

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

JEAN CARLOS COELHO PACHECO

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS
EM PROGRAMAS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2022

JEAN CARLOS COELHO PACHECO

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS
EM PROGRAMAS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS**

Relatório final apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Michel Castro Moreira
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Santos Silva Amorim

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2022

JEAN CARLOS COELHO PACHECO

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS
EM PROGRAMAS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 15 de dezembro de 2022.

Assentimento:



Jean Carlos Coelho Pacheco
Autor



Michel Castro Moreira
Orientador

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus,
por ser essencial em minha vida, pela força e
coragem durante toda esta longa caminhada.*

*Ao meu pai João Carlos, minha mãe Regina
Célia, às minhas irmãs Ana Flávia e Flaviana
e à minha namorada Ana Carolina.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos, as quais permitiram ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho e todos os desafios vencidos em minha vida.

Ao meu Pai e minha Mãe, João Carlos e Regina, por estarem sempre ao meu lado acreditando no meu potencial e não medirem esforços para me dar um futuro melhor. Obrigado por me amarem, pelos ensinamentos e por tudo que fizeram em minha vida.

Às minhas irmãs, Ana Flávia e Flaviana, por estarem sempre ao meu lado durante toda a minha estadia em Viçosa e em minha graduação, me ajudando a perseverar nos momentos de desespero e me dando forças, tanto por meio de palavras, quanto gestos de carinho.

À minha namorada, Ana Carolina, por ser minha companheira de vida, por sempre estar ao meu lado nos momentos felizes e de dificuldades, e por me apoiar nas minhas decisões independentemente do assunto.

Ao meu sogro e sogra, Reginaldo e Ana Maria, por serem tão especiais em minha vida, pelos ensinamentos e conselhos, e por terem me acolhido como um filho em sua família.

Ao meu Tio Manoel, *in memoriam*, por todo amor, dedicação comigo e minhas irmãs, que continuará sempre em nossos corações.

A todos os professores que foram tão importantes na minha vida acadêmica e para minha formação profissional, em especial ao Prof. Michel e Ricardo, pelo auxílio na realização deste trabalho.

Ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa, e às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos foi a melhor experiência da minha formação acadêmica.

As pessoas que conheci e convivi intensamente durante toda a minha estadia em Viçosa, seja pelo convívio de curso, disciplina ou até mesmo das sociais. Foi muito bom ter relação de companheirismo e troca de experiências que permitiram crescer como pessoa e como profissional.

Deixo meus votos de agradecimento também às entidades que tive o privilégio de participar ao longo da minha caminhada na graduação: PET.EAA, Agrijúnior, Crea-Minas Júnior, LabGEO, Terrantar e Grupo G5S. Foram muitos aprendizados e sou grato a todos.

Por fim agradeço a cidade de Viçosa e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) que me acolheram nestes melhores anos da minha vida. A UFV deixa uma marca muito forte em todos que passam por suas generosas mãos, comigo não é diferente. Sinto e sentirei para sempre marcado em meu coração ter feito parte com orgulho dessa universidade.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

RESUMO

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é um mecanismo financeiro utilizado como instrumento de gestão ambiental com o intuito de remunerar a população pelos serviços ambientais prestados, que geram benefícios através da preservação e/ou conservação dos recursos naturais. A correta aplicação destes recursos para a implantação do PSA requer a devida seleção de áreas prioritárias, de modo a potencializar a conservação dos ecossistemas e a biodiversidade de uma determinada região. Desta forma, objetivou-se com esse estudo propor uma metodologia para seleção de áreas prioritárias para a implantação de programas de pagamento por serviços ambientais. A proposição metodológica consistiu na escolha de cinco variáveis representativas dos vieses conservacionista, ambiental e social, sendo elas: a perda anual de solo, capacidade de uso da terra, fragilidade ambiental, vulnerabilidade social e setores censitários. Para avaliar a assertividade da metodologia foi realizado um estudo de caso para o município de Ubá, Minas Gerais. Após a obtenção de cada uma das variáveis, foi realizada a priorização das variáveis pelo método do Processo Hierárquico Analítico e realizado a análise multicritério para determinação das áreas prioritárias. Os valores estimados da perda média anual de solo variaram de 0 a $5.325 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, valor este considerado muito elevado para condições reais. Verificou-se que maior parte do município de Ubá, 83,29%, apresentou capacidade de uso da terra classificada como classe VI, valor influenciado pela grande variabilidade espacial de declividades acentuadas e presença do Latossolo vermelho-amarelo. Já para a fragilidade ambiental, observou-se que mais de um terço do município, 39,31%, é caracterizado por apresentar classe de fragilidade alta, o que mostra uma situação agravante para o ponto de vista de conservação de solo. No que diz respeito a vulnerabilidade social, praticamente dois terços do município, 63,01%, apresenta vulnerabilidade social classificada como alta, indicativo social considerado preocupante. Por outro lado, após a análise multicritério, verificou-se que aproximadamente $13,2 \text{ km}^2$ do município de Ubá apresentam classe alta e muito alta de prioridade para implantação do PSA. Conclui-se que, a metodologia proposta pode ser aplicada em outras áreas, seja a nível municipal, bacia hidrográfica ou até estadual, podendo ser ajustada ou adaptada de acordo com a disponibilidade de dados e em função das particularidades ambientais de cada região.

Palavras-chave: Análise Multicritério; Conservação de solo e água; Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT

The Payment for Environmental Services (PES) is a financial mechanism used as an environmental management instrument in order to remunerate the population for the environmental services provided, which generate benefits through the preservation and/or conservation of natural resources. The correct application of these resources for the implementation of the PES requires the proper selection of priority areas, in order to enhance the conservation of ecosystems and biodiversity in a given region. Thus, the objective of this study was to propose a methodology for selecting priority areas for the implementation of payment programs for environmental services. The methodological proposal consisted of choosing five variables representing conservationist, environmental and social biases, namely: annual soil loss, land use capacity, environmental fragility, social vulnerability and census tracts. To evaluate the assertiveness of the methodology, a case study was carried out for the municipality of Ubá, Minas Gerais. After obtaining each of the variables, the variables were prioritized using the Analytical Hierarchical Process method and a multicriteria analysis was performed to determine the priority areas. The estimated values of average annual soil loss ranged from 0 to 5,325 ton.ha⁻¹.year⁻¹, a value considered very high for real conditions. It was verified that most of the municipality of Ubá, 83.29%, presented land use capacity classified as class VI, a value influenced by the great spatial variability of steep slopes and the presence of the red-yellow Latosol. As for environmental fragility, it was observed that more than a third of the municipality, 39.31%, is characterized by having a high fragility class, which shows an aggravating situation from the point of view of soil conservation. With regard to social vulnerability, practically two thirds of the municipality, 63.01%, presents social vulnerability classified as high, a social indicator considered worrying. On the other hand, after the multicriteria analysis, it was found that approximately 13.2 km² in the municipality of Ubá have high and very high priority classes for PES implementation. It is concluded that the proposed methodology can be applied in other areas, whether at the municipal, hydrographic basin or even state level, and can be adjusted or adapted according to the availability of data and depending on the environmental particularities of each region.

Keywords: Multicriteria Analysis; Soil and Water Conservation; Geographic Information System.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1	Proposição metodológica para seleção de áreas prioritárias.....	13
2.2	Aquisição e processamento do banco de dados.....	14
2.3.	Estudo de caso.....	15
2.3.1	Área de estudo.....	15
2.3.2	Determinação da perda anual de solo.....	20
2.3.3	Determinação da capacidade de uso terra	25
2.3.4	Determinação da fragilidade ambiental	28
2.3.5	Determinação da vulnerabilidade social	37
2.3.6	Áreas prioritárias para Pagamento por Serviços Ambientais	39
2.3.6.1	Análise multicritério.....	39
2.3.6.2	Seleção das áreas prioritárias.....	42
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.1	Perda anual de solo.....	45
3.2	Capacidade de uso da terra	49
3.3	Análise da fragilidade do município	54
3.3.1	Fragilidade do solo.....	54
3.3.2	Fragilidade das declividades.....	55
3.3.3	Fragilidade da erosividade da chuva.....	56
3.3.4	Fragilidade de uso e ocupação do solo.....	58
3.3.5	Fragilidade potencial.....	60
3.3.6	Fragilidade ambiental.....	61
3.4	Análise da vulnerabilidade social.....	64
3.5	Áreas prioritárias para Pagamento por Serviços Ambientais	67
4	CONCLUSÃO.....	76
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional, a ocorrência dos processos de urbanização desordenada e o desenvolvimento não sustentável trouxeram um complexo desafio para a manutenção dos ecossistemas e da biodiversidade para as próximas gerações. Em nível mundial, atualmente é necessário cerca de 1,5 planeta para manter o padrão de consumo, no que diz respeito à utilização dos recursos naturais, para suprir as necessidades do estilo de vida da sociedade (WWF, 2022).

O bem-estar da sociedade depende significativamente dos serviços ecossistêmicos que são fornecidos pela natureza e a manutenção do mesmo pode ser realizada através do desenvolvimento sustentável e da conservação dos recursos naturais (GUEDES e SEEHUSEN, 2011).

Serviços ecossistêmicos podem ser definidos como serviços que a natureza fornece ao ser humano através dos seus ciclos naturais e que sustentam a vida e a biodiversidade presente no planeta. O termo foi originado na década de 70 nos Estados Unidos da América, como uma resposta ecológica e econômica à degradação dos ecossistemas (DALY e FARLEY, 2004).

Como a biodiversidade é a base para a manutenção da saúde do nosso planeta, atividades que tendem a deteriorar essa heterogeneidade biológica impactam diretamente sobre a vida de todos nós. Dessa forma, a decisão de proteger os ecossistemas e garantir o provimento de serviços ambientais é uma escolha ética e de justiça social (ANA, 2022).

Com a necessidade de estimular o desenvolvimento sustentável, nas últimas décadas, o mercado de serviços ambientais ganhou relevância mundial como um instrumento inovador e promissor para complementar os métodos tradicionais de gestão ambiental. Esse mercado apresenta diversos benefícios em diferentes escalas, seja para as pessoas ou instituições privadas e governamentais que proveem esses serviços (SANTOS e VIVAN, 2012).

Serviços ambientais são comumente utilizados como sinônimo de serviços ecossistêmicos, porém estes diferem-se, uma vez que são benefícios gerados por meio de ações antrópicas, ou seja, são serviços que geram benefícios resultantes de intervenções de gestão e manejo sustentável dos sistemas naturais pelo ser humano, diferentemente dos serviços ecossistêmicos. O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é um mecanismo financeiro utilizado como instrumento de gestão ambiental com o intuito de remunerar produtores rurais, agricultores familiares, comunidades tradicionais e povos indígenas pelos serviços ambientais prestados, que geram benefícios para toda a sociedade, através da preservação e/ou conservação dos recursos naturais (MEDEIROS; AZZARI; ZANETTI, 2022; MURADIAN et al., 2010).

Para a implementação efetiva de medidas conservacionistas visando a manutenção da quantidade e qualidade ambiental, é necessária a criação de uma relação de causa-efeito juntamente com o custo de oportunidade. Desse modo, uma estratégia para convencer a implantação do PSA em uma determinada propriedade é estabelecer o custo ambiental da degradação ou valorar os serviços ecossistêmicos (FERNANDES, 2009).

No Brasil, foi instituída a Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que dispõe sobre a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA). A PNPSA é um marco histórico para o setor de gestão ambiental, uma vez que no Brasil este instrumento vinha sendo pautado desde o início do século XX em diferentes projetos de lei, sem trazer um arcabouço legal efetivo para a implementação de PSA. Além disso, a Lei permitiu que as receitas oriundas da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, conforme decisão do comitê da bacia hidrográfica, possam também ser destinadas a ações de PSA (BRASIL, 2021).

A correta aplicação destes recursos para a implantação do PSA no âmbito do comitê requer a devida seleção de áreas prioritárias, de modo a potencializar a conservação dos ecossistemas e a biodiversidade de uma determinada região. Diante disso, é fundamental o desenvolvimento/aperfeiçoamento de metodologias que permitam a seleção de áreas prioritárias para implantação de PSA possibilitando, desta forma, a maximização dos benefícios gerados pela conservação dos recursos naturais (ROSA; TONELLO; LOURENÇO, 2016; MONTEIRO, 2016).

A definição de áreas prioritárias para qualquer fim, depende do entendimento de diferentes variáveis que afetam de maneira direta e indireta o funcionamento de um determinado local. A compreensão e a combinação de fatores físicos, ambientais e sociais fornecem subsídios para a administração dos recursos naturais dentro do sistema. Por exemplo, uma divisão territorial, seja em nível municipal, estadual ou nacional, apresenta comportamento e funções distintas, tornando essencial a identificação de zonas com maior vocação para potencializar os recursos naturais, bem como áreas mais susceptíveis à degradação (BOCHNER et al., 2010).

Diante desse cenário, para a determinação desses locais prioritários para a implantação de programas de PSA, o ideal é que sejam utilizados critérios advindos de metodologias conservacionistas, ambientais e sociais, a fim de garantir maior assertividade no processo de seleção de áreas propícias. Atualmente, essa necessidade de apresentar as áreas prioritárias espacialmente distribuídas exige a utilização de ferramentas computacionais conhecidas como Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), as quais permitem a manipulação e a análise de dados de natureza espacial.

Como a seleção dessas áreas deve ser determinada partindo de diferentes critérios, existem diversos métodos para a espacialização de áreas prioritárias, destacando-se aqueles baseados na análise de múltiplos critérios (BOCHNER et al., 2010; VETTORAZZI, 2006). Segundo EASTMAN (2001), os critérios podem ser de dois tipos: fatores e restrições, podendo referir-se tanto a atributos do indivíduo quanto ao conjunto todo de decisão.

Neste contexto, com o presente trabalho objetivou-se propor uma metodologia para seleção de áreas prioritárias para a implantação de programas de Pagamento por Serviços Ambientais através de variáveis conservacionistas e socioambientais, a fim de potencializar a conservação do meio ambiente. Além disso, objetivou-se também avaliar a viabilidade e assertividade da metodologia por meio de um estudo de caso.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Proposição metodológica para seleção de áreas prioritárias

A proposição metodológica para selecionar áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais, consistiu na escolha de cinco variáveis representativas dos vieses conservacionista, ambiental e social (Tabela 1). A escolha de cada uma das variáveis estudadas foi feita de acordo com sua relevância como indicadores conservacionistas e socioambientais, e por apresentarem representatividade aos critérios exigidos pela Lei Federal nº 14.119 (BRASIL, 2021).

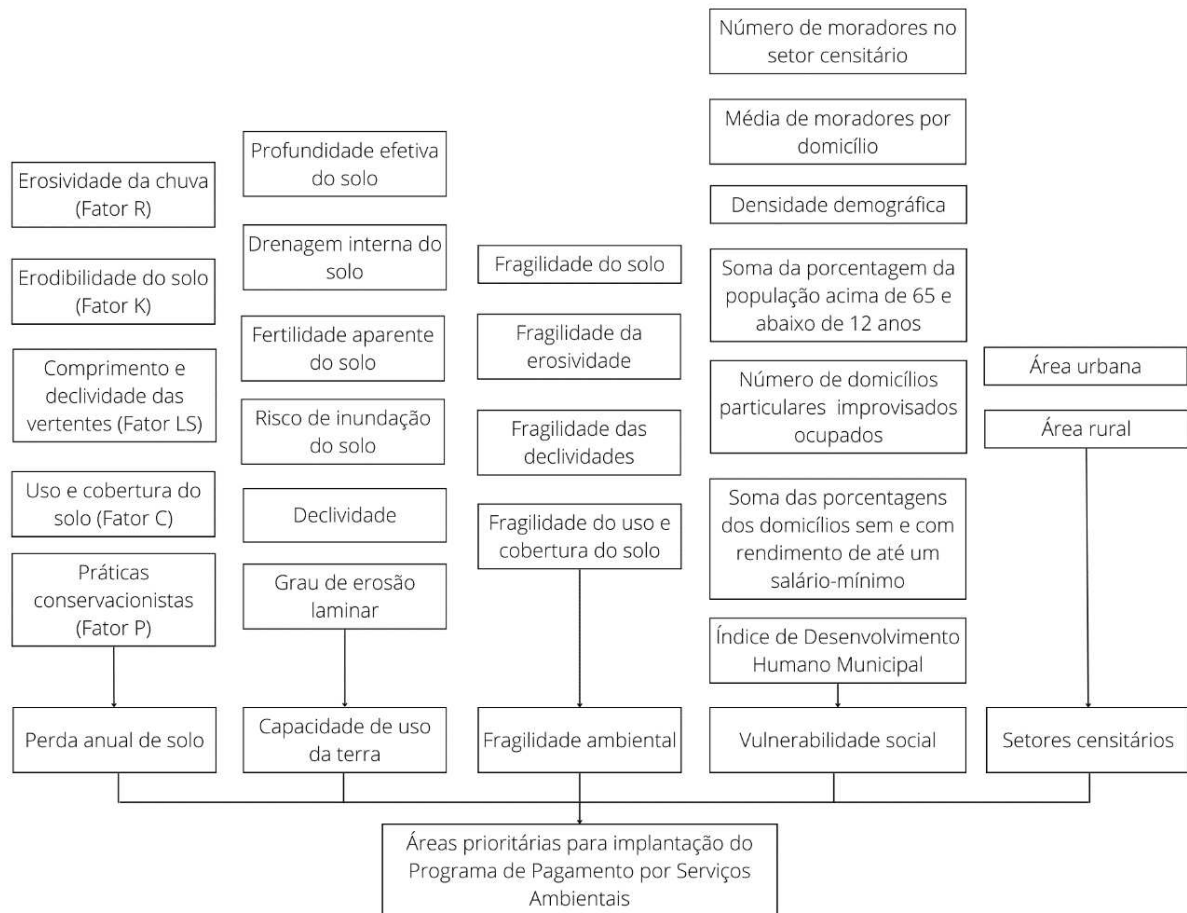
Tabela 1 – Critérios utilizados para a seleção de áreas prioritárias para a implantação de programas de pagamento por serviços ambientais

Critério	Viés	Justificativa
Perda anual de solo	Ambiental / Conservacionista	Indica áreas mais susceptíveis a perda de solo por erosão
Capacidade de uso da terra	Conservacionista	Indica o grau máximo de aptidão do uso da terra
Fragilidade ambiental	Ambiental	Indica áreas mais propícias à processos de degradação ambiental
Vulnerabilidade social	Social	Indica os locais com maior desigualdade social
Setores censitários	Social	Indica a segmentação espacial de um local

Fonte: O autor.

O procedimento proposto neste trabalho para a seleção das áreas prioritárias foi pensado analisando as ferramentas disponíveis e a facilidade de manipulação para os órgãos gestores. Neste estudo foram realizadas simulações para cada variável, a fim de se determinar os parâmetros que possuem melhor capacidade de representar a variabilidade conservacionista e socioambiental, e que poderiam ser incorporados no mecanismo de seleção de áreas prioritárias (Figura 1).

Figura 1 – Procedimento metodológico para seleção de áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais



Fonte: O autor.

2.2 Aquisição e processamento do banco de dados

A aquisição do banco de dados geospaciais utilizado neste estudo foi realizada a partir da infraestrutura geoespacial pública disponibilizada gratuitamente por diferentes instituições, como: Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SiCAR), Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas), e Projeto de Reprocessamento dos dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (NASADEM).

O processamento dos dados geoespaciais foi realizado no *software ArcGIS/ArcMap®* 10.8, o qual permite manipular arquivos vetoriais e matriciais através de diversas ferramentas para realização de mapeamento, gerenciamento e análise de dados geográficos de forma integrada e de fácil uso.

Em função das dificuldades de obtenção das bases de dados padronizados em uma escala única necessários para este estudo, foram utilizadas diferentes escalas para os dados de entrada. Entretanto, para os produtos gerados, foi utilizada a mesma escala (30 metros ou 1:80.000) para melhor detalhamento e a maior precisão para a tomada de decisão.

