeomorfologia - O homem como agente geomorfológico: Base teórica e análise acerca da extração do amianto crisólita em Minaçu (GO). **Geoambiente on-line, Revista eletrônica do curso de Geografia – UFG/REJ**, Jataí, n. 24, p.32-40, jan-jun 2015. Acesso em < <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/34070?journal=geoambiente?journal=geoambiente> > Acesso em: 01 jun. 2023.

SOUZA, T.de A.de.; ANDRADE, R.V. de.; LUPINACCI, C. M. Análise Geomorfológica da Transição Cuestas-Depressão Periférica: A Alta Bacia do Rio Passa Cinco (SP) como estudo de caso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 13, n. 2, p.465 – 486, mai. 2020.

SPIRIDONOV, A. I. **Principios de la Metodologia de las investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico**. Havana: Universidad Habana, Vol. 3, 650p. 1981.

STEFANUTO, E.B. **Análise da Dinâmica Erosiva Linear e seu Potencial Evolutivo em Ambiente Agrícola**. 2019, 123 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2019.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geografia física e geomorfologia: uma releitura**. Editora Compasso Lugar-Cultura. Porto Alegre, 2018.

SUERTEGARAY, D. M. A; NUNES, J. O. R. A natureza da geografia física na geografia. **Terra Livre**, São Paulo, n. 17, 2 sem. 2001.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

TORRES, F. T. P.; NETO, R. M.; MENEZES, S. O. **Introdução a Geomorfologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la geomorphologie**. Paris: Masson ET C éditeurs; 1965.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. 91p.

VALENTE, R. O. A. **Análise da Estrutura da Paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP**. 2001. 144f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais, Área de concentração: Recursos Florestais, com opção em Conservação de Ecossistemas Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

VERSTAPPEN, H. T.; ZUIDAN, R. A. van. **ITC System of geomorphological survey**. Manual ITC Textbook, Netherlands: Enschede. V. 1, cap. 8, 1975.

Zanatta, F. A. S., Ferreira, M. V., 2015. **Roteiro dos procedimentos para elaboração da carta de Energia do Relevo – Software ArcGis 10.2**. Laboratório de Geomorfologia – IGCE, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

ZANATTA, F. A. S. **Limitação Física em área rural degradada: busca metodológica para definir o uso adequado das terras**. 2018. 164 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018.

ZANNATA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M. Proposta metodológica para identificar o uso possível das terras em áreas rurais degradadas por processos erosivos. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, v.43, p. 1-14, mai, 2023.