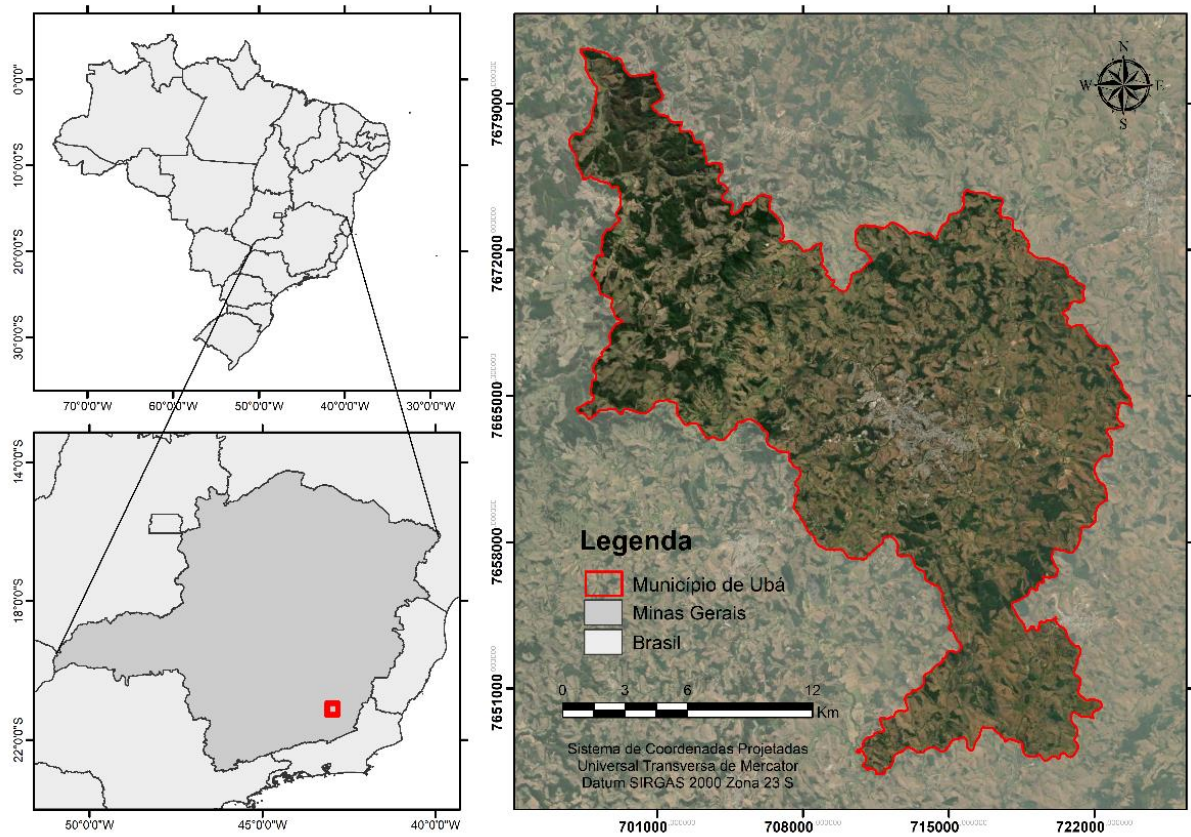
2.3 Estudo de caso

Com intuito de avaliar a viabilidade da metodologia proposta, realizou-se um estudo de caso com a referida metodologia para o município de Ubá, Minas Gerais. A área de estudo foi selecionada devido a sua importância no que diz respeito à conservação ambiental, desenvolvimento sustentável e por ser um município que possui um reconhecido programa de PSA, o qual foi recentemente vencedor do Prêmio Mineiro de Boas Práticas na Gestão Municipal, promovido pela Associação Mineira de Municípios (AMM) (PREFEITURA DE UBÁ, 2022).

2.3.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Ubá (Figura 2), localizado na região da Zona da Mata do estado de Minas Gerais.

Figura 2 – Localização do município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

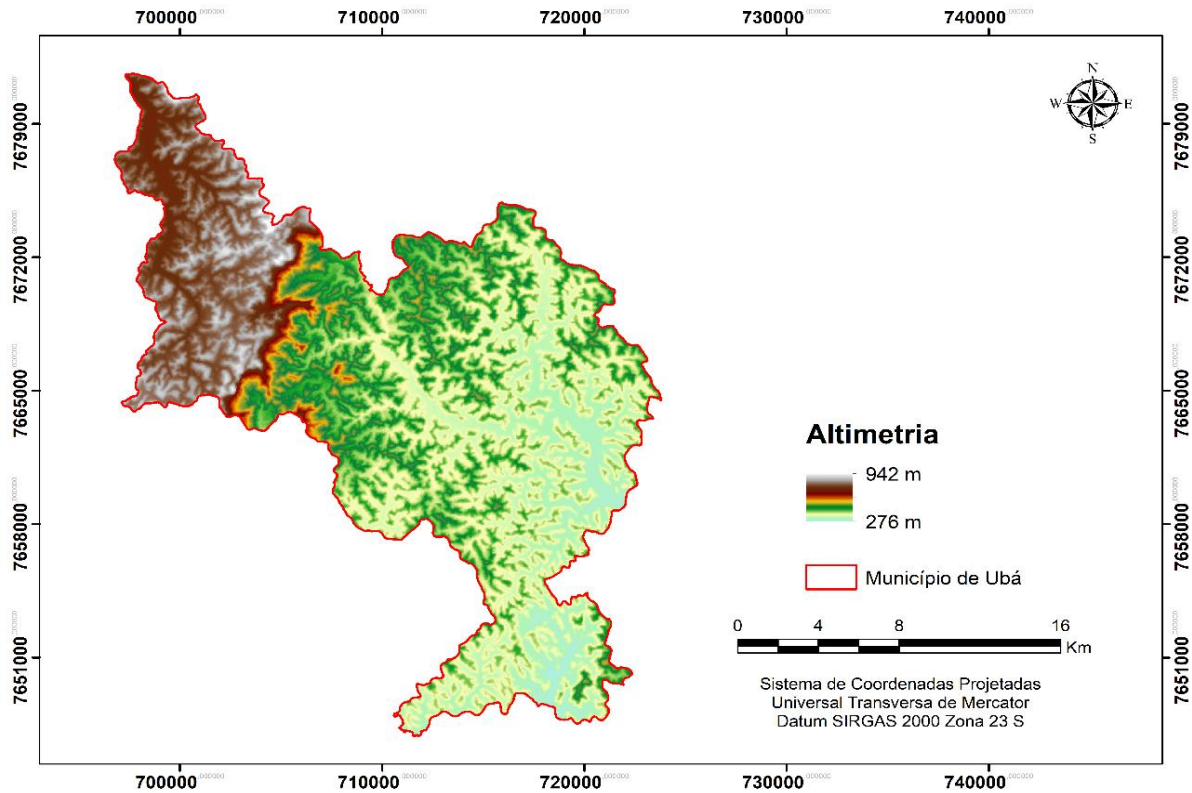
A maior parte do município de Ubá está na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, enquanto outro trecho, localizado principalmente ao noroeste, pertence à bacia hidrográfica do rio Doce. Em uma escala detalhada, o município é compreendido por cinco microbacias hidrográficas, sendo a microbacia do ribeirão Ubá a maior em extensão territorial que atravessa o município na direção noroeste-sudeste.

Conforme a classificação de Köppen, o clima local é considerado como Aw, ou seja, um clima tropical úmido com estação seca no período de inverno (ALVARES et al., 2013). A temperatura média do município é de 21,7 °C, enquanto as temperaturas máxima e mínima são, em média, de 29,1 °C e 16,3 °C, respectivamente (INMET, 2022).

A precipitação anual média é de 1.273 mm, apresentando no mês de dezembro o maior volume pluviométrico médio, com 288,2 mm. Por outro lado, o menor volume pluviométrico é observado no mês de julho, com um valor acumulado médio de cerca de 12,7 mm (INMET, 2022).

Em termos de hipsometria, verifica-se que a altitude do município varia na ordem de 276 a 942 m, respectivamente na foz do Córrego de São Pedro e na Serra do Sacramento, como é apresentado na Figura 3.

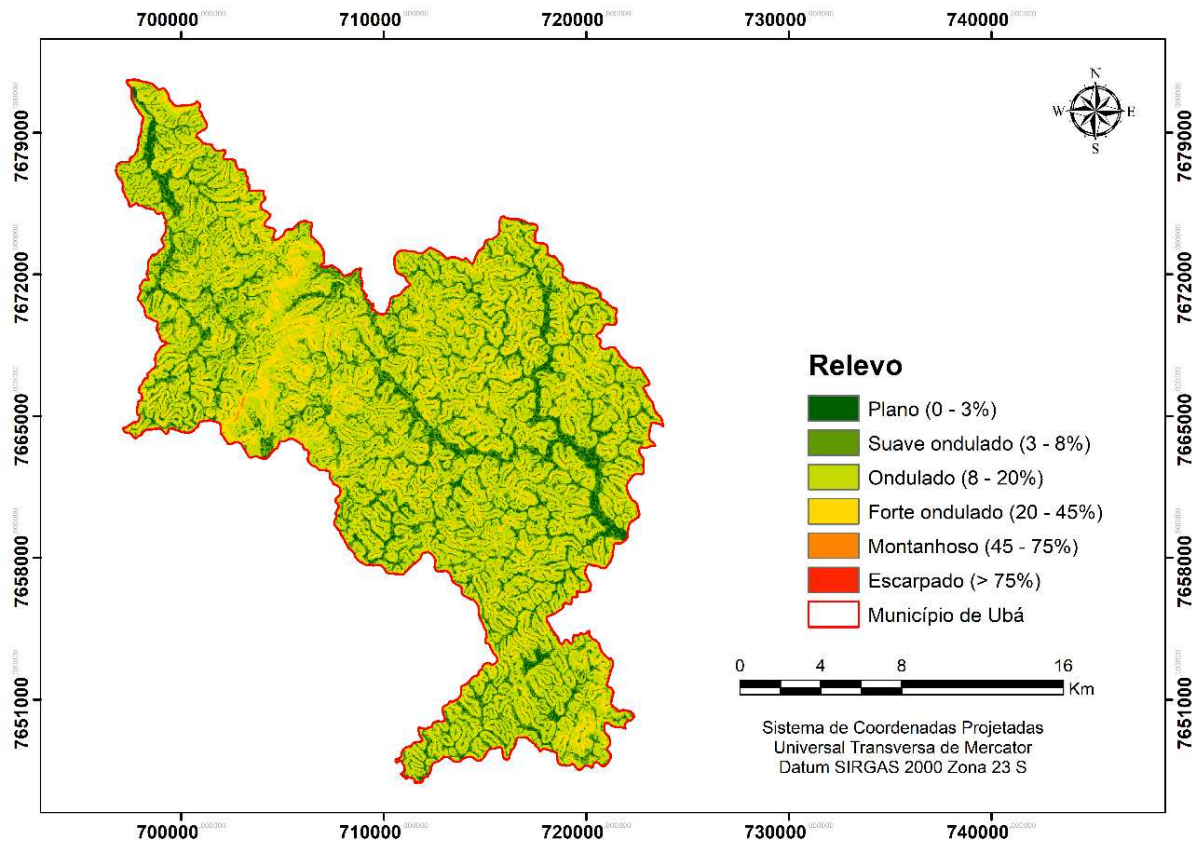
Figura 3 – Hipsometria do município de Ubá gerada a partir do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC)



Fonte: O autor.

De acordo com a classificação do relevo da Embrapa (2013), o município apresenta valores elevados de declividade, com valor médio de 21 %, o que o caracteriza como de relevo forte ondulado como mostrado na Figura 4.

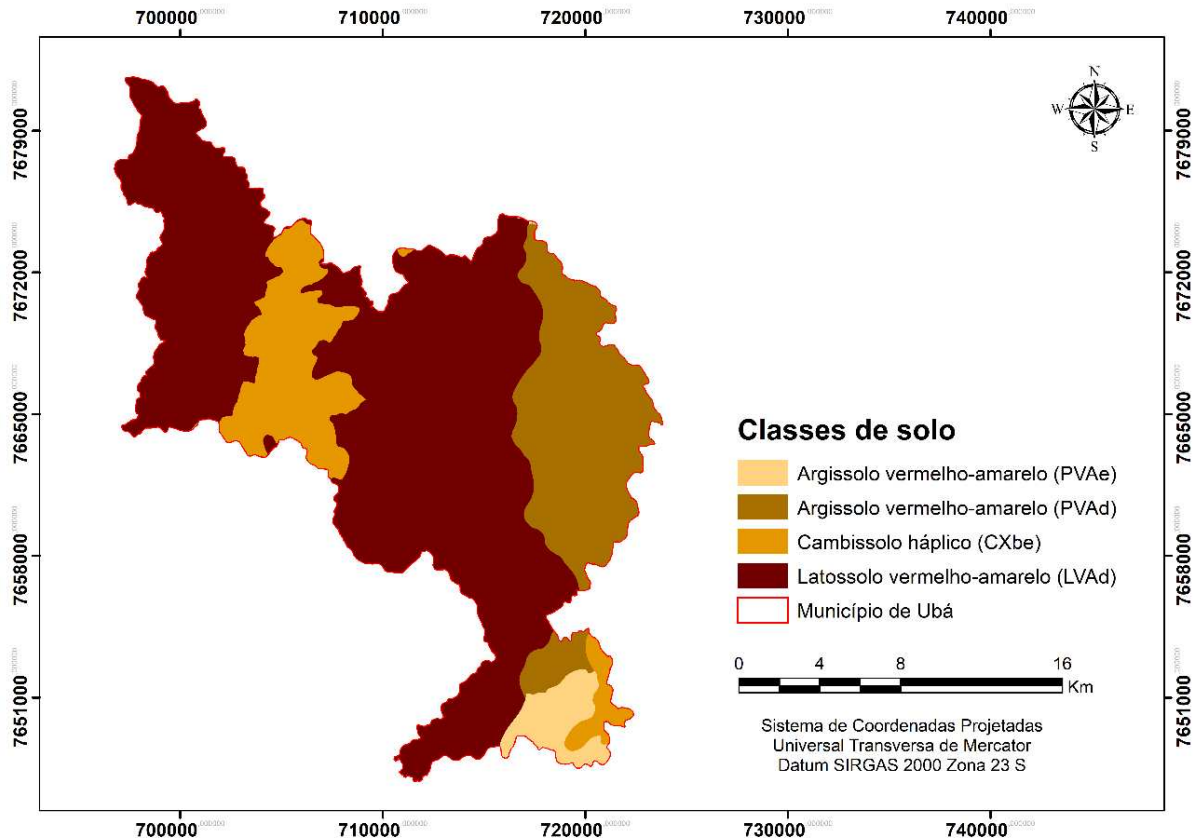
Figura 4 – Classificação do relevo do município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

Quanto à pedologia, cerca de 65,1 % da área da bacia é representada pelo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd), seguido do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd), com 19,2%. O Cambissolo háplico (CXbe) e o Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVAe) representam 12,4% e 3,3%, respectivamente (FEAM, 2010). A distribuição das classes de solo presentes na área de estudo é apresentada na Figura 5.

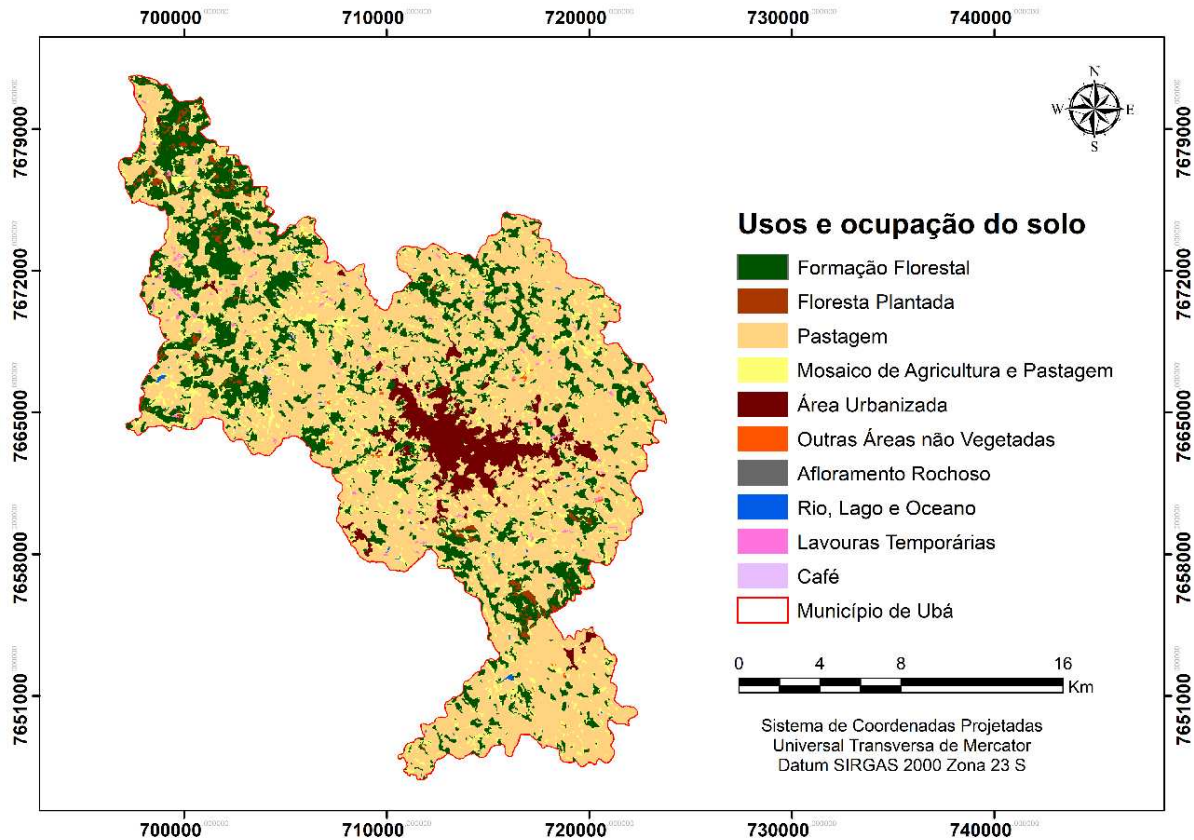
Figura 5 – Mapa dos solos predominantes no município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

Sobre o uso e ocupação da terra, o município apresenta em sua cobertura a predominância da agropecuária (pastagem e agricultura), que cobre uma superfície de 71,4%, seguida por formação florestal, com 21,0%, e área urbanizada, com 5,7%, conforme a coleção número 6, disponibilizada na plataforma do projeto MapBiomias, publicada em agosto de 2021 (MAPBIOMAS, 2022). A distribuição do uso e cobertura da terra presentes na área de estudo é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Uso e cobertura da terra do município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

2.3.2 Determinação da perda anual de solo

Para a determinação da perda anual de solo do município de Ubá foi utilizada a da *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, que é um modelo empírico para a estimativa da perda de solo proposto por Wischmeier e Smith (1978) a partir de 10 mil parcelas padrões espalhados por todo os Estados Unidos da América.

O procedimento de estimativa da perda anual de solo foi realizado em ambiente SIG, utilizando a ferramenta *Raster Calculator Tool* do software *ArcGIS/ArcMap® 10.8*, conforme apresentado na Equação 1.

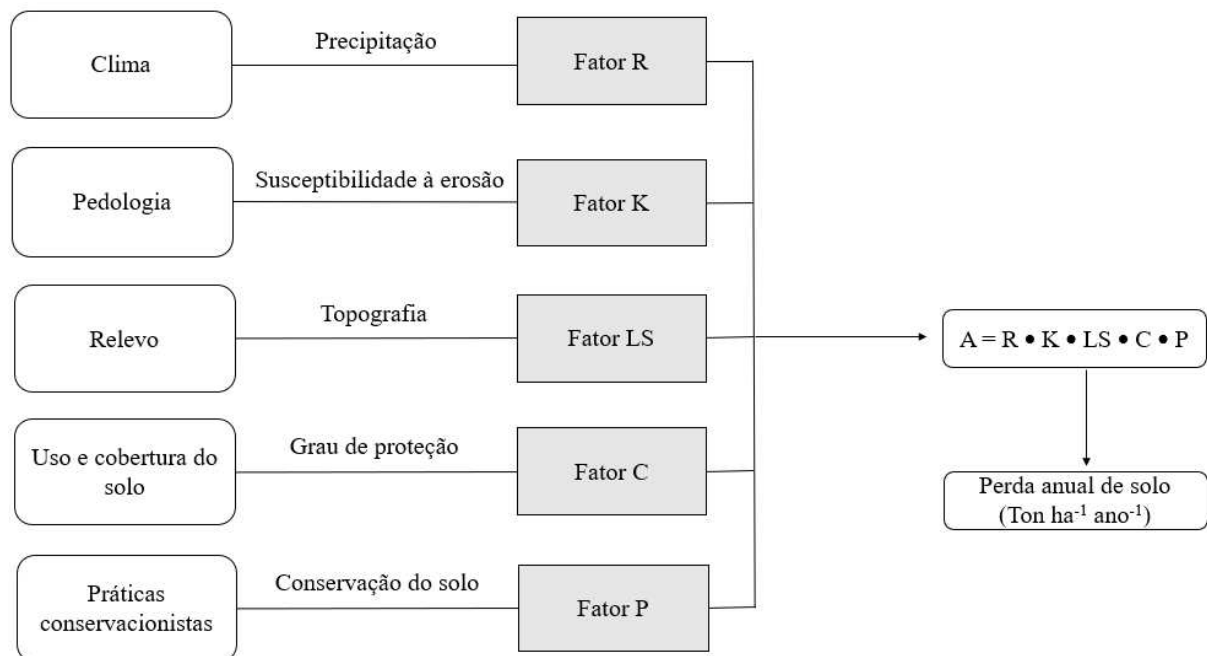
$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

em que:

- A = taxa anual média de erosão do solo por unidade de área ($\text{ton ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);
 R = fator erosividade média das chuvas ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$);
 K = fator erodibilidade dos solos ($\text{ton h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$);
 L = fator comprimento de rampa (adimensional);
 S = fator de declividade (adimensional);
 C = fator de cobertura do solo (adimensional); e
 P = fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Na Figura 7 é apresentado o diagrama esquemático do processo de quantificação da perda anual de solo, no ambiente SIG, levando em consideração os parâmetros que constituem a USLE (Equação 1).

Figura 7 – Representação esquemática da *Universal Soil Loss Equation*



Fonte: O autor.

Erosividade da chuva

Para a determinação do fator erosividade da chuva utilizou-se o software *NetErosividade MG* (MOREIRA et al., 2008) desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Viçosa (GPRH – UFV). No *NetErosividade MG* foi obtida a erosividade da chuva para o município de Ubá, de acordo com o valor de E_{i30} e a metodologia proposta por Foster et al. (1981).

Erodibilidade do solo

Os dados dos solos presentes no município de Ubá foram extraídos do mapa de solos de Minas Gerais, elaborado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), em parceria com a Universidade Federal de Viçosa, a Universidade Federal de Lavras e a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, na escala de 1:500.000 (FEAM, 2010).

Segundo Wischmeier e Smith (1978), a erodibilidade do solo (fator K) pode ser determinada através de experimentos realizados diretamente em campo sob condição de chuva natural, em parcelas padrões através dos simuladores de chuva e por meio indireto utilizando modelos empíricos, que torna-se uma forma mais fácil e rápida. Por outro lado, outra maneira de obter esse fator para determinado tipo de solo é através de buscas na literatura.

Para a classificação quanto à erodibilidade dos solos, em virtude do tamanho do município, optou-se por utilizar dados de erodibilidade obtidos diretamente da literatura, os quais são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Erodibilidade das classes de solos de ocorrência no município de Ubá

Solo	Fator K	Fonte
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0,0200	Baptista (2003)
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0,0270	Resck et al (1981)
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	0,0330	Marques (1996)
Cambissolo háplico	0,0355	Silva et al (2009)

Fonte: O autor.

Comprimento e declividade da vertente

Para a obtenção dos índices topográficos presentes na USLE, foram utilizados os dados altimétricos do projeto NASADEM (NASADEM, 2021), que realizou melhorias no processamento dos dados altimétricos do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), como o controle de elevação, o preenchimento de vazios e a fusão com dados indisponíveis no momento da produção original do SRTM, com resolução espacial de 30 metros.

A determinação do fator de comprimento de rampa e declividade da vertente (LS) foi realizada aplicando-se a metodologia proposta por Engel (2003), na qual os procedimentos são realizados em ambiente SIG, com o uso da ferramenta *Raster Calculator Tool* do software *ArcGIS*, a fim de se estimar o fator LS, conforme proposto por Moore e Burch (1986), sendo representado pela Equação 2.

$$LS = \left[FA * \left(\frac{CS}{22,13} \right) \right]^{0,4} * \left[\frac{\text{sen}(S)}{0,0896} \right]^{1,3} \quad (2)$$

em que:

- FA = acúmulo de fluxo ou área de contribuição, em metros;
- CS = tamanho do pixel do modelo digital de elevação, correspondente a 30 metros; e
- S = declividade, em radianos, calculada para cada pixel.

O parâmetro de fluxo acumulado ou área de contribuição utilizado na Equação 2 foi gerado utilizando a ferramenta *Flow Accumulation* do software *ArcGIS*, após a realização da correção de possíveis depressões espúrias com a ferramenta *Fill*.

Para a geração do mapa de declividade do município de Ubá, primeiramente foi realizado o condicionamento hidrológico do modelo digital de elevação do NASADEM. Logo após foi utilizada a ferramenta *Slope* para gerar a declividade em graus de toda a área de estudo. A conversão da declividade em graus para radianos foi realizada na ferramenta *Raster Calculator*, com a aplicação da Equação 3.

$$S = S^{\circ} * \frac{\pi}{180^{\circ}} \quad (3)$$

em que:

- S = declividade, em radianos; e
 S° = declividade, em graus, para cada pixel.

Uso e manejo do solo e práticas conservacionistas

Para a determinação do fator de uso e manejo do solo e práticas conservacionistas (CP) foi utilizado o mapa de uso e ocupação da terra do *Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil* (MAPBIOMAS, 2022), que procedeu o mapeamento anual da cobertura e uso da terra para todo território nacional desde 1985, com resolução espacial de 30 metros. Neste estudo foi utilizada a coleção número 6, disponibilizada na plataforma do projeto, publicada em agosto de 2021.

A atribuição dos valores de CP para cada uma das classes de uso e cobertura do município de Ubá foi realizada considerando informações presentes na literatura, conforme se apresenta na Tabela 3. Áreas que possuem vegetação de médio a grande porte receberam valores de CP menores, sendo que esses valores foram maiores de acordo com a diminuição do porte da vegetação e com o grau de cobertura que cada espécie é capaz de oferecer. Por outro lado, para os corpos hídricos o valor de CP foi nulo, enquanto para os solos totalmente expostos o valor foi igual a 1.

Tabela 3 – Fator CP para cobertura e uso da terra no município de Ubá, Minas Gerais

Uso e cobertura	Fator CP	Fonte
Formação Florestal	0,0004	Barbosa et al. (2015)
Floresta Plantada	0,0004	Barbosa et al. (2015)
Pastagem	0,0288	Costa et al. (2005)
Agricultura	0,2558	Costa et al. (2005)
Área Urbanizada	0,0075	Costa et al. (2005)
Solo Exposto	1,0000	Barbosa et al. (2015)
Afloramento Rochoso	0,0100	Costa et al. (2005)
Corpo hídrico	0,0000	Barbosa et al. (2015)

Fonte: O autor.

Taxa anual média de perda do solo

Após a obtenção de todos os fatores utilizados na USLE, foi gerado o fator A referente a taxa anual média de perda de solo (Equação 1), de acordo com a metodologia proposta por Wischmeier e Smith (1978).

Com os valores da taxa anual média de erosão procedeu-se a classificação da intensidade de perda anual de solo (Tabela 4), conforme proposta de Carvalho (1994). Neste estudo foram consideradas as áreas com maiores taxas de perda anual de solo como sendo as mais frágeis, assim apresentando valores maiores para priorização.

Tabela 4 – Classes de intensidade de perda anual de solo

Perda de solo (ton ha⁻¹ ano⁻¹)	Categorias hierárquicas	Valor
0 – 15	Nula a moderada	1
15 – 50	Média	2
50 – 120	Média a forte	3
120 – 200	Forte	4
> 200	Muito forte	5

Fonte: Carvalho (1994).

2.3.3 Determinação da capacidade de uso terra

Para a determinação da capacidade de uso da terra do município de Ubá foi utilizada a metodologia proposta por Lepsch et al. (2015), que constitui em uma adaptação da metodologia proposta pela Sociedade Americana de Ciência do Solo (KLINGEBIEL e MONTGOMERY, 1961).

Neste presente estudo optou-se pela adoção do primeiro nível de agrupamento das classes, que agrupam terras que apresentam limitações e/ou riscos de deterioração agrícola em graus semelhantes conforme mostrado na Tabela 5 (LEPSCH et al., 2015), na qual as limitações dos solos e os riscos de degradação são dispostos em ordem crescente da Classe I para a VIII.

Tabela 5 – Classes de capacidade e uso do solo

Classes	Descrição
I	Terras sem ou com poucas limitações em relação ao risco de degradação no uso em atividades agrícolas intensivas.
II	Terras com limitações em grau moderado em relação ao risco de degradação no uso em atividades agrícolas intensivas.
III	Terras com limitações em grau severo em relação ao risco de degradação no uso em atividades agrícolas intensivas.
IV	Terras com limitações em grau muito severo em relação ao risco de degradação no uso em atividades agrícolas intensivas, o cultivo deve ser ocasional e limitado.
V	Terras sem ou com pequeno risco de degradação, porém com limitações não removíveis que limitam o uso apenas para pastagem, reflorestamento e ou vida silvestre.
VI	Terras com limitações severas, podendo ser usadas apenas para pastagens e/ou reflorestamento, ou ainda em certas culturas permanentes protetoras do solo.
VII	Terras com limitações e risco de degradação muito severas, mesmo quando utilizadas para pastagem e/ou reflorestamento.
VIII	Terras inadequadas para culturas, pastagens ou reflorestamento, utilizadas para proteção da fauna e flora.

Fonte: Lepsch et al. (2015).

Para a realização da avaliação da capacidade de uso da terra, conforme preconizam Lepsch et al. (2015), devem ser verificadas as características relativas à pedogênese, como drenagem interna, fertilidade aparente, risco de inundação e profundidade efetiva; ao relevo, como a declividade; e ao grau de erosão laminar.

No que diz respeito à presença de sulcos, voçorocas e pedregosidades, a análise destas características foi retirada da classificação em função da complexidade e alta variabilidade espacial de obtenção destes dados.

Para a determinação das características intrínsecas de cada classe de solo presente na área de estudo, como: drenagem interna, fertilidade aparente, risco de inundação e profundidade efetiva foi realizada uma pesquisa na literatura para obtenção das limitações.

A declividade foi calculada utilizando a ferramenta *Slope* sobre o MDEHC do município e foi reclassificada de acordo com as classes percentuais apresentadas na Tabela 6. E por fim, o grau de erosão laminar foi determinado de acordo com a estimativa de taxa anual média de perda de solo obtida pelo método da USLE.

Tabela 6 – Enquadramento da terra conforme as classes de capacidade de uso

Limitações		Classes de capacidade de uso da terra							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Profundidade efetiva	Muito profunda	X	X	X	X	X	X	X	X
	Profunda		X	X	X	X	X	X	X
	Moderada			X	X	X	X	X	X
	Raso				X	X	X	X	X
	Muito raso						X	X	X
Drenagem interna	Excessiva		X	X	X	X	X	X	X
	Boa	X	X	X	X	X	X	X	X
	Moderada		X	X	X	X	X	X	X
	Pobre			X	X	X	X	X	X
	Muito pobre					X	X	X	X
Fertilidade aparente	Muito alta	X	X	X	X	X	X	X	X
	Alta	X	X	X	X	X	X	X	X
	Média		X	X	X	X	X	X	X
	Baixa			X	X		X	X	X
	Muito baixa						X	X	X
Declividade	0 – 2%	X	X	X	X	X	X	X	X
	2 – 5%		X	X	X		X	X	X
	5 – 10%			X	X		X	X	X
	10 – 15%				X		X	X	X
	15 – 45%						X	X	X
	45 – 75%							X	X
	> 75%								X
Risco de inundação	Ocasional			X		X			X
	Frequente					X			X
	Muito frequente								X
Grau de erosão laminar	Nula a moderada	X	X	X	X	X	X	X	X
	Média		X	X	X	X	X	X	X
	Média a forte			X	X		X	X	X
	Forte							X	X
	Muito forte								X

Fonte: Adaptado de Lepsch et al. (2015) e Rio Grande do Sul (1979).

Cada variável referente às características pedológicas apresentada na Tabela 5 foi representada por uma camada vetorial e posteriormente foram atribuídos valores das classes de capacidade de uso, conforme suas características intrínsecas, na tabela de atributos do *shapefile* “tipos de solos” presentes no município de Ubá, e por fim, foi feita a rasterização, com resolução espacial de 30 metros, para realizar o cruzamento de todos os parâmetros.

Nas camadas matriciais (declividade e grau de erosão laminar) foram feitas a reclassificação dos intervalos representativos e atribuídos valores segundo as oito possíveis classes de capacidade de uso conforme mostrada na Tabela 6.

2.3.4 Determinação da fragilidade ambiental

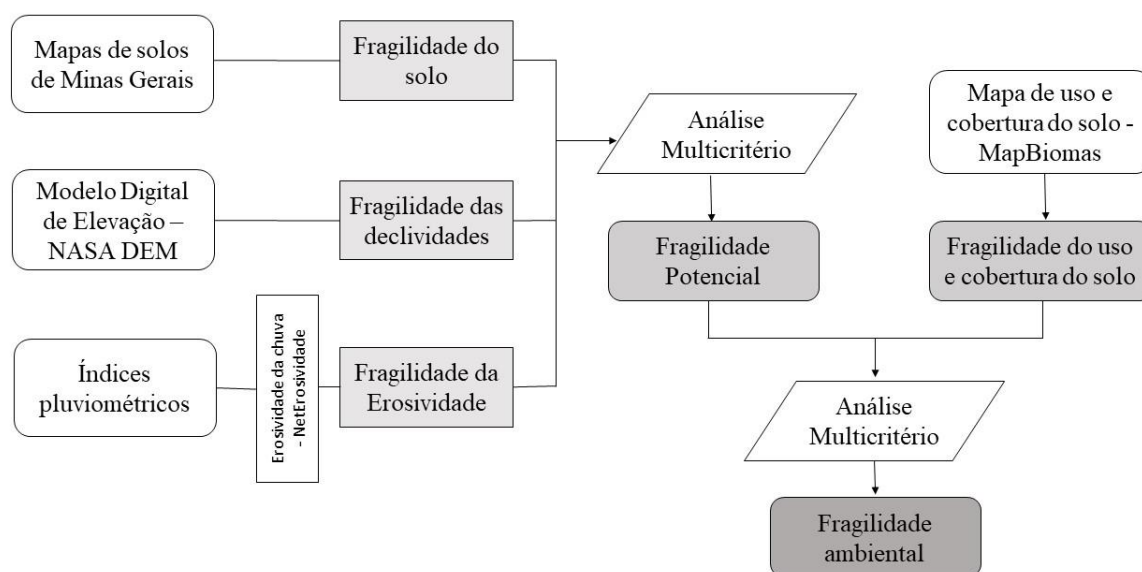
A análise da fragilidade ambiental do presente estudo foi baseada na metodologia proposta por Ross (1994). Tal metodologia apresenta cinco categorias hierárquicas com valores variando de 1 a 5 para variáveis referentes aos solos, relevo, uso da terra, geologia e clima. Para este trabalho, o aspecto geológico não foi utilizado por não ser pertinente devido a homogeneidade geológica do município estudado.

A fim de se aplicar a metodologia proposta por Ross (1994), foram necessários os dados dos aspectos pedológicos, do relevo (declividade), e os pluviométricos da área de estudo para a obtenção da fragilidade potencial, ou seja, a fragilidade natural do município.

Para determinar a fragilidade ambiental efetiva do município, foi necessária a atribuição do fator antrópico representado pelo uso e cobertura da terra. Desse modo, foram cruzados os dados gerados da fragilidade natural com a fragilidade do uso e da cobertura da terra resultando na fragilidade ambiental.

Na Figura 8 apresenta-se o fluxograma da metodologia utilizada para estimar a fragilidade ambiental do município de Ubá. A análise multicritério utilizada para obter as informações de fragilidade potencial e ambiental será detalhada posteriormente.

Figura 8 – Metodologia utilizada no estudo da fragilidade potencial e ambiental



Fonte: O autor.

Fragilidade do solo

Para classificação dos solos presentes e a geração da fragilidade pedológica do município, foram utilizados os pressupostos de Ross (1994), adaptados por Storto e Cocato (2018), de acordo com os tipos de solos presentes na área de estudo. Diante disso, na Tabela 7 são apresentadas as categorias hierárquicas dos tipos de solo conforme o nível de fragilidade, que representa resistência do solo conforme as características de textura, estrutura, coesão das partículas e profundidade dos horizontes do solo.

Tabela 7 – Categorias hierárquicas dos tipos de solo conforme os níveis de fragilidade

Fragilidade	Categorias hierárquicas	Valor
Muito Fraca	Latossolos (textura argilosa e muito argilosa)	1
Fraca	Latossolos (textura média)	2
Média	Nitossolos	3
Forte	Argissolos não abrupcos; e Cambissolos Alumínicos	4
Muito Forte	Neossolos Regolíticos; Neossolos Flúvicos, Gleissolos, Cambissolos Flúvicos e Organossolos; Neossolos Flúvicos, Gleissolos, Cambissolos Flúvicos e Organossolos; Argissolos abrupcos e Luvisolos; Neossolos Litólicos; Cambissolos Alumínicos, Chernossolos e Neossolos Quartzarênicos	5

Fonte: Storto e Cocato (2018).

Fragilidade das declividades

No que diz respeito ao estudo do relevo, foram selecionadas as classes de declividade por serem mais adequadas ao intuito do estudo. Neste trabalho, foram consideradas as declividades mais acentuadas como mais frágeis, conforme sugerido por Ross (1994) e adaptado por Storto e Cocato (2018).

Para a geração do mapa de declividade do município de Ubá foi utilizada a ferramenta *Slope* e escolhida a opção de declive percentual para toda a área de estudo, sendo ainda realizada a reclassificação das classes de fragilidade de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 – Classes de fragilidade das declividades

Fragilidade	Categorias hierárquicas	Valor
Muito Fraca	Até 6%	1
Fraca	de 6 a 12%	2
Média	de 12 a 20%	3
Forte	de 20 a 30%	4
Muito Forte	Acima de 30%	5

Fonte: Storto e Cocato (2018).

Fragilidade da erosividade da chuva

A geração das classes de fragilidade da precipitação para a área de estudo foi realizada a partir das categorias hierárquicas de erosividade da chuva, apresentada na Tabela 9, que pode ser estimada a partir de dados históricos de estações pluviométricas distribuídas pelo território brasileiro.

Neste estudo optou-se pela utilização da classificação das categorias hierárquicas proposta por Santos (2008), devido a facilidade de obtenção do fator erosividade da chuva para o município de Ubá pelo software *netErosividade MG*.

Tabela 9 – Classes de fragilidade do fator de Erosividade da chuva

Fragilidade	Categorias hierárquicas	Valor
Muito Fraca	$R < 2.455$	1
Fraca	$2.455 < R < 4.910$	2
Média	$4.910 < R < 7.365$	3
Forte	$7.365 < R < 9.820$	4
Muito Forte	$R > 9.820$	5

Fonte: Santos (2008).

Fragilidade do uso e ocupação da terra

A determinação da fragilidade do uso e ocupação da terra foi realizada extraindo as informações dos diferentes usos e ocupação da terra presentes no município de Ubá, a partir da classificação realizada pelo projeto MapBiomas referente a coleção 6, que possui acurácia total média anual de 85,5% para o nível mais detalhado para o bioma Mata Atlântica. A classificação de uso e cobertura do solo foi reclassificada quanto ao grau de proteção dos usos, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Grau de proteção em relação ao uso da terra

Grau de proteção	Tipos de uso e ocupação
Muito baixa	Solo exposto ou Mineração; Área Urbanizada e Construída
Baixa	Pastagens e Campos
Média	Agricultura Anual; Vegetação de Várzea
Alta	Agricultura Perene; Floresta Estágio Inicial; Reflorestamento
Muito Alta	Floresta em Estágio Médio ou Avançado

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Para este estudo, a classificação quanto a fragilidade do uso e cobertura do solo foi feita de acordo com o grau de proteção do uso presente no município, conforme preconiza Ross (1994), que considera a cobertura vegetal presente diretamente relacionada à capacidade de proteção do solo.

Diante disso, nas áreas classificadas com a presença de corpos hídricos foram atribuídos o valor de fragilidade nula, como utilizado por Cruz et al. (2017). As áreas urbanas e solos expostos foram classificadas como maior fragilidade devido à ausência de cobertura vegetal, enquanto as áreas com presença de floresta nativa e plantada tiveram a classificação de fragilidade muito baixa e baixa, respectivamente.

Por outro lado, nas áreas classificadas como agricultura foi atribuído o grau de fragilidade média, uma vez que, para o município de Ubá, majoritariamente a agricultura é caracterizada por cultivos de ciclos longos, como citrus, manga e café. Por fim, para as áreas mapeadas com pastagem foi atribuído o grau de fragilidade alta, devido ao grau de degradação presente nessas pastagens localizadas no município de Ubá.

A Tabela 11 apresenta os graus de fragilidade determinados para cada classe de uso e ocupação da terra do município de Ubá.

Tabela 11 – Classes de uso e ocupação do solo e suas respectivas fragilidades

Grau de fragilidade	Classes de uso e ocupação	Valor
Nula	Corpos d'água	0
Muito baixa	Vegetação nativa	1
Baixa	Floresta plantada	2
Média	Agricultura	3
Alta	Pastagem	4
Muito alta	Solo exposto e área urbana	5

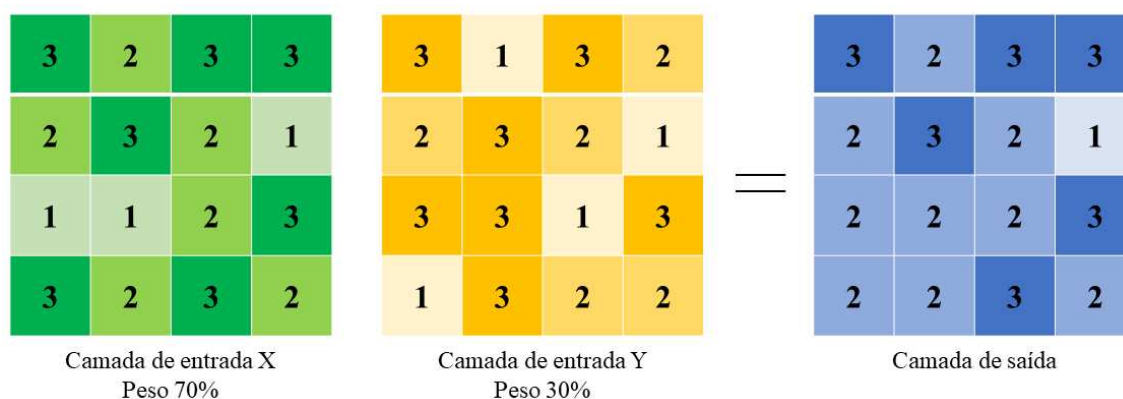
Fonte: Adaptado de Cruz et al. (2017).

Obtenção da fragilidade potencial e ambiental

Para a determinação da fragilidade potencial e ambiental para o município de Ubá foi empregada a abordagem multicriterial em ambiente SIG, por meio da metodologia de sobreposição ponderada conhecida como Combinação Linear Ponderada (CLP), utilizando a ferramenta *Weighted Overlay*, presente no *ArcGIS 10.8*.

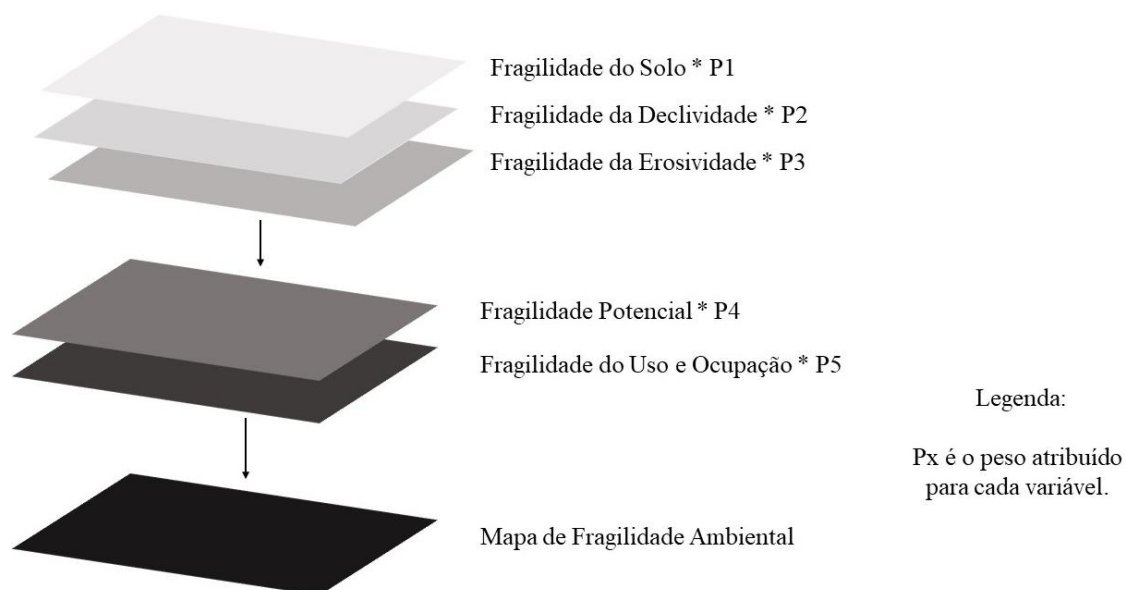
Para o funcionamento da Combinação Linear Ponderada, indicada nas Figuras 9 e 10, pelo menos duas camadas matriciais foram reclassificadas para uma escala comum, como por exemplo de 1 a 3, receberam uma influência percentual e foram sobrepostas. Os valores de cada pixel foram multiplicados pelo peso percentual atribuído e os resultados são somados para gerar a camada de saída. Como os valores do *raster* de saída da sobreposição ponderada são inteiros, caso o valor final da operação matemática seja decimal, o mesmo foi arredondado para o valor inteiro mais próximo (BOCHNER et al., 2010; VOOGD, 1983).

Figura 9 – Funcionamento da ferramenta *Weighted Overlay*, em que os números apresentados são referentes ao valor de cada pixel de uma camada matricial



Fonte: O autor.

Figura 10 – Representação esquemática da Combinação Linear Ponderada



Fonte: O autor.

Os critérios adotados para a obtenção da fragilidade potencial, juntamente com os graus de fragilidade de cada uma das variáveis, estão apresentados na Tabela 12. Já para a obtenção da fragilidade ambiental do município, os graus atribuídos estão indicados na Tabela 13. Quanto maior o valor para classe hierárquica, maior é a fragilidade do local em relação à variável que está sendo estudada, ou seja, o valor 1 indica uma menor fragilidade, enquanto o valor 5 é atribuído para uma maior fragilidade.

Tabela 12 – Parâmetros e pesos utilizados para determinação da fragilidade potencial

Fragilidades	Classificação	Valor
Solo	Muito baixa	1
	Baixa	2
	Média	3
	Alta	4
	Muito Alta	5
Declividade	Muito baixa	1
	Baixa	2
	Média	3
	Alta	4
	Muito Alta	5
Erosividade	Muito baixa	1
	Baixa	2
	Média	3
	Alta	4
	Muito Alta	5

Fonte: O autor.

Tabela 13 – Parâmetros e pesos utilizados para determinação da fragilidade ambiental

Fragilidades	Classificação	Valor
Potencial	Muito baixa	1
	Baixa	2
	Média	3
	Alta	4
	Muito Alta	5
Uso e ocupação do solo	Muito baixa	1
	Baixa	2
	Média	3
	Alta	4
	Muito Alta	5

Fonte: O autor.

Priorização entre as variáveis – Atribuição de pesos

A definição dos pesos das variáveis foi feita com base na Técnica Participatória, instrumentalizada pela Matriz de Comparação Pareada, conhecida como *Analytic Hierarchy Process* (AHP), proposta por Saaty (1991), que baseia-se na hierarquização das variáveis avaliadas, para facilitar a tomada de decisão, indicando sua significância e peso em relação à outra (FRANCO; HERNANDEZ; MORAES, 2013). Para a realização da hierarquização das variáveis, foi criada a matriz de decisão proposta por Saaty (1991), conforme a Tabela 14, a qual indica o grau de importância de cada variável linearmente, buscando primeiro o julgamento conceitual e, em seguida, a conversão para a escala numérica a fim de registrá-lo na matriz, como também, o julgamento recíproco associado (RIBEIRO e DA SILVA, 2016).

Tabela 14 – Escala de comparadores do método Analytic Hierarchy Process (AHP)

Valores	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8 e 10	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz

Fonte: Saaty (1991).

Para a atribuição do grau de importância de cada variável estudada, foram feitas consultas bibliográficas para ajudar na validação dos pesos atribuídos, conforme sugerido por Saaty (1991) e foram atribuídas pelos autores deste trabalho.

Após a atribuição dos pesos para cada variável utilizada para determinar a fragilidade potencial e ambiental, foi desenvolvida a matriz de comparação pareada para cada variável considerando sua significância em relação a outra. Posteriormente foi criada a matriz de comparação normalizada para a obtenção dos parâmetros necessários para aplicação do método AHP, sendo: autovetor e autovalor, índice de consistência (IC), índice randômico (IR) e por fim a razão de consistência (RC).

O índice de consistência da matriz de comparação montada foi obtido através da Equação 4, em que se utiliza o autovalor máximo determinado e o número de variáveis analisadas, sendo no estudo igual a 3 para a fragilidade potencial e 2 para a fragilidade ambiental. Conforme Saaty (1991), o IC precisa ser menor que 10% de inconsistências para mostrar a verdadeira representatividade das prioridades locais e globais. Caso essa percentagem tivesse sido ultrapassada, seria necessário realizar ajustes na ponderação dos pesos atribuídos na matriz comparada montada.

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (4)$$

em que:

IC	=	Índice de consistência, adimensional;
$\lambda_{m\acute{a}x}$	=	autovalor máximo, adimensional; e
n	=	número de variáveis estudadas, adimensional.

De acordo com Saaty (1991), o autovalor pode ser obtido através do produto vetorial da matriz comparação pelo autovetor obtido pela média da linha da matriz comparação normalizada. O autovalor máximo foi obtido pela média de todos os autovalores obtidos pela multiplicação das matrizes supracitadas.

Por fim, a razão de consistência da matriz comparação foi obtida pela divisão do índice de consistência pelo índice randômico tabulado (Tabela 15), que varia de acordo com a quantidade de variáveis utilizada no estudo. Assim como o índice de consistência, a razão de consistência tem que apresentar um valor menor que 10% para representar a atribuição correta dos pesos de cada variável.

Tabela 15 – Índice randômico (IR) em função da quantidade de variáveis estudadas (N)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1991).

Considerou-se o mesmo nível de significância para os parâmetros intrínsecos da área, como pedologia, erosividade da chuva e declividades do relevo na análise da fragilidade potencial, obtendo-se pesos iguais de 0,33 para cada uma das variáveis, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 – Matriz de comparação pareada para fragilidade potencial

	Erosividade	Pedologia	Declividade	Pesos
Erosividade	1			33,3%
Pedologia	1	1		33,3%
Declividade	1	1	1	33,3%

Fonte: O autor.

Para a determinação da fragilidade ambiental, conferiu-se a maior importância para o uso e ocupação do solo em relação às características intrínsecas, os quais conservaram a mesma relevância em si. Desse modo, foi obtido peso de 0,500 para o fator de uso e cobertura do solo e de 0,167 para os demais parâmetros no estudo da fragilidade. A matriz de comparação para a fragilidade ambiental é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17 – Matriz de comparação pareada para fragilidade ambiental

	Uso do solo	Erosividade	Pedologia	Declividade	Pesos
Uso do solo	1				50,0%
Erosividade	1/3	1			16,7%
Pedologia	1/3	1	1		16,7%
Declividade	1/3	1	1	1	16,7%

Fonte: O autor.

A atribuição de pesos propostos a partir da AHP para cada um dos fatores avaliados, apresentou índice de inconsistência de 0%, indicando coerência na atribuição entre dos pesos adotados para cada uma das variáveis, possibilitando a utilização destes.

Em um estudo realizado por Furlan et al. (2011) também foi atribuído o peso de 0,500 para o parâmetro de uso e cobertura da terra no mapeamento da fragilidade ambiental. Segundo os autores, essa atribuição deve ser feita dessa maneira pois as atividades antrópicas causam maior impacto e apresentam maior importância em estudos de análise de vulnerabilidade ambiental, uma vez que, os fatores intrínsecos são atributos que afetam o ambiente de forma constante e, portanto, devem receber menor peso.

2.3.5 Determinação da vulnerabilidade social

Os dados para a geração do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) do município de Ubá, de acordo com os setores censitários, foram obtidos do Censo de 2010, por meio do portal sinopse por setores (IBGE, 2017).

A determinação do IVS foi realizada utilizando-se a metodologia proposta Nunes e Aquino (2019), que consiste em uma adaptação de Goerl et al. (2011). Esta metodologia realiza o mapeamento da vulnerabilidade social com base nos setores censitários do IBGE. Diante disso, para a geração do IVS foram consideradas algumas variáveis que representam desvantagem social, mensurabilidade/relevância, aspecto analítico/estatístico e capacidade de reprodução em outros estudos.

De acordo com Goerl et al. (2011), a obtenção do IVS é realizada através da Equação 5 e as variáveis representativas utilizadas são as características demográficas, domiciliares, municipais e de rendimento. As variáveis utilizadas neste estudo foram propostas pela adaptação de Nunes e Aquino (2019).

$$IVS = \frac{V1+V2+V3+V4+V5+V6}{V7} \quad (5)$$

em que:

- IVS = Índice de Vulnerabilidade Social, adimensional;
- V1 = número de moradores no setor censitário;
- V2 = média de moradores por domicílio;
- V3 = densidade demográfica;
- V4 = soma da porcentagem da população acima de 65 e abaixo de 12 anos;
- V5 = número de domicílios particulares improvisados ocupados;
- V6 = soma das porcentagens dos domicílios sem rendimento e com rendimento de até 1 salário-mínimo; e
- V7 = Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).

Visando uniformizar as variáveis analisadas, Goerl et al. (2011) recomendam o escalonamento dos valores das variáveis em um intervalo de 0 (valor mínimo) a 1 (valor máximo), que pode ser realizado utilizando a Equação 6. Vale ressaltar que esse escalonamento deve ser feito para todas as variáveis, exceto a V7, que apresenta um valor único para todo o município.

$$Valor_{escalonado} = \frac{V_{obs}-V_{mín}}{V_{máx}-V_{mín}} \quad (6)$$

em que:

- Valor_{escalonado} = valor entre 0 e 1, adimensional;
- V_{obs} = valor encontrado por setor;
- V_{mín} = menor valor encontrado em determinada variável (entre todos os setores); e
- V_{máx} = maior valor encontrado em determinada variável (entre todos os setores).

Após a obtenção dos valores escalonados de cada variável analisada, o IVS foi reclassificado em classes com intervalos representativos, como mostrado na Tabela 18.

Tabela 18 – Classes de vulnerabilidade social

Vulnerabilidade social	Intervalo	Valor
Muito Baixa	< 1,08	1
Baixa	1,09 a 2,53	2
Média	2,54 a 2,98	3
Alta	2,99 a 3,65	4
Muito Alta	> 3,66	5

Fonte: Goerl et al. (2011).

Como neste estudo foram utilizados os dados do Censo de 2010, para manutenção da coerência na análise espacial, e posteriormente, para a utilização do IVS para a seleção das áreas prioritárias em Pagamento por Serviços Ambientais, foi utilizada a camada *shapefile* de setores censitários do ano de 2010 disposta na plataforma do IBGE. Cumpre ressaltar que existe atualmente base mais recente, no entanto, a segmentação de setores atual está diferente ao ano da base de dados utilizada.

Por se tratar de dados representados em uma escala mais detalhada, algumas variáveis apresentaram valores faltantes para alguns setores censitários, os quais foram preenchidos para não influenciar negativamente na estimativa do índice de vulnerabilidade social para cada setor avaliado.

Para o preenchimento dos dados faltantes, foi utilizado o método de interpolação pelo vizinho mais próximo, uma vez que os dados dos setores censitários faltantes tendem a ser mais semelhantes aos seus vizinhos a nível geográfico (PEREIRA et al., 2022).

2.3.6 Áreas prioritárias para Pagamento por Serviços Ambientais

2.3.6.1 Análise multicritério

Na seleção das áreas prioritárias para serem selecionadas na implantação do programa de pagamento por serviços ambientais, foi utilizada a abordagem multicriterial em ambiente SIG, mencionada no tópico 2.3.4 deste estudo.

A atribuição dos pesos às variáveis estudadas foi distribuída utilizando a metodologia AHP proposta por Saaty (1991), a fim de mostrar o grau de importância e representatividade de cada uma delas.

No presente estudo foram utilizadas cinco variáveis para obter o mapa final de áreas prioritárias para implantação do programa no município de Ubá: taxa de perda anual média de solo, fragilidade ambiental, vulnerabilidade social, capacidade de uso da terra e setores censitários (Tabela 19 e Figura 11).

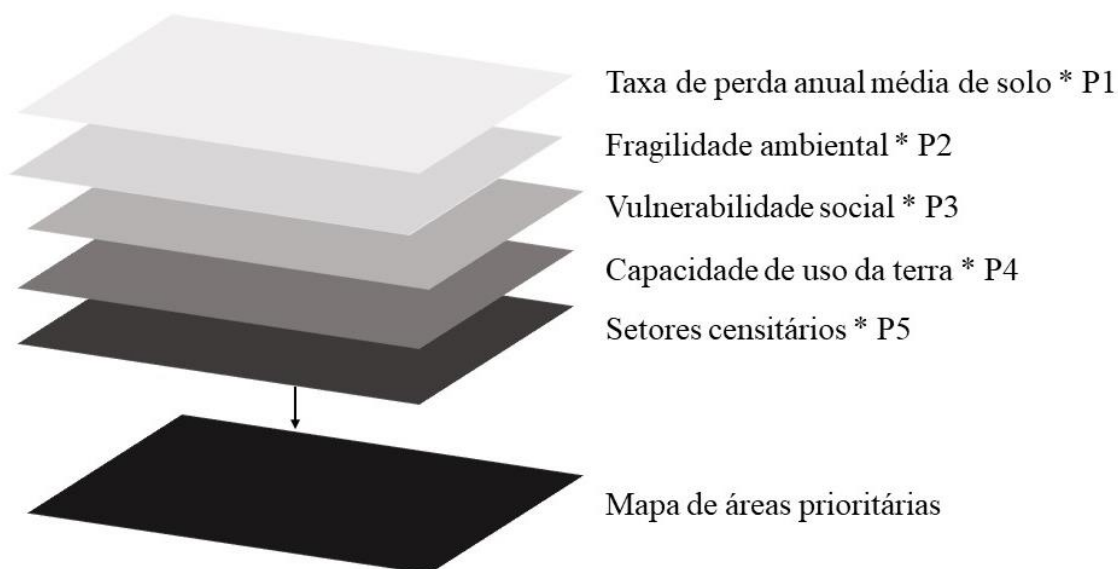
A escolha de cada uma das variáveis estudadas foi feita de acordo com a sua relevância como indicadores conservacionistas e socioambientais, e por apresentar representatividade aos critérios exigidos pela Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.

Tabela 19 – Parâmetros e pesos utilizados para determinação de áreas prioritárias

Crítérios	Classificação	Valor	Grau de prioridade
Perda de solo	Nula a moderada	1	Muito baixa
	Média	2	Baixa
	Média a forte	3	Média
	Forte	4	Alta
	Muito forte	5	Muito Alta
Capacidade de uso do solo	Classes I e II	1	Muito baixa
	Classes III e IV	2	Baixa
	Classes V e VI	3	Média
	Classe VII	4	Alta
	Classe VIII	5	Muito Alta
Fragilidade Ambiental	Muito baixa	1	Muito baixa
	Baixa	2	Baixa
	Média	3	Média
	Alta	4	Alta
	Muito Alta	5	Muito Alta
Vulnerabilidade social	Muito baixa	1	Muito baixa
	Baixa	2	Baixa
	Média	3	Média
	Alta	4	Alta
	Muito Alta	5	Muito Alta
Setores censitários	Área urbana	1	Muito baixa
	Área rural	5	Muito Alta

Fonte: O autor.

Figura 11 – Combinação dos critérios utilizados para a geração do mapa de áreas prioritárias



Fonte: O autor.

Obtidos os mapas de cada uma das variáveis estudadas citadas anteriormente, foi montada a matriz de comparação pareada e realizado a atribuição dos pesos de significância de cada parâmetro que viabilizam a seleção das áreas prioritárias, conforme a Tabela 20 e Tabela 21. Cada elemento da matriz indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante em relação a cada fator correspondente na linha superior da matriz.

Tabela 20 – Matriz de comparação pareada para seleção das áreas prioritárias

	V1	V2	V3	V4	V5
V1	1				
V2	5	1			
V3	5	3	1		
V4	7	5	3	1	
V5	7	5	3	2	1

Em que V1 é os setores censitários, V2 é a vulnerabilidade social, V3 é a capacidade de uso da terra, V4 é a perda anual de solo e V5 é fragilidade ambiental.

Fonte: O autor.

Tabela 21 – Pesos ponderados obtidos da matriz de comparação pareada

Parâmetros	Pesos
Fragilidade ambiental	0,336
Perda anual de solos	0,336
Capacidade de uso da terra	0,192
Vulnerabilidade social	0,100
Setores censitários	0,035

Fonte: O autor.

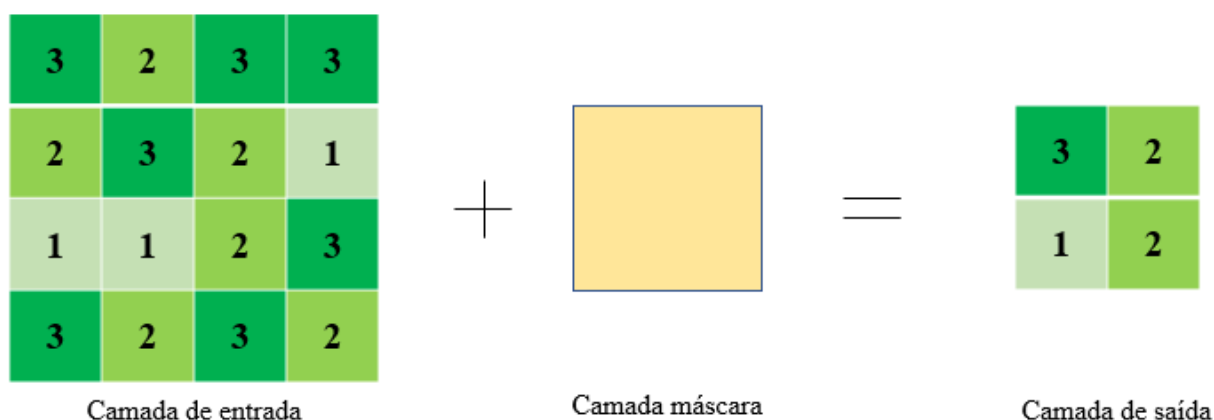
A atribuição de pesos propostos a partir da AHP para cada um dos fatores avaliados, resultou em um índice de inconsistência de 4% o que indica coerência na atribuição dos pesos adotados para cada uma das variáveis viabilizando, assim, a utilização destes.

Corroborando-se com os valores atribuídos pelos especialistas, verifica-se que os fatores fragilidade ambiental e perda anual de solos receberam os maiores pesos ponderados (0,336 ou 33,6%), seguido pela capacidade de uso da terra (0,192 ou 19,2%), vulnerabilidade social (0,100 ou 10,0%) e setores censitários (0,035 ou 3,5%). Por fim, igualmente ao processo realizado para o estudo de fragilidades, foi realizado a padronização dos valores obtidos em cinco intervalos de classes iguais resultando no mapeamento das áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais.

2.3.6.2 Seleção das áreas prioritárias

Após a obtenção do produto da análise multicritério pelo método de Combinação Linear Ponderada, com o intuito de selecionar apenas as áreas rurais para serem provedoras do subsídio do programa de pagamento por serviços ambientais, foi realizado o recorte da camada de áreas prioritárias, utilizando a ferramenta *extract by mask*, considerando os setores censitários de Ubá classificados como área rural (Figura 12).

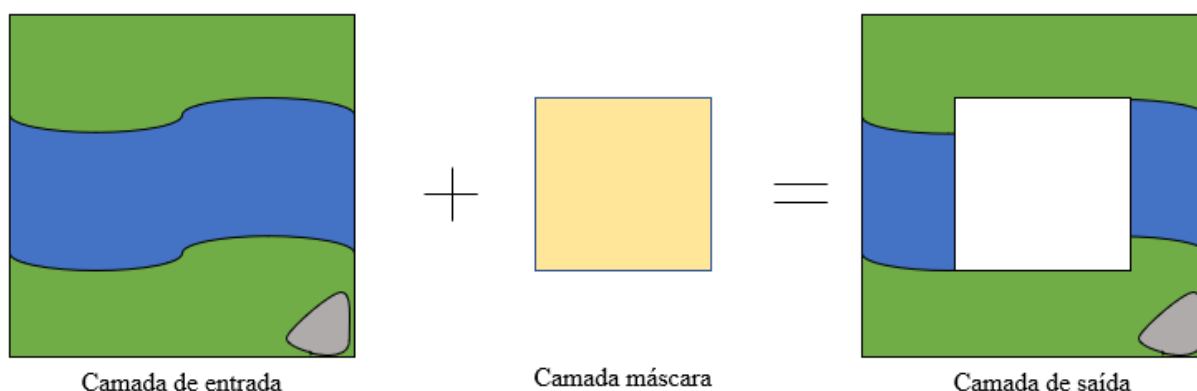
Figura 12 – Representação do funcionamento da ferramenta *extract by mask*



Fonte: O autor.

A fim de não selecionar as áreas prioritárias para implantação do PSA em locais que já fazem parte de áreas protegidas ambientalmente (reserva legal, APP, entre outras), as quais já são obrigatórias em uma propriedade rural, conforme previsto no novo Código Florestal, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), a camada matricial gerada das áreas prioritárias, após a análise multicritério, foi transformada em camada vetorial e, posteriormente, foi feita a exclusão destas áreas utilizando a ferramenta *Erase* (Figura 13).

Figura 13 – Representação do funcionamento da ferramenta *erase*

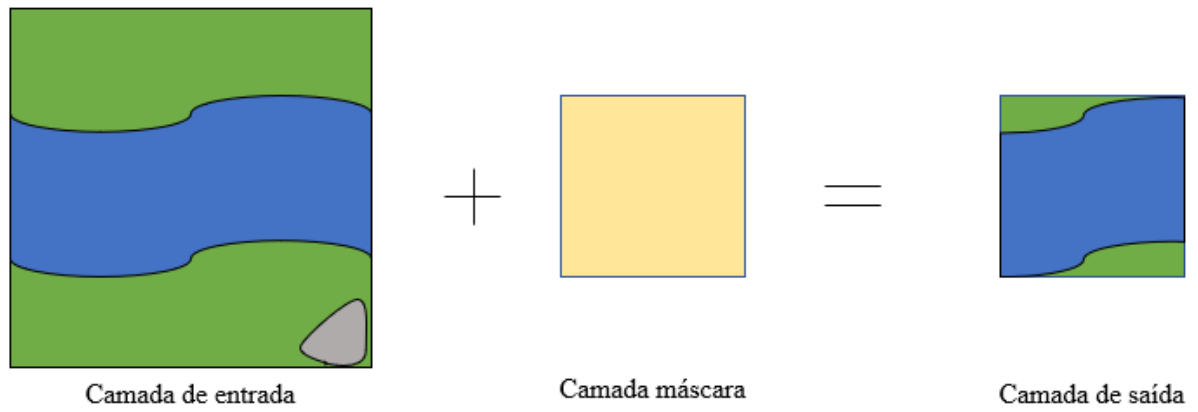


Fonte: O autor.

De acordo com a Lei nº 14.119, um dos critérios para a implantação de PSA é que os proprietários interessados devem ter sua propriedade registrada no Cadastro Ambiental Rural (CAR), a fim de indicar sua adequação ambiental em relação à utilização e distribuição dos usos da terra.

Diante disso, para determinar as áreas prioritárias efetivas presentes no município de Ubá, na camada vetorial resultante do processo de exclusão das áreas protegidas ambientalmente, foi realizada a subtração geométrica entre as camadas vetoriais com a ferramenta *Intersect*, a fim de selecionar apenas as áreas que atendem a este critério (Figura 14).

Figura 14 – Representação do funcionamento da ferramenta *intersect*



Fonte: O autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Perda anual de solo

A utilização do software netErosividade MG permitiu determinar a erosividade das chuvas para o município de Ubá com valor único e igual a $6.651 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Segundo a classificação proposta de Santos (2008), a área de estudo apresenta uma erosividade média, com $4.910 < R < 7.365 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

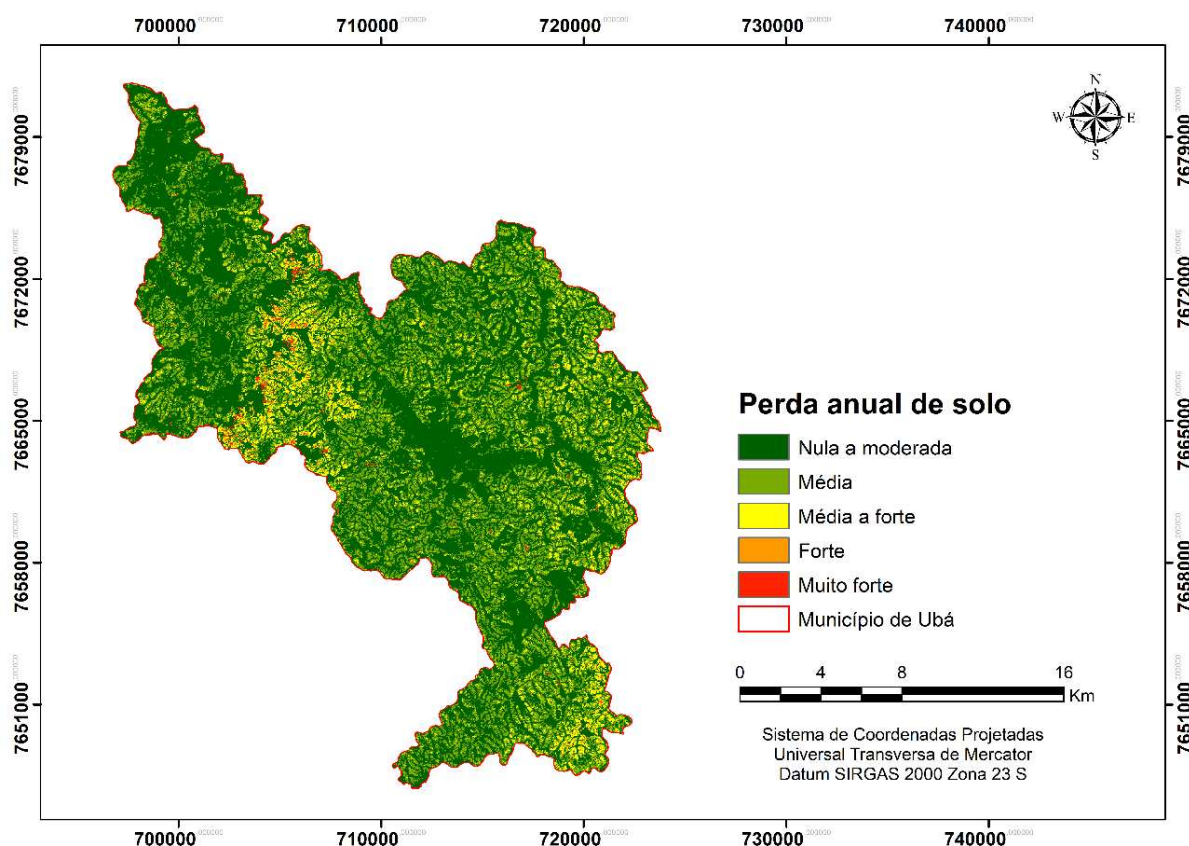
Os resultados dos maiores valores utilizados para erodibilidade dos solos (Tabela 2) estão associados aos Cambissolos háplicos e Argissolos Vermelho-amarelos eutróficos, por possuírem texturas e estrutura mais susceptíveis à erosão. Os menores valores correspondem aos Latossolos Vermelho-amarelos, que apresentam texturas, drenagem e estrutura que proporcionam certa resistência ao processo de erosão. Por fim, os Argissolos Vermelho-amarelos distróficos presentes no município são característicos por apresentarem resistência intermediária ao processo de erosão.

Os resultados associados ao fator topográfico (LS) indicam que seus valores variaram de 0 a 110,0 para o município de Ubá. É possível observar que os menores valores deste fator estão atribuídos aos locais que possuem menor altitude e declividade, sendo os maiores valores em locais com maior altitude e declividade. A estimativa do fator LS utilizando a metodologia proposta por Moore e Burch (1986), segundo Durães e Mello (2016), apresenta resultados mais significativos em relação aos outros métodos, principalmente na estimativa da quebra existentes entre as unidades de relevo ao longo das vertentes, que é calculado pixel a pixel. Apesar de apresentar valores maiores de perda anual de solo por essa metodologia, proporciona a seleção qualitativa das áreas mais susceptíveis à processos de erosão hídrica.

Para os valores atribuídos ao fator CP, correspondentes ao uso e manejo do solo e práticas conservacionistas da USLE, tem-se que os valores mais baixos, desconsiderando os corpos hídricos, estão associados às classes de cobertura do solo vegetal nativa e com alta densidade. Isso se dá ao fato por possuírem mais fitomassa, conseqüentemente maior será seu grau de proteção do solo contra o processo de erosão hídrica do solo (VALENTIN, 2008). Já os maiores valores de CP estão associados às classes que proporcionam pouca ou nenhuma proteção ao solo, como por exemplo a classe solo exposto caracterizada pela ausência de vegetação e conseqüentemente maior probabilidade de ocorrência do processo erosivo.

A partir da álgebra de mapas com as variáveis da USLE pode ser visualizado no mapa de perda anual de solo, em toneladas por hectare ano (Figura 15). De maneira qualitativa é possível observar que, os locais que apresentam maiores perdas anual de solo no município de Ubá, estão associados às áreas que possuem maior declividade e grandes diferenças de altitude, sendo que foram os dois parâmetros que afetaram o fator topográfico estimado.

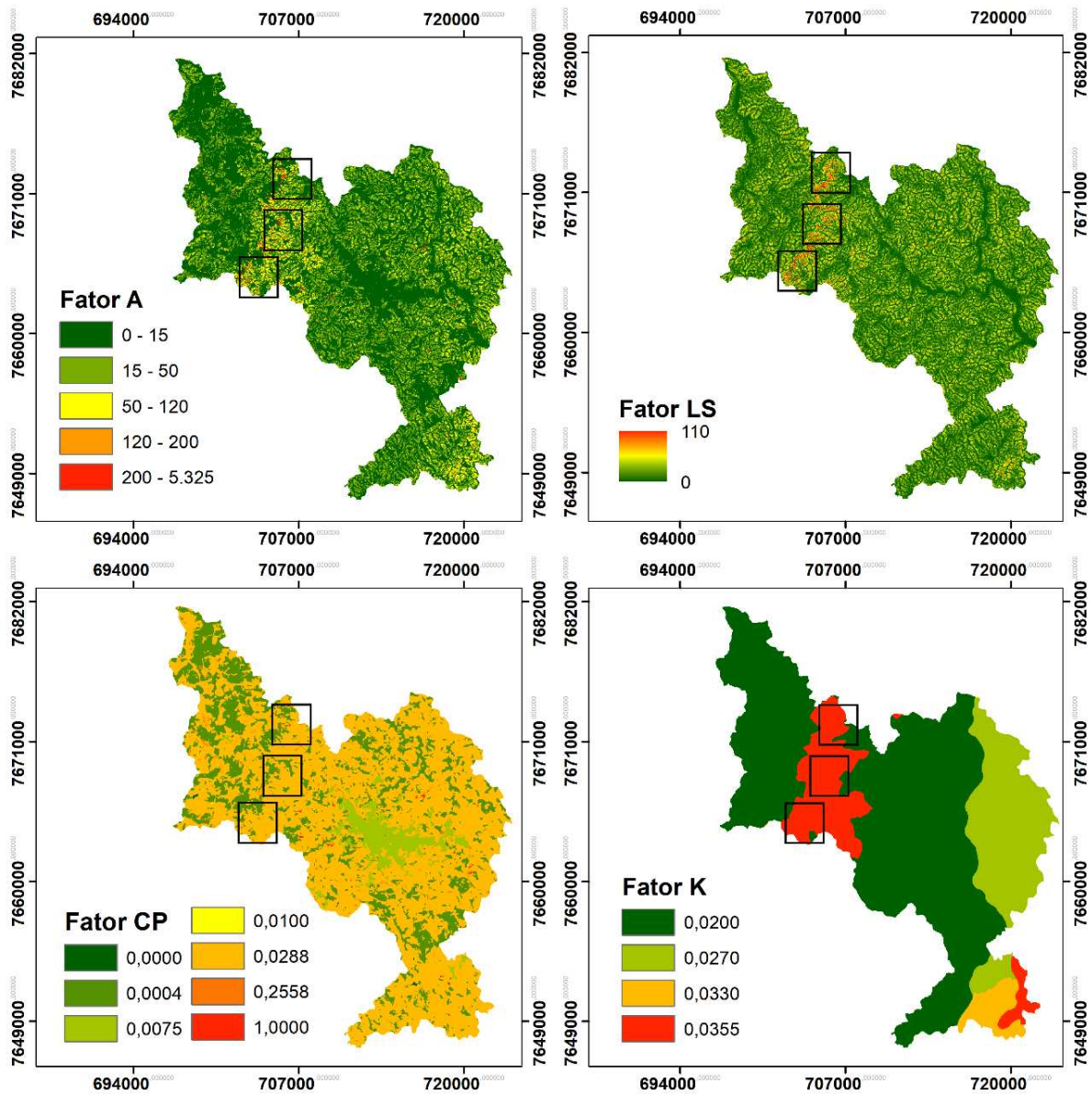
Figura 15 – Distribuição espacial da estimativa de perda média anual de solo ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) para o município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

Os valores estimados da perda média anual de solo variaram de 0 a $5.325 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, valor este considerado muito elevado para condições reais. Esses valores foram influenciados diretamente pelo fator LS, que variou entre 0 e 110,0. Outro fator limitante para a estimativa de perda de solo encontrada pode ser atribuído aos locais com condições extremas, uma vez que, os maiores valores encontrados foram em áreas com alta declividade, solo exposto e com presença do Cambissolo Háplico, solo que apresenta maior susceptibilidade à erosão em comparação com as outras classes de solo presentes no município (Figura 16).

Figura 16 – Distribuição espacial dos fatores que contribuiram para estimativa elevada da perda anual de solo no município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

Observa-se, de acordo com a Figura 15 e 16, que as áreas que apresentaram valores de perda anual de solo classificados como nulo a moderado, são as mesmas que apresentaram valores inferiores do fator LS, próximo à zero. Com isso, os valores atribuídos pelos fatores K e CP, auxiliaram na redução da perda de solo, uma vez que reduziram a magnitude do fator erosividade da chuva na multiplicação linear. Os locais que apresentaram classes média e média a forte, estão associados a locais que possuem valores de declividades e do fator LS intermediários. As áreas que apresentam maiores valores de erosão, classificados como forte e

muito forte, são as mesmas que apresentam os maiores valores de LS associado ao valor elevado de erosividade da chuva (fator R), localizando-se a noroeste do município.

Em um estudo realizado por Barbosa et al. (2015) para o município de Paraíso das Águas, no Estado de Mato Grosso do Sul, utilizando a metodologia proposta por Zhang et al. (2013), encontrou valores de perda de solo que variam de 0 a 1.307 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, valores considerados elevados pelo autor. No entanto, são consideravelmente menores em relação aos valores de perda de solo obtidos no presente estudo.

Em outro estudo realizado por Pacheco et al. (2022), a estimativa de perda de solo anualmente para o município de Ubá, variou entre os valores de 0 a 1.771 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ também utilizando a metodologia proposta por Zhang et al. (2013) para determinar o fator LS através do complemento LS TOOL. Neste estudo, os fatores R e LS foram os limitantes para os elevados valores encontrados de perda de solo no município. Nota-se que a utilização da metodologia proposta neste estudo, proporcionou valores de perda anual de solo de aproximadamente três vezes maior do que aqueles obtidos por Pacheco, mostrando a estimativa mais significativa. Por outro lado, ao comparar de maneira qualitativa a distribuição espacial de ambas as estimativas, é possível observar que a distribuição das classes de intensidade de perda anual de solo é semelhante, porém pela metodologia adotada neste estudo observa-se uma maior segmentação qualitativa das áreas no município.

Vale ressaltar que devido às limitações da USLE, os valores estimados não devem ser analisados de maneira quantitativa e sim analisados qualitativamente para identificar/avaliar a susceptibilidade das áreas ao processo de erosão hídrica (STEIN et al., 1987).

De acordo com a Tabela 22, verifica-se que 62,11% do município apresenta uma predominância de perda anual de solo com intensidade nula a moderada, ou seja, menor que 15 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, valores estes de perda anual de solo considerados aceitáveis devido a susceptibilidade natural do solo em sofrer erosão. O restante do município, correspondente a 37,89% das áreas, carece da adoção de alguma prática de conservação de solo e água, sendo que cerca de 28,60% da área estudada apresenta classe de erosão laminar considerada média, com perdas variando entre 15 e 50 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, 8,20% apresentam processos erosivos do tipo média a forte, valores estes de 50 a 120 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, enquanto as classes de erosão forte e muito forte ocorrem em apenas 4,47 km², representando 1,09% da área do município, com perdas maiores que 120 ton.ha⁻¹.ano⁻¹.

Tabela 22 – Distribuição da área do município de Ubá conforme a perda anual de solo

Perda de solo (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classe de intensidade	Área	
		km ²	%
0 – 15	Nula a moderada	253,13	62,11
15 – 50	Média	116,56	28,60
50 – 120	Média a forte	33,41	8,20
120 – 200	Forte	2,95	0,72
> 200	Muito forte	1,52	0,37

Fonte: O autor.

Por fim, de acordo como os resultados obtidos, observa-se que a metodologia de perda anual de solo apresentou boa segmentação das áreas e mostrou principais locais para implantação de práticas conservacionistas para reduzir os problemas ocasionados pelo fenômeno natural da erosão hídrica. Nota-se que o produto gerado se torna um parâmetro muito importante no aspecto ambiental/conservacionista para a seleção de áreas prioritárias para implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais, uma vez que a inserção desse programa nos locais que apresentaram maiores perdas de solo poderá auxiliar instituição de práticas de conservação de água e solo e conseqüentemente na redução dos processos erosivos.

3.2 Capacidade de uso da terra

O enquadramento do solo no sistema de capacidade de uso e manejo da terra foi realizado com base em fatores relacionados ao solo, como drenagem interna, fertilidade aparente, risco de inundação e profundidade efetiva. Para a obtenção da classificação do fator solo, foi feita a avaliação das classes de acordo com a Tabela 23 e assim gerou-se a classe limitante levando em consideração as principais características pedológicas de cada tipo de solo presente na área de estudo.

Tabela 23 – Classificação para as classes de capacidade de uso para fator solo

Tipo de solo	Profundidade efetiva	Drenagem interna	Risco de inundação	Fertilidade aparente	Classe limitante
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	I	I	-	VI	VI
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	II	II	-	II	II
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	II	II	-	I	II
Cambissolo háplico	III	III	-	III	III

Fonte: O autor.

Os Latossolos são os solos mais abundantes no Brasil e apresentam características específicas que resultaram no enquadramento de classe VI como limitante, uma vez que, esses solos apresentam estado avançado de desenvolvimento e alto grau de intemperismo que condiciona a baixa fertilidade natural e grandes profundidades. Vale ressaltar também que, esses solos apresentam uma ótima estrutura granular composta por agregados estáveis, estando arrançados de forma que proporciona alta porosidade e consequentemente alta permeabilidade, que de maneira geral, determinam alta drenagem interna e, portanto, não apresentam risco de inundação (EMBRAPA, 2013; FIORI et al., 2010).

Os Argissolos, são solos abundantes no Brasil, perdendo apenas para os Latossolos, e são caracterizados pelo estágio moderado de intemperismo, com nítida diferenciação entre horizontes e a presença de horizonte B textural com acúmulo de argila. No que diz respeito a profundidade, esses solos apresentam espessura menores do que as dos Latossolos, porém são classificados como solos profundos de 100 a 200 cm. Para a área de estudo, como os Argissolos presentes são típicos de relevo ondulado e forte ondulado, não foi considerado o risco de inundação. Por fim, por serem solos intemperizados de maneira intermediária a fertilidade aparente foi considerada alta. Assim, o enquadramento dos Argissolos foi de classe II como limitante (EMBRAPA, 2013; BRANDÃO et al., 2012; LEPSCH, 2011; FEAM, 2010).

Por outro lado, os Cambissolos são solos caracterizados por apresentarem horizonte B incipiente devido seu grau de desenvolvimento pouco avançado evidenciado pela estrutura do solo, com alteração do material de origem. São solos que variam suas características de acordo com o local e condições das ações intempéricas. A classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila (EMBRAPA, 2013). Devido às características da área de estudo e as possíveis características do solo da região, foi atribuída classe limitante como III.

Portanto, analisadas as limitações de cada solo presente no município de Ubá e realizado o enquadramento no sistema de capacidade de uso e manejo, obteve-se a classe limitante II para os Argissolos, III para os Cambissolos e VI para os Latossolos, representando, 22,5%, 12,4% e 65,1% da área do município, respectivamente.

Com relação ao fator declividade, o município de Ubá apresenta grande variabilidade, condição esperada devido ao relevo característico do estado de Minas Gerais. Os valores variam na ordem de 0% nas proximidades da hidrografia até o máximo de 416% nos topos de morros presentes no município. As classes de declividade adotadas neste estudo abrangeram a metodologia proposta por Lepsch et al. (2015) e, devido essa grande variabilidade de inclinação do relevo no município, obteve-se áreas até a classe VIII.

De acordo com a Tabela 24, é possível observar que a classe de capacidade de uso da terra atrelada ao fator declividade não há categoria V, devido ao fato que essas áreas são frequentemente encharcadas e com inundações (RIO GRANDE DO SUL, 1979; LEPSCH et al., 2015) que de maneira geral não foi observado no município.

Tabela 24 – Percentual da área do município em relação as classes de declividade

Declividade (%)	Classes de capacidade de uso	Área	
		km ²	%
0 – 2	I	6,11	1,50
2 – 5	II	23,18	5,69
5 – 10	III	46,45	11,40
10 – 15	IV	48,86	11,99
15 – 45	VI	258,49	63,42
45 – 70	VII	23,80	5,84
> 70	VIII	0,69	0,17

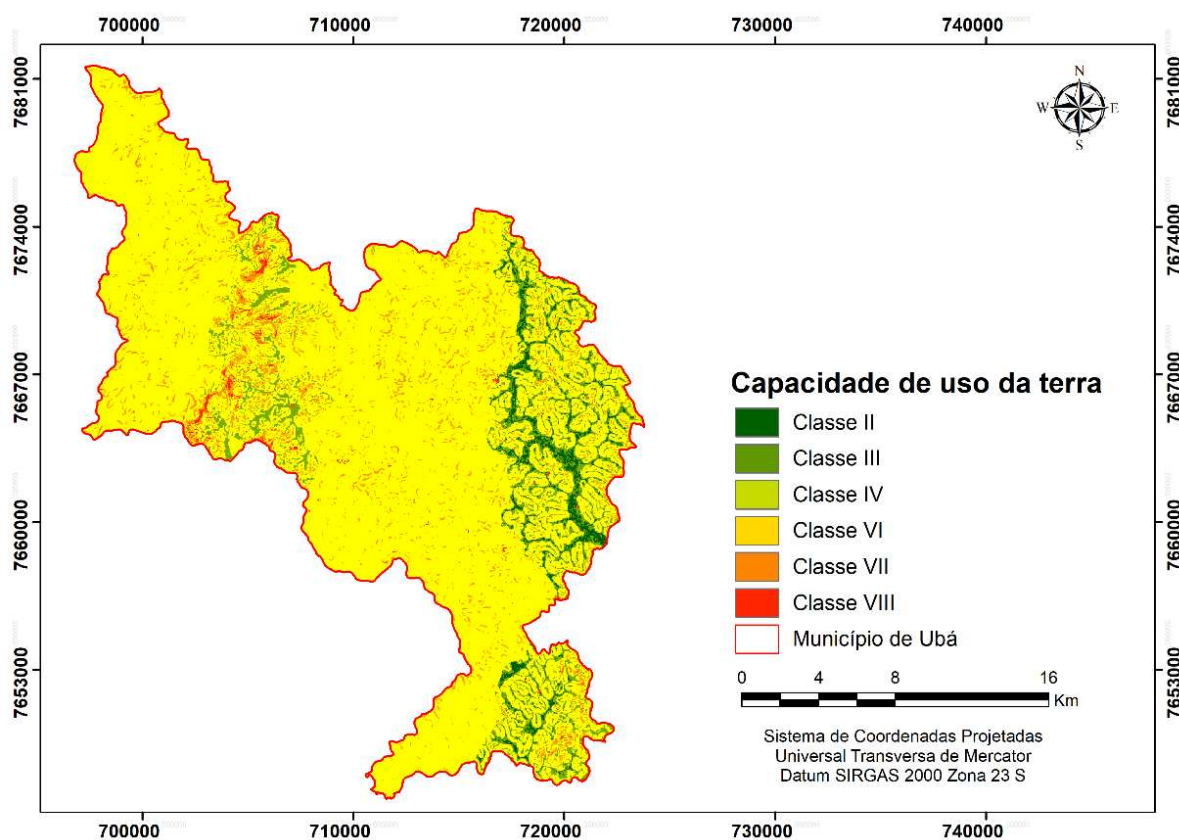
Fonte: O autor.

Como apresentado na Tabela 24, verifica-se que o maior percentual das declividades, igual a 63,42% do município de Ubá, apresenta áreas dispostas nas inclinações de 15 a 45% descritas como fortemente onduladas, de escoamento superficial rápido e que possuem dificuldade de utilização de máquinas agrícolas (LEPSCH et al., 2015). Além disso, nota-se que as maiores declividades, classes VII e VIII estão concentradas nos locais com solo do tipo Cambissolo Háplico que é evidenciada uma alteração abrupta de altitude, conforme mostrado na Figura 3.

A capacidade de uso da terra referente ao fator de perda de solo por erosão laminar apresentou uma grande variabilidade espacial para o município de Ubá. Conforme mencionado no tópico 3.1 deste estudo, 62,11% das áreas classificadas com erosão nula a moderada, 28,60% da área estudada apresenta classe de erosão laminar considerada média, 8,20% apresentam processos erosivos do tipo média a forte, enquanto as classes de erosão forte e muito forte ocorrem minoritariamente, ocupando juntas 1,09% da área.

Realizada a classificação da capacidade de uso da terra referente aos fatores solo, declividade do relevo e perda de solo, foi obtido o enquadramento do município nas classes de capacidade do uso e manejo das terras, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Distribuição espacial das classes de capacidade de uso da terra para o município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

Verifica-se pelo mapeamento apresentado na Figura 16 que foram obtidas terras nas classes II a VIII, sendo que, de maneira qualitativa, é observada a predominância da classe VI no município devido ao fato da alta variabilidade espacial das declividades e que 65,1% do município é constituído pelo Latossolo que apresentou classe VI como limitante. As áreas classificadas com a classe VIII estão inseridas em locais com declividades elevadas.

Vale ressaltar que a metodologia utilizada neste estudo é aplicada, principalmente, para determinar a capacidade de uso da terra em locais que apresentam utilização relacionada à sistemas agropecuários (ATALAY, 2016). Contudo, os resultados obtidos de capacidade de uso estão atrelados às áreas agricultáveis, ou seja, foram descartadas áreas classificadas como urbanas e corpos d'água pela camada de uso e ocupação do solo disponibilizada pela plataforma do MapBiomass. Diante disso, a Tabela 25 apresenta o percentual da área em cada classe de capacidade de uso no município de Ubá.

Tabela 25 – Distribuição quantitativa das classes de capacidade de uso da terra para o município de Ubá, Minas Gerais

Classes	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Área (km ²)	-	9,40	16,20	15,11	-	339,45	25,29	2,11
Área (%)	-	2,31	3,98	3,71	-	83,29	6,21	0,52

Fonte: O autor.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que menor parte do município apresenta locais com capacidade de uso da terra classificadas como boas para utilização de sistemas agrícolas, uma vez que 2,31% da área de estudo é classificada como classe II de capacidade de uso, 3,98% como classe III e 3,71% como classe IV. Por outro lado, observa-se que 83,29% do município encontra-se na classe de capacidade de uso da terra VI, fato explicado anteriormente por 65,1% da área de estudo ser constituído por Latossolos e devido a 63,45% do município estar associado ao relevo forte ondulado, com declividades variando de 15 a 45% (Tabela 25). As demais classes estão sendo influenciadas principalmente pela variabilidade espacial da declividade, principalmente para as classes VII e VIII que juntas correspondem em 6,73% do município de Ubá, sendo um fator negativo no quesito de utilização da terra para fins econômicos.

Observa-se que a área de estudo não apresentou nenhum local com capacidade de uso da terra classificada como classe I, implicando que de acordo com a metodologia de Lepsch et al. (2015), o município não há áreas que apresentam nenhuma ou poucas limitações em relação ao risco de degradação para uso de atividades agrícolas intensivas. A classe II, representada no local por 2,31% do município, apresenta áreas com limitações em grau moderado em relação ao risco de degradação no uso em atividades agrícolas intensivas. Já a classe III, com percentual de 3,98% da área de estudo, é caracterizada por locais com limitações em grau severo em relação ao risco de degradação no uso em atividades agrícolas intensivas. Por fim, a classe IV, representada por 3,71% do município, é classificada como regiões com limitações em grau muito severo em relação ao risco de degradação no uso em atividades agrícolas intensivas, o cultivo deve ser ocasional ou deve-se adotar sistemas mais extensivos.

Ademais, nota-se que 83,29% do município de Ubá está classificado na classe VI de capacidade de uso da terra, que corresponde às terras com limitações permanentes e/ou com risco de degradação grave, sendo adequadas para pastagem, florestas cultivadas e/ou nativas e não sendo indicada para a agricultura de culturas anuais (LEPSCH et al., 2015; RIO GRANDE DO SUL, 1979). Por outro lado, 6,73% da área de estudo apresenta terras inadequadas para culturas, pastagens ou reflorestamento, utilizadas para proteção da fauna e flora. Diante disso,

essas áreas necessitam da adoção de práticas conservacionistas, a fim de controlar os processos erosivos que são passíveis de ocorrência.

Por fim, ao analisar os resultados obtidos, observa-se a importância dessa metodologia para segmentação de áreas potenciais para implantação de sistemas produtivos ou conservacionistas, uma vez que indica as diferentes classes de uso conforme suas características potenciais e limitantes. Diante disso, mostra-se que é possível priorizar áreas para implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais conforme sua capacidade de uso, seja para fins econômicos ou para promover a conservação ambiental, assim promovendo utilização assertiva sem gerar danos ambientais, econômicos e sociais.

3.3 Análise da fragilidade do município

3.3.1 Fragilidade do solo

Na Tabela 26 verificam-se os graus de fragilidade dos solos presentes no município de Ubá e suas respectivas áreas.

Tabela 26 – Fragilidade do solo mapeada para os solos presentes no município de Ubá, Minas Gerais

Tipo de solo	Fragilidade	Área	
		km ²	%
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1	265,45	65,1
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico/Eutrófico	3	91,58	22,5
Cambissolo Háptico	5	50,55	12,4

Fonte: O autor.

É possível observar que o município apresenta solos pertencentes às classes muito baixa, média e muito alta quanto a fragilidade. Como mencionado anteriormente, 65,1% da área de estudo é contemplada pelo Latossolo que devido suas características intrínsecas apresenta uma susceptibilidade muito baixa em relação a fragilidade. Por outro lado, 22,5% do município é caracterizado pela classe média de fragilidade atribuída devido a presença dos Argissolos. Por fim, cerca de 12,4% apresentam classe muito alta de fragilidade associada ao Cambissolos presente no município de Ubá.

Os Argissolos, por apresentarem características intrínsecas como horizonte B textural, ou seja, significativo incremento da fração de argila em relação aos horizontes superiores,

possuem maior suscetibilidade à processos erosivos que os latossolos (EDUARDO et al., 2013; NDZANA et al., 2018).

Os Cambissolos, por outro lado, determinam fragilidade ainda maior. Por localizarem em regiões fortemente inclinadas e alta presença de silte em sua composição, tornam sua estrutura mais susceptível a processos erosivos pelos agentes intempéricos.

3.3.2 Fragilidade das declividades

A classificação hierárquica dos graus de fragilidade de cada intervalo da declividade do município, conforme as porcentagens que as constituem, está apresentada na Tabela 27.

Tabela 27 – Fragilidade das declividades mapeada do município de Ubá, Minas Gerais

Classes de declividade	Fragilidade	Área	
		km ²	%
Até 6%	1	38,54	9,46
de 6 a 12%	2	56,94	13,97
de 12 a 20%	3	80,44	19,74
de 20 a 30%	4	105,16	25,80
Acima de 30%	5	126,50	31,04

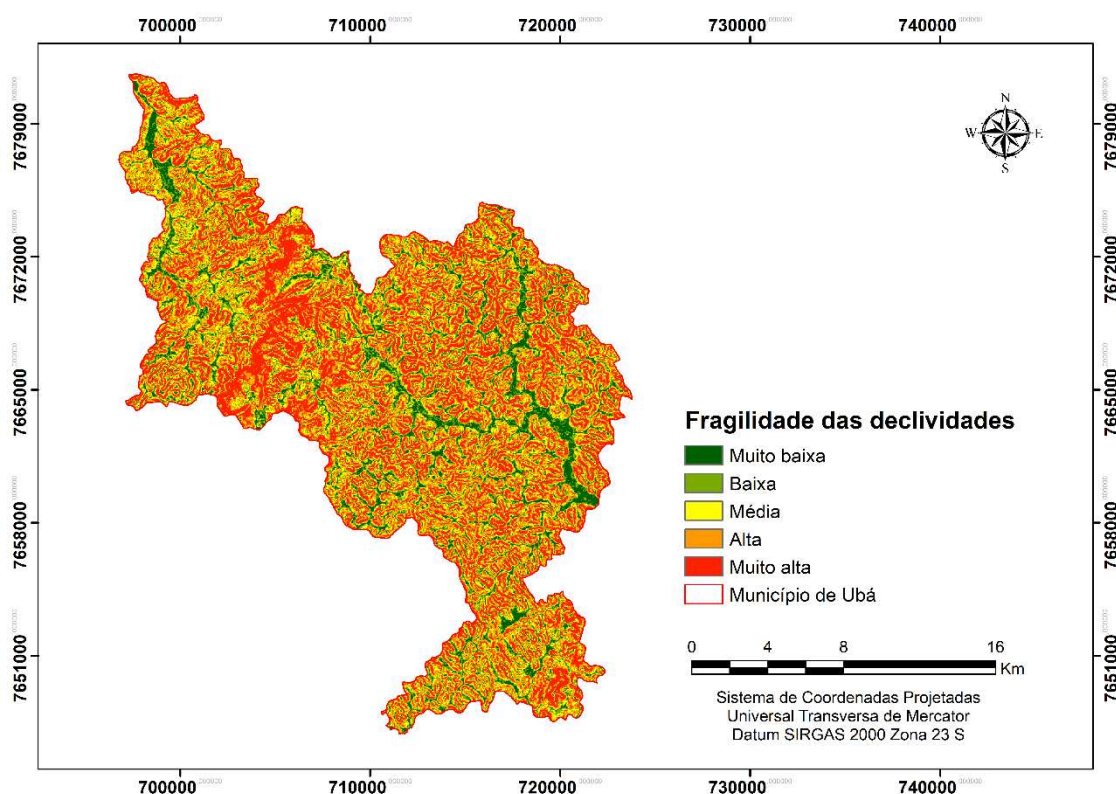
Fonte: O autor.

De acordo com a Tabela 27, verificou-se que o município apresenta uma alta variabilidade espacial das classes de declividade avaliadas, uma vez que, cada classe apresenta uma certa representatividade da área de estudo. Conforme a classificação proposta por Storto e Cocato (2018), cerca de 23,43% do município de Ubá possui relevo classificado como suave e levemente ondulado, representado pelas classes com declividades até 12%. Por outro lado, em 19,74% da área estudada são formas onduladas referente a classe de 12 a 20%. No restante da área de estudo, representado por 56,84%, predomina relevo acidentado e com declividades classificadas de forte (20 a 30%) a muito forte (acima de 30%).

No que diz respeito à fragilidade do relevo, o maior percentual do município, representado por 31,04%, equivalente a 126,50 km², define uma fragilidade de grau muito alta, por apresentar declividades acima de 30%. Além disso, cerca de 25,80% da área de estudo possui fragilidade alta, com declividades entre 20 e 30%. O percentual restante do município configura-se por ter fragilidade média, baixa e muito baixa, representada por 19,74%, 13,97% e 9,46% respectivamente. Esse resultado encontrado era esperado, uma vez que é uma característica marcante do relevo de mares e morros encontrados nesta região do estado de Minas Gerais.

A Figura 18 apresenta a distribuição espacial dos graus de fragilidade das declividades do município de Ubá. Observa-se que grande parte das áreas que apresentam a fragilidade muito alta está atrelada ao Cambissolo Háplico, que apresentam distribuição espacial característica em locais mais declivosos, ou seja, em regiões de encosta, o que pode dificultar sua utilização para a exploração agropecuária. Já os locais que apresentam grau de fragilidade muito baixa estão localizados próximos à hidrografia do município, que por condições naturais possuem menores declividades.

Figura 18 – Distribuição espacial da fragilidade das declividades do município de Ubá, Minas Gerais

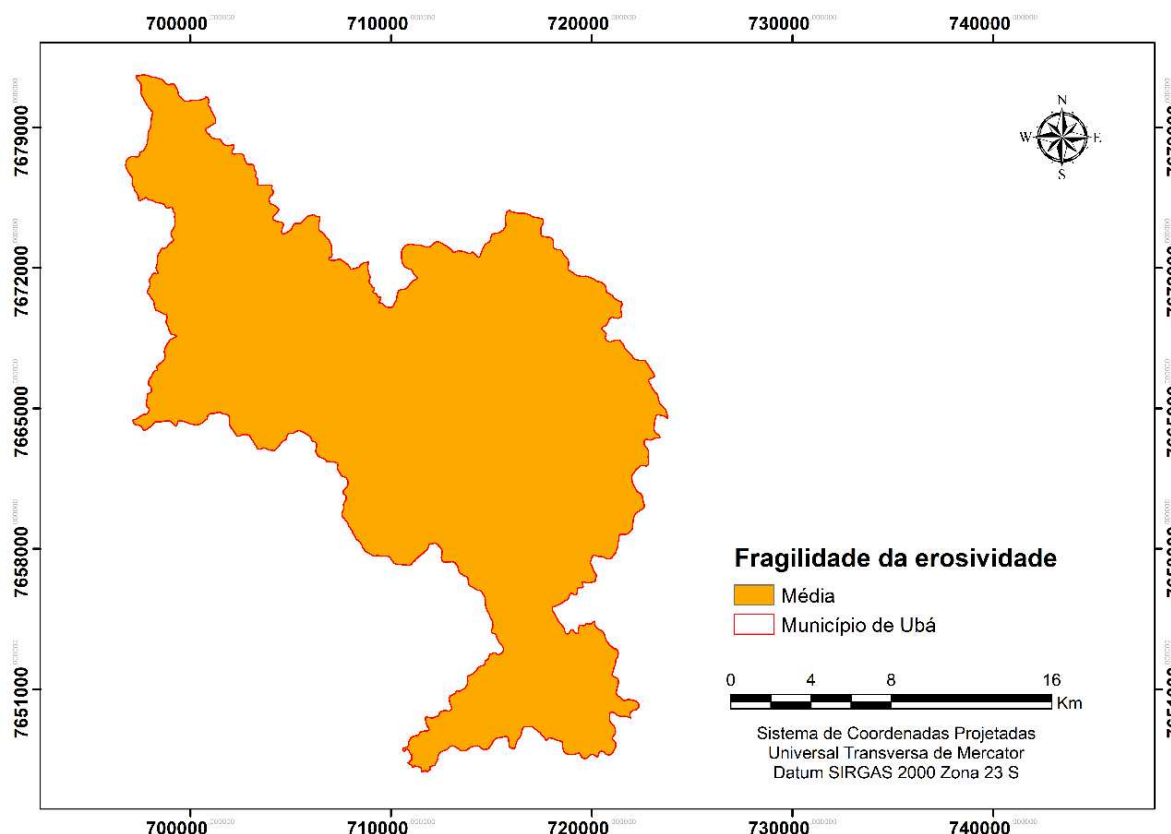


Fonte: O autor.

3.3.3 Fragilidade da erosividade da chuva

Na Figura 19 é apresentada a espacialização do valor de erosividade da chuva para o município de Ubá.

Figura 19 – Fragilidade da erosividade da chuva do município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

Verifica-se que a utilização do software netErosividade MG retornou um valor único para a erosividade das chuvas igual a $6.651 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Por outro lado, esse valor é apresentado como uma erosividade média segundo a classificação proposta de Santos (2008), por apresentar valor variando entre 4.910 e $7.365 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, recebendo o peso três na classificação de fragilidade.

Apesar de apresentar facilidade de obtenção, a utilização de um valor único para erosividade da chuva apresenta certas limitações, uma vez que a variabilidade espacial desse fenômeno natural não ocorre de maneira homogênea, principalmente para regiões que apresentam grande variabilidade de características edafoclimáticas, como por exemplo, em bacias hidrográficas. Por outro lado, devido a necessidade de um banco de dados disponível de estações pluviométricas para a estimativa variável de erosividade da chuva, fator limitante a nível de Brasil, a utilização desse método em estudos a nível municipal torna-se viável. Já para nível estadual e de bacia hidrográfica, a utilização de ferramentas de interpolação de dados para as estações pluviométricas disponíveis nessas áreas maiores acaba sendo mais indicado para uma representação mais realista do fator de erosividade da chuva.

3.3.4 Fragilidade de uso e ocupação do solo

A distribuição da área do município e os graus de fragilidade para cada uso e ocupação do solo estão apresentados na Tabela 28. As classes de fragilidade de uso e ocupação do solo foram atribuídas de acordo com o grau de proteção e as características de manejo associadas a cada tipo de ocupação presente no município.

Tabela 28 – Fragilidade do uso e ocupação da terra para o município de Ubá, Minas Gerais

Classes uso e ocupação da terra	Fragilidade	Área	
		km ²	%
Corpos d'água	0	0,50	0,12
Vegetação nativa	1	85,18	20,90
Floresta plantada	2	4,88	1,20
Agricultura	3	2,53	0,62
Pastagem	4	290,93	71,38
Solo exposto e área urbana	5	23,58	5,78

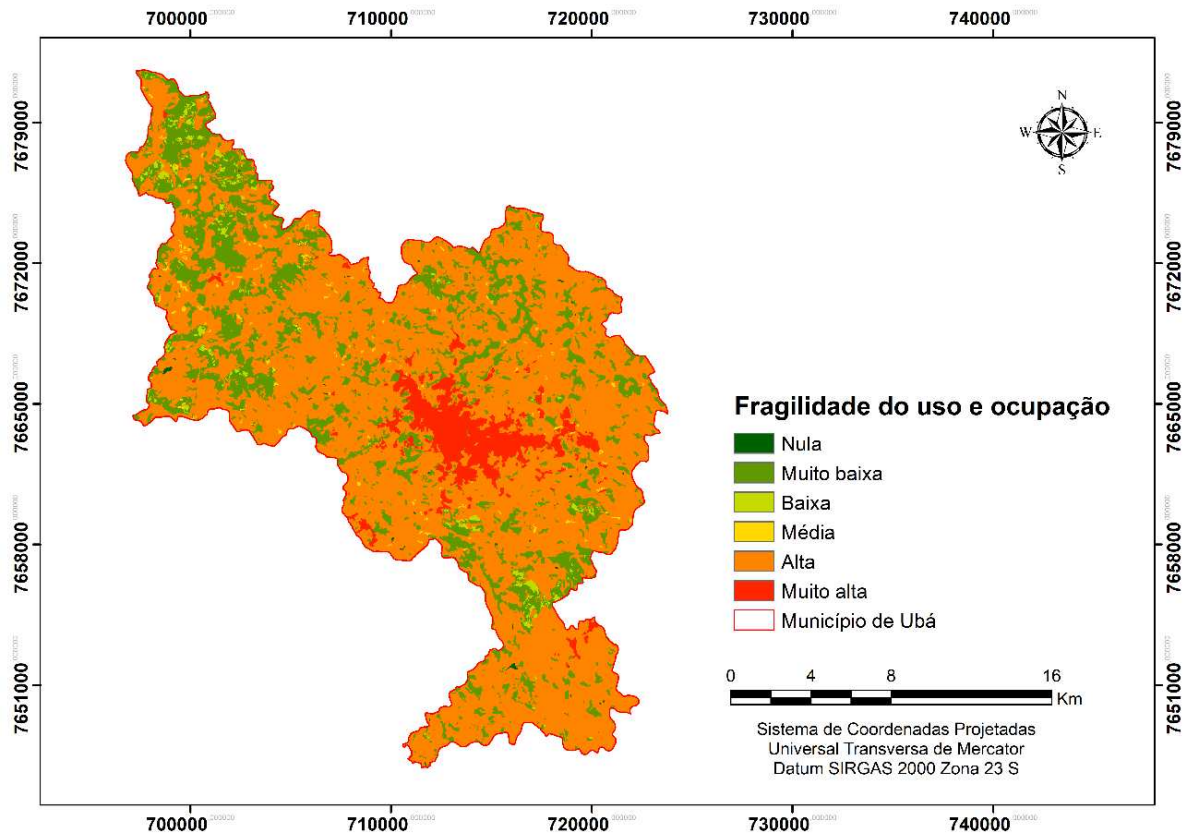
Fonte: O autor.

Observa-se que a presença de pastagem na área de estudo é representada por 71,38%, equivalente a 290,93 km² do município, apresentando grau de fragilidade alta, seguida pela vegetação nativa, com 20,90% e fragilidade muito baixa; solo exposto e área urbana, com 5,78% e fragilidade muito alta; floresta plantada, com 1,20% e fragilidade baixa; agricultura, com 0,62% e fragilidade média; e corpos d'água, com 0,12% e fragilidade nula.

Vale ressaltar que um fator preocupante para o município está atribuído à predominância de pastagem em seu território, uma vez que, em grande maioria do estado de Minas Gerais, essas áreas apresentam grandes problemas de degradação e manejo inadequado, potencializando ainda mais a fragilidade para essa classe. Além disso, por estarem associadas às práticas degradantes, como alto índice de incêndios florestais e pastejo intensivo, ocasionam a redução da cobertura do solo e conseqüentemente aumentam a suscetibilidade a processos erosivos.

O mapeamento da fragilidade do uso e cobertura da terra para o município de Ubá (Figura 20) apresenta resultados que revelam grandes áreas caracterizadas com alta fragilidade e alguns locais com fragilidade muito alta, mostrando que as classes representativas por essas fragilidades atribuídas, pastagem e solo exposto respectivamente, necessitam de intervenções adequadas para a conservação dos recursos naturais do município.

Figura 20 – Distribuição espacial da fragilidade do uso e ocupação da terra no município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

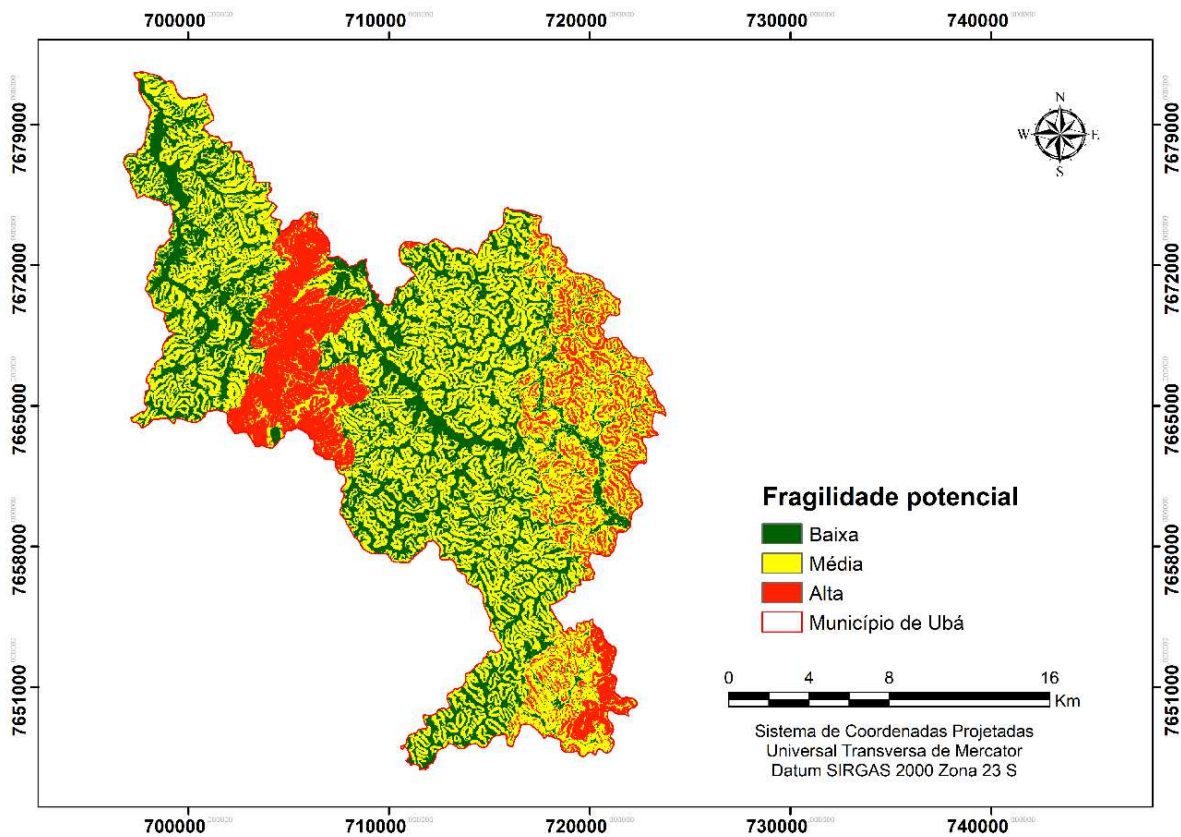
Segundo Furlan et al. (2011), a fragilidade do uso e cobertura da terra nos estudos de fragilidade ambiental é o parâmetro mais crítico para representação real das condições ambientais de um determinado local, uma vez que representa o fator de atividade antrópica que podem ser intensificadas quando ocorre o uso e manejo inadequado dos recursos naturais.

Diversos pesquisadores citam a importância da avaliação do uso e cobertura da terra no planejamento agrícola e urbano, uma vez que o uso errôneo do solo e manejo inadequado podem provocar grandes consequências no ciclo hidrológico, intensificação dos processos erosivos, assoreamento dos rios, incremento do escoamento superficial os quais, consequentemente, causam danos diretos na biodiversidade (CRUZ et al., 2017; FURLAN et al., 2011; HAMILTON et al., 2013; UDDIN et al., 2016).

3.3.5 Fragilidade potencial

A associação dos parâmetros estudados como pedologia, declividade do relevo e a erosividade da chuva através da Combinação Linear Ponderada possibilitou o mapeamento da fragilidade potencial, ou seja, fragilidade natural devido às características intrínsecas para o município de Ubá (Figura 21).

Figura 21 – Distribuição espacial da fragilidade potencial do município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

Verifica-se que a fragilidade potencial obtida para a área de estudo apresentou distribuição em apenas três classes de fragilidade natural, sendo elas a baixa, média e alta (Tabela 29). Como cada uma das variáveis utilizadas para representar a fragilidade potencial obteve pesos igualitários, na ponderação da vulnerabilidade de cada classe foi possível observar que as classes de declividades e a pedologia influenciaram na obtenção das fragilidades mais acentuadas representadas por regiões com declividades maiores que 20% e classe de solo caracterizada por Cambissolo, enquanto as classes de pedologia influenciaram para fragilidades menores pela presença do Latossolo, e por fim a erosividade e pedologia influenciaram na

obtenção da fragilidade intermediária classificada como média, devido classificação única da erosividade e a classe de Argissolo.

Tabela 29 – Fragilidade potencial mapeada para o município de Ubá, Minas Gerais

Fragilidade potencial	Fragilidade	Área	
		km ²	%
Baixa	2	130,49	32,02
Média	3	207,49	50,91
Alta	4	69,59	17,07

Fonte: O autor.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que o município de Ubá apresentou grande representatividade entre as classes de fragilidade, uma vez que 50,91% da área de estudo foi caracterizada por fragilidade média, 32,02% como fragilidade baixa e 17,07% como fragilidade alta.

Portanto, constata-se que o município de Ubá em certas regiões, representada por 17,07%, está naturalmente sujeita a processos de alto risco de degradação ambiental, com ocorrência de processos erosivos em locais com declividades mais elevadas e conseqüentemente acarretando a deposição de partículas nos locais mais planos da área de estudo onde há presença de cursos d'água, podendo influenciar diretamente no assoreamento dos mesmos e, assim, na redução da disponibilidade desse recurso natural.

Apesar de apresentar a fragilidade potencial elevada em certos locais, esse fator pode ser amenizado com a utilização de vegetação com alta densidade nas áreas montanhosas e com a adoção de práticas conservacionistas, tornando extremamente importante a utilização do fator de fragilidade do uso e cobertura da terra nos estudos de fragilidade ambiental.

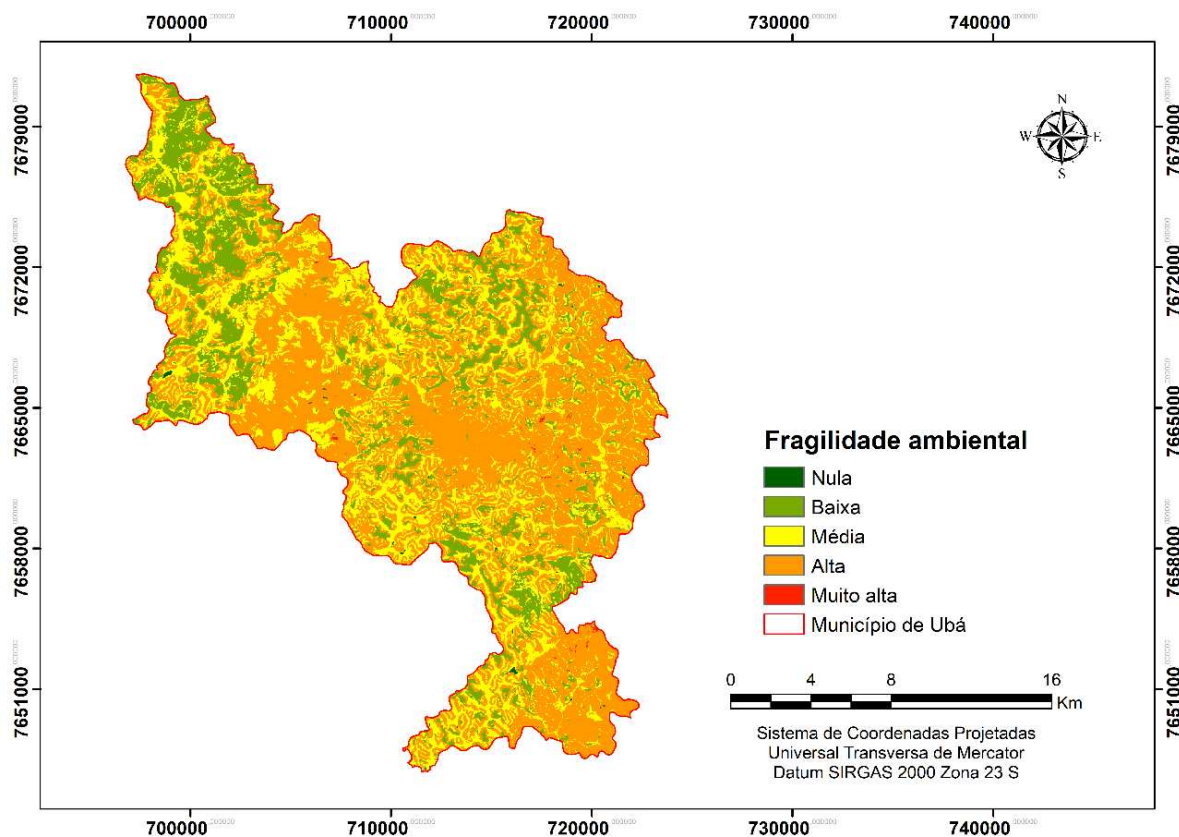
Em um estudo realizado por Vashchenko et al. (2007) foi obtido 92% da área de estudo localizada na Serra do Mar, no Paraná, com fragilidade potencial muito alta, porém devido à grande presença de vegetação de alta densidade nas áreas montanhosas, possibilitou reduzir o grau da fragilidade ambiental e do risco de processos erosivos, obtendo 54 e 40% da área, respectivamente, nas classes média e alta fragilidade ambiental.

3.3.6 Fragilidade ambiental

A associação da fragilidade potencial à fragilidade de uso e cobertura da terra por meio da Combinação Linear Ponderada, utilizando a ferramenta *Weighted Overlay*, possibilitou a obtenção da real situação de fragilidade ambiental do município de Ubá, apresentando as seis

classes de fragilidade possíveis: nula, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, conforme apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Distribuição espacial da fragilidade ambiental do município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

De acordo com a Figura 22, observa-se que a classe de fragilidade alta e média ocorre espacialmente por quase toda a área do município, enquanto a de fragilidade muito alta ocorre em pontos isolados, visualmente quase imperceptíveis, sendo caracterizados por locais próximos às áreas urbanizadas e com solo exposto. Por outro lado, verifica-se que a fragilidade classificada como baixa está localizada em áreas com presença de vegetação densa, principalmente nas regiões noroeste, norte e sul do município.

Na Tabela 30 é apresentada a distribuição do percentual das áreas ocupadas por cada uma das classes conforme seu grau de fragilidade.

Tabela 30 – Fragilidade ambiental mapeada para o município de Ubá, Minas Gerais

Fragilidade ambiental	Fragilidade	Área	
		km ²	%
Nula	0	0,50	0,12
Muito baixa	1	2,90	0,71
Baixa	2	77,23	18,98
Média	3	166,25	40,85
Alta	4	159,99	39,31
Muito alta	5	0,10	0,02

Fonte: O autor.

Verifica-se que mais de um terço do município é caracterizado por apresentar classe de fragilidade alta (39,31%) e apenas 0,02% na fragilidade muito alta, o que mostra uma situação agravante para o ponto de vista de conservação de solo, uma vez que o cenário obtido foi pior do que o demonstrado na fragilidade potencial, ou seja, a classe alta aumentou de 17,07% para 39,31% e a classe muito alta que não foi quantificada na fragilidade potencial apresentou 0,02% para fragilidade ambiental no município.

Outro indicativo preocupante para a área de estudo é que as áreas classificadas como fragilidade média reduziram de 50,91% para 40,85%, e a classe de fragilidade baixa reduziu de 32,02% para 18,98%. Houve, no entanto, uma melhora com o aparecimento das classes de fragilidade nula e muito baixa, representada respectivamente no quantitativo por 0,12% e 0,71% da área do município.

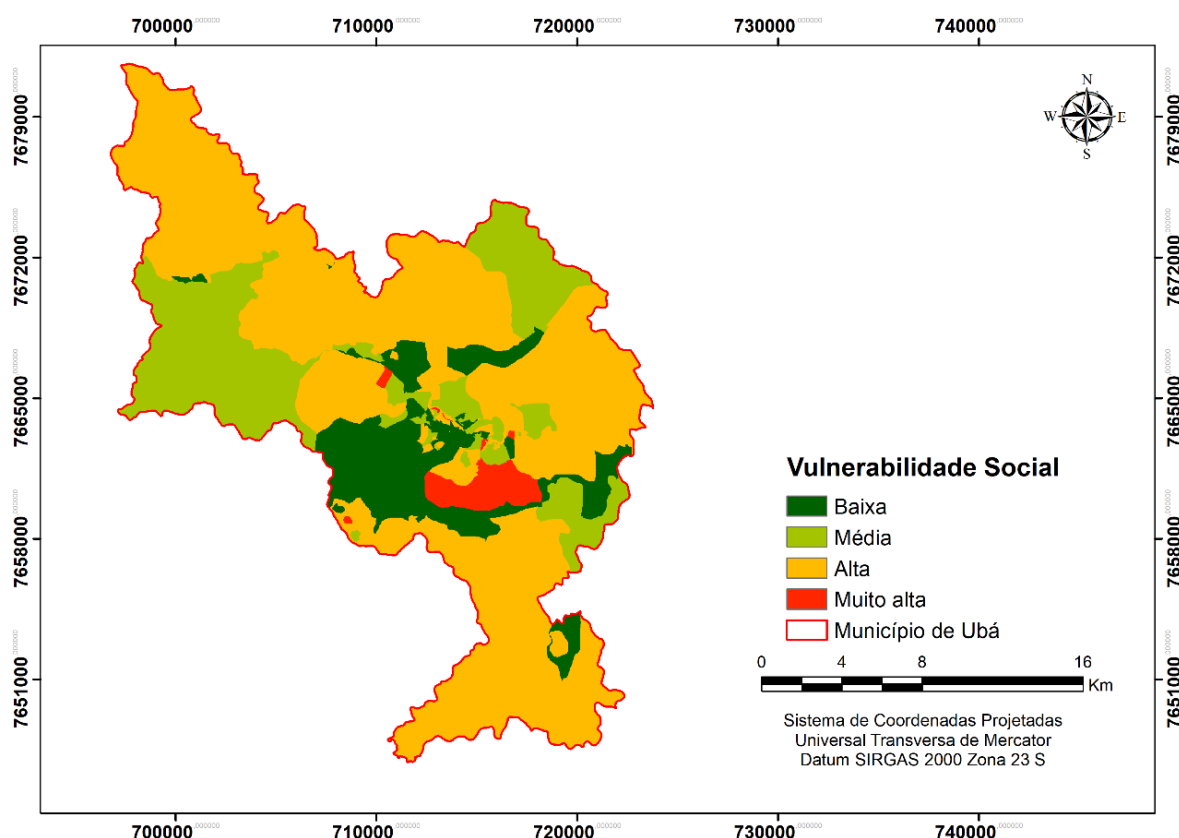
Essa variação é atribuída ao uso e ocupação da terra pois, para este estudo, foi o fator determinante na melhoria ou agravamento dos níveis de vulnerabilidade ambiental para o município de Ubá, uma vez que seu peso de importância foi de 0,50, enquanto as demais variáveis receberam importância igualitária de 0,167.

Por fim, diante dos resultados obtidos, verifica-se que a metodologia de fragilidade ambiental indicou locais prioritários para implantação de práticas de conservação de água e solo a fim de reduzir problemas ocasionados por fenômenos naturais que geram degradação, como por exemplo a erosão. Apesar de apresentar entrada de dados semelhante à metodologia de perda anual de solo, nota-se que o produto obtido apresenta outras segmentações das áreas, principalmente atribuída à atribuição de pesos que são utilizados. Por outro lado, observa-se que essa informação é muito relevante para a seleção de áreas prioritárias para implantação PSA, uma vez que a inserção desse programa nos locais que apresentaram maiores fragilidades auxiliará a redução dos processos de degradação ambiental.

3.4 Análise da vulnerabilidade social

A Figura 23 apresenta a espacialização do índice de vulnerabilidade social para o município de Ubá de acordo com os setores censitários. Pode-se observar que as classes de vulnerabilidade social foram classificadas como baixa, média, alta e muito alta. A segmentação do município em 2010 foi constituída por 174 setores censitários, sendo que 11 setores foram categorizados com vulnerabilidade social muito alta, 60 setores como alta, 48 setores como média e 55 setores como baixa.

Figura 23 – Distribuição espacial da vulnerabilidade social por setores censitários do município de Ubá, Minas Gerais

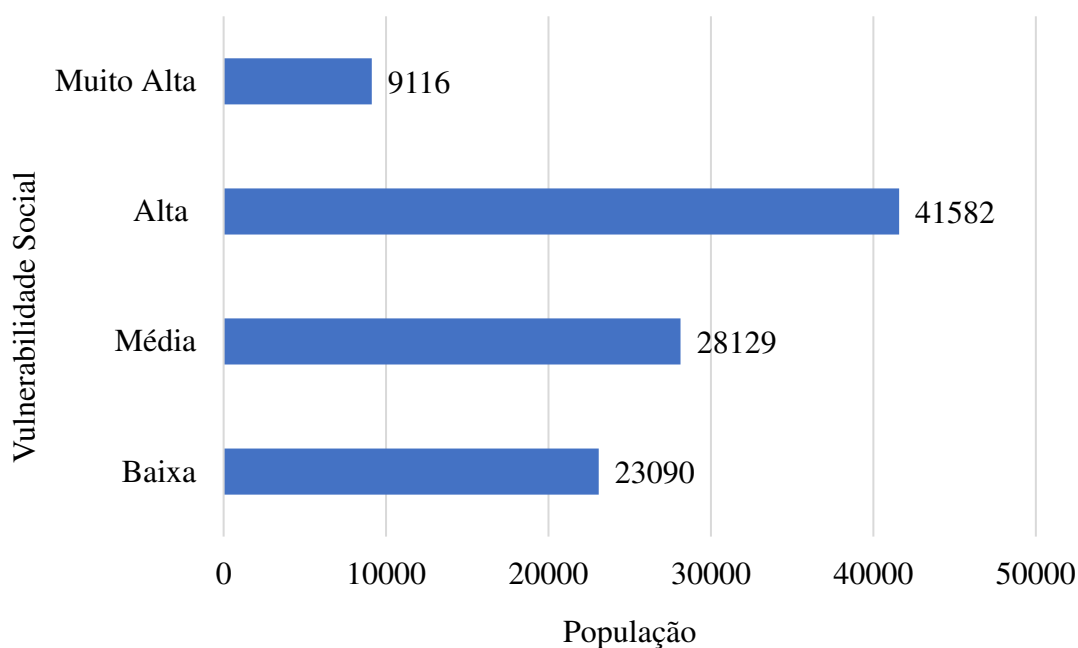


Fonte: O autor.

Os 11 setores censitários classificados com vulnerabilidade social muito alta engloba aproximadamente 8,94% da população ubaense estimada pelo censo 2010 do IBGE, ou seja, cerca de 9.116 habitantes enfrentam adversidades ligadas à falta de renda, educação, infraestrutura urbana ou precariedade na moradia. Os setores categorizados com vulnerabilidade social alta representam 40,80% da população do município, o que corresponde

a 41.582 habitantes, enquanto os setores classificados como média são 27,60%, contingente de 28.129 habitantes e os setores com vulnerabilidade baixa apresentam 22,66% do total de 101.917 habitantes (Figura 24).

Figura 24 – Distribuição da população estudada por categoria de vulnerabilidade social



Fonte: O autor.

No que diz respeito à ocupação territorial, de acordo com a Tabela 31, verifica-se que 63,01% do município de Ubá apresenta vulnerabilidade social classificada como alta, seguido por 22,36% categorizada como média, 12,06% como baixa e 2,57% como muito alta. Por outro lado, a relação demográfica das classes de vulnerabilidade social é representada por 871,51 habitantes/km² na classe muito alta, 161,90 habitantes/km² pela classe alta, 308,53 habitantes/km² pela classe média e 469,69 habitantes/km² pela vulnerabilidade social baixa.

Tabela 31 – Vulnerabilidade social mapeada para o município de Ubá, Minas Gerais

Vulnerabilidade social	Classes	Área	
		km ²	%
Baixa	2	49,16	12,06
Média	3	91,17	22,36
Alta	4	256,83	63,01
Muito alta	5	10,46	2,57

Fonte: O autor.

A variável de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal da área de estudo, que é uma métrica composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda, indica que o município apresenta características de desenvolvimento alto, uma vez que é maior que 0,7. Por outro lado, o entendimento da vulnerabilidade social a nível setorial torna-se mais indicada para auxiliar nas políticas públicas de competência municipal, além de entender a distribuição espacial das condições reais da população.

Por fim, com base na Tabela 32 se observa que aproximadamente 71,6% do município de Ubá é classificado como áreas rurais, sendo que 52,57% da extensão territorial é classificada como vulnerabilidade social alta, 18,94% como vulnerabilidade social média e 0,06% como vulnerabilidade social baixa. Por outro lado, cerca de 28,4% são representados por áreas urbanas, indicando 2,57% com vulnerabilidade social muito alta, 10,44% como alta, 3,42% como média e 12,00% como baixa.

Tabela 32 – Distribuição da vulnerabilidade social nas áreas rurais e urbanas do município de Ubá, Minas Gerais

Vulnerabilidade social	Área Rural		Área Urbana	
	km ²	%	km ²	%
Baixa	0,23	0,06	48,93	12,00
Média	77,22	18,94	13,95	3,42
Alta	214,27	52,57	42,56	10,44
Muito alta	-	-	10,46	2,57

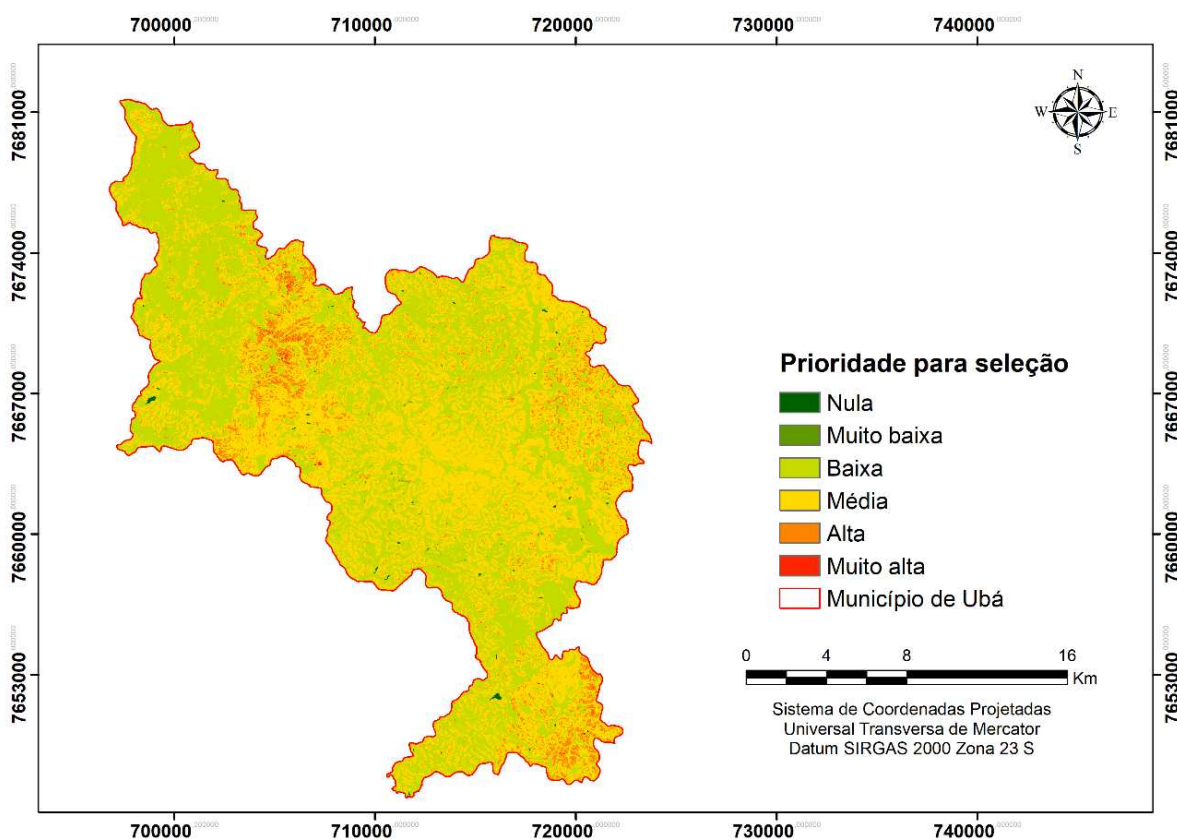
Fonte: O autor.

Os resultados obtidos apresentados na Tabela 32 são muito interessantes e importantes como parâmetro para a seleção de áreas prioritárias para implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais, uma vez que áreas rurais são locais potenciais indicados para implantação de práticas conservacionistas que visam a conservação do meio ambiente. O indicativo de vulnerabilidade social nessas regiões, com a inserção do PSA podem atrelar o benefício ambiental devido as práticas conservacionistas e o econômico devido o subsídio investido em propriedades que implantam o programa, tornando uma fonte de renda para a sociedade.

3.5 Áreas prioritárias para Pagamento por Serviços Ambientais

Na Figura 25 é apresentado o mapeamento de áreas prioritárias para implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais. Verifica-se que foram obtidas seis classes de prioridade para o município: nula, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

Figura 25 – Mapa de prioridade para implantação de Pagamento por Serviços Ambientais no município de Ubá, Minas Gerais



Fonte: O autor.

Analisando-se o mapa da Figura 25, verifica-se que é possível identificar as áreas mais relevantes (prioritárias) dentro do município para ser implantado o programa de pagamento por serviços ambientais, segundo os critérios determinados para este estudo.

Em termos de manejo adequado dos recursos naturais, a identificação destas áreas é de extrema importância para indicar os locais mais apropriados tecnicamente para aplicação dos recursos financeiros e humanos, visando gerar resultados ecológicos e hidrológicos mais eficientes e com maior probabilidade de sucesso.

Espacialmente é possível observar que a maior parte das áreas com grau alto e muito alto de prioridade para implantação do PSA está localizada nas regiões que apresentaram as piores classes (alta e muito alta) para as variáveis utilizadas para tal representação, concentrando na região noroeste, sul e leste do município de Ubá.

Por outro lado, é possível observar que o mapa de priorização obtido apresenta características similares principalmente às variáveis de fragilidade ambiental e perda anual do solo, e isso se dá ao fato que ambos os fatores receberam pesos maiores para a realização da combinação linear ponderada.

De acordo com Tabela 33, verifica-se que a maior parte da área do município de Ubá é classificada como baixa (47,79%) e média (46,38%) de prioridade para seleção do PSA. As áreas com maiores potenciais (classes alta e muito alta) para implantação do programa ocupam aproximadamente de 23 km², representando 5,64% da área total do município.

Tabela 33 – Áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais sem restrições metodológicas no município de Ubá, Minas Gerais

Prioridade	Classe	Área	
		km ²	%
Nula	0	0,50	0,12
Muito baixa	1	0,25	0,06
Baixa	2	194,44	47,79
Média	3	188,68	46,38
Alta	4	22,40	5,51
Muito alta	5	0,55	0,13

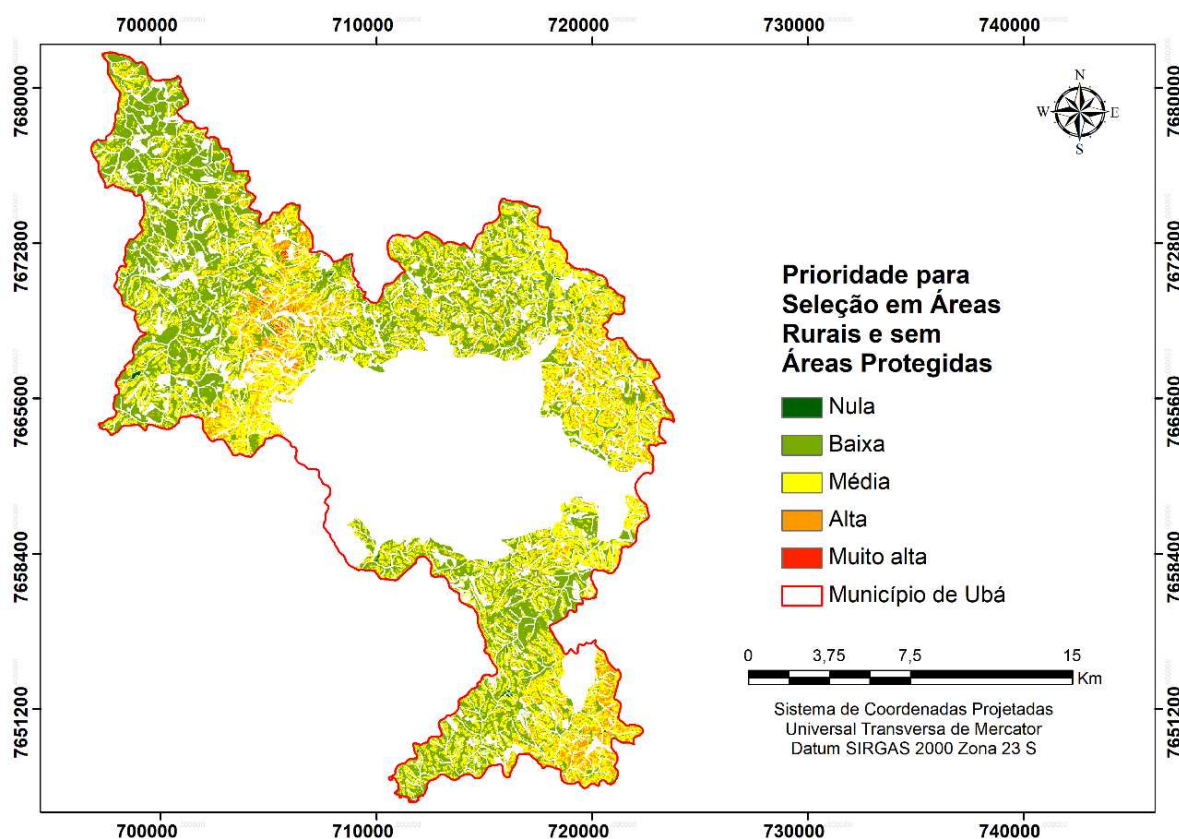
Fonte: O autor.

Vale ressaltar que apesar do município estudado apresentar maior representação de prioridade para implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais serem classificadas como baixa e média, a validação a campo torna-se necessária, uma vez que uma das variáveis estudadas para representar a priorização das áreas pode gerar influência na classe final de priorização, assim reduzindo o grau de prioridade no contexto conservacionista e socioambiental. Por outro lado, apesar da metodologia buscar avaliar locais levando em consideração aspectos conservacionistas, ambientais e sociais, caso ocorra na validação a campo, presença de locais que apresentem vulnerabilidade social menor, porém exibem problemas graves ambientais e conservacionistas, a área deve ser priorizada para implantação do PSA.

Após a obtenção do mapa de prioridade para todo o município de Ubá, conforme mencionado na metodologia proposta, com intuito de selecionar áreas prioritárias mais

representativas, foram realizados os procedimentos de refinamento da camada obtida pela análise multicritério de áreas prioritárias levando em consideração apenas locais classificados como áreas rurais de acordo com a classificação do setores censitários extraídos do censo de 2010 e que apresentam ausência de áreas ambientalmente protegidas, como reserva legal e área de preservação permanente (Figura 26). Essa etapa é de extrema importância, uma vez que a implantação do PSA é destinada há áreas rurais e o intuito é que ocorra conservação dos recursos naturais além do que é previsto na Lei nº 12.651 do novo código florestal brasileiro.

Figura 26 – Distribuição espacial das áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais excluindo áreas urbanas e áreas ambientalmente protegidas no município de Ubá, Minas Gerais



*Os espaços em branco são referentes as áreas excluídas conforme previsto na proposição metodológica.

Fonte: O autor.

Verifica-se que os locais avaliados apresentaram segmentação em cinco classes de prioridade: nula, baixa, média, alta e muito alta. Além disso, é possível observar que as principais áreas prioritárias para o município de Ubá estão localizadas em áreas rurais (noroeste,

sul e leste), assim possibilitando a potencialização da conservação ambiental na área de estudo com a implantação do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais, uma vez que na zona rural sua implantação torna-se muito mais viável ambientalmente e economicamente.

Ao comparar a Tabela 33, apresentada anteriormente, com a Tabela 34, observa-se que a maior parte da redução ocorrida pelo processo de refinamento, excluindo áreas urbanas, reserva legal e área de preservação permanente, foram nas classes de prioridade inferiores, indicando que os principais locais para a implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais localizam-se nas regiões rurais presentes no município de Ubá. Verifica-se que a classe muito alta reduziu de 0,55 km² para 0,37 km² e a classe alta que apresentava 22,40 km² diminuiu para 17,24 km². Por outro lado, os locais classificados como prioridade média, baixa e nula reduziram 188,68 km², 194,44 km² e 0,50 km² para 101,42 km², 100,31 km² e 0,29 km² respectivamente, indicando a maior redução com o refinamento proposto na metodologia. Por fim, vale ressaltar que a classe muito baixa foi extinta com o refinamento das áreas prioritárias para implantação.

Tabela 34 – Áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais excluindo áreas urbanas e áreas ambientalmente protegidas no município de Ubá, Minas Gerais

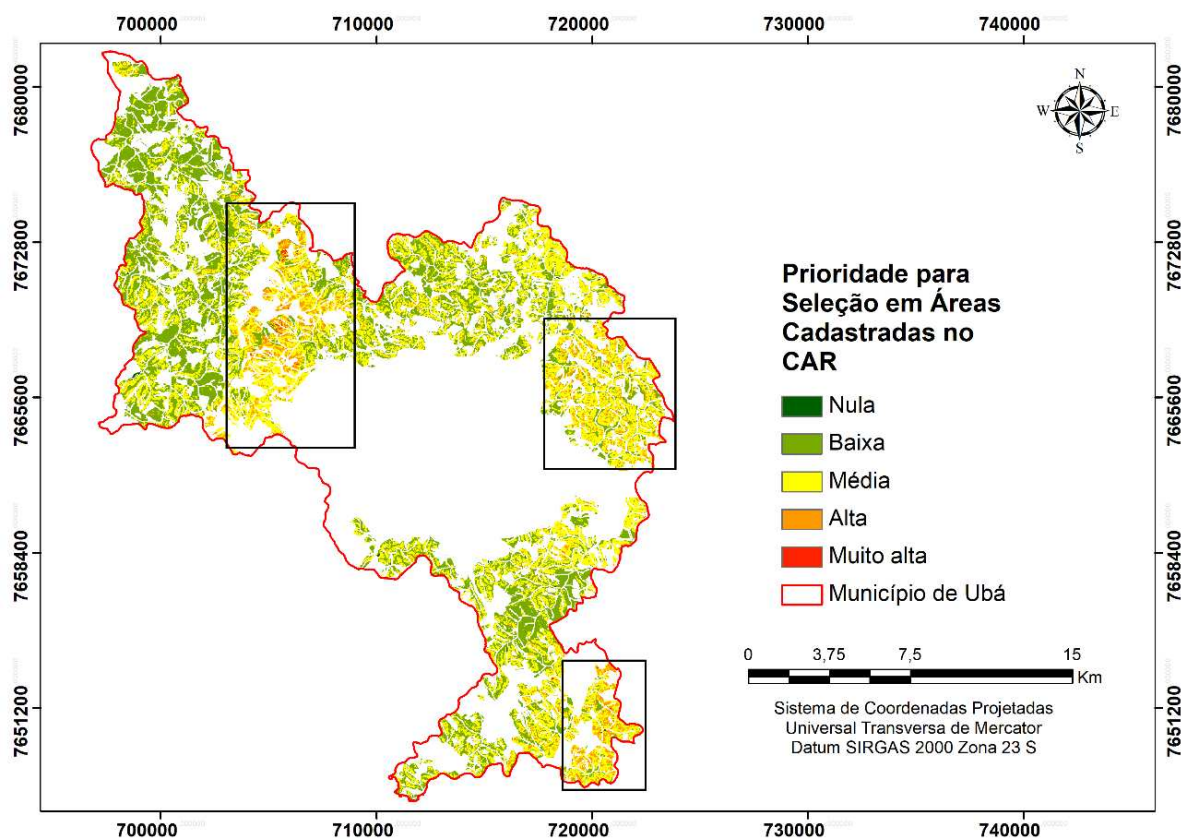
Prioridade	Classe	Área	
		km ²	% *
Nula	0	0,29	0,07
Baixa	2	100,31	24,62
Média	3	101,42	24,89
Alta	4	17,24	4,23
Muito alta	5	0,37	0,09

*Percentual calculado em relação a extensão territorial do município.

Fonte: O autor.

Por fim, para obter os principais locais elegíveis para implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais no município de Ubá, em concordância com a metodologia proposta, foi realizado o refinamento da camada obtida anteriormente, que foram excluídas áreas urbanas, reserva legal e área de preservação permanente, considerando apenas as áreas cadastradas no CAR, conforme previsto na Lei Federal nº 14.119 (Figura 27).

Figura 27 – Distribuição espacial das áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais com registro no Cadastro Ambiental Rural excluindo áreas urbanas e áreas ambientalmente protegidas no município de Ubá, Minas Gerais



*Os espaços em branco são referentes as áreas excluídas conforme previsto na proposição metodológica.

Fonte: O autor.

Verifica-se que, de acordo com a Figura 26 e 27, grande parte do território municipal de Ubá foi excluído através do refinamento para determinação das áreas prioritárias, considerando locais cadastrados no CAR, fora de áreas ambientalmente protegidas e dentro de setores censitários classificados como rurais. Desse modo, observa-se que a proposta metodológica possui grande poder de seleção específica para implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais. Por outro lado, é possível observar que os locais que apresentaram maior prioridade para implantação do programa no município, em grande parte, atenderam todas as condições previstas na metodologia, ou seja, os locais prioritários mesmo após o refinamento dos dados continuaram localizados nas regiões noroeste, leste e sul da área de estudo.

Na Tabela 35 é apresentada a distribuição quantitativa das áreas selecionadas pela metodologia proposta com seus respectivos graus de prioridade. Observa-se que o refinamento de dados realizado reduziu para cerca de 39,22% da área do município elegível para implantação do PSA, uma vez que o município possui extensão territorial de aproximadamente 407,5 km² e as áreas passíveis de implantação correspondem a 159,83 km². Por outro lado, desse percentual apto de inserção do programa de Pagamento por Serviços Ambientais, cerca de 13,19 km², correspondente à 3,24% da extensão territorial do município, apresentam prioridades máximas (alta e muito alta) como locais a serem escolhidos pelos órgãos gestores para introduzir o PSA e conseqüentemente práticas conservacionistas de água e solo.

Tabela 35 – Áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais em áreas cadastradas no Cadastro Ambiental Rural

Prioridade	Classe	Área	
		km ²	% *
Nula	0	0,17	0,04
Baixa	2	70,49	17,30
Média	3	76,15	18,69
Alta	4	12,92	3,17
Muito alta	5	0,27	0,07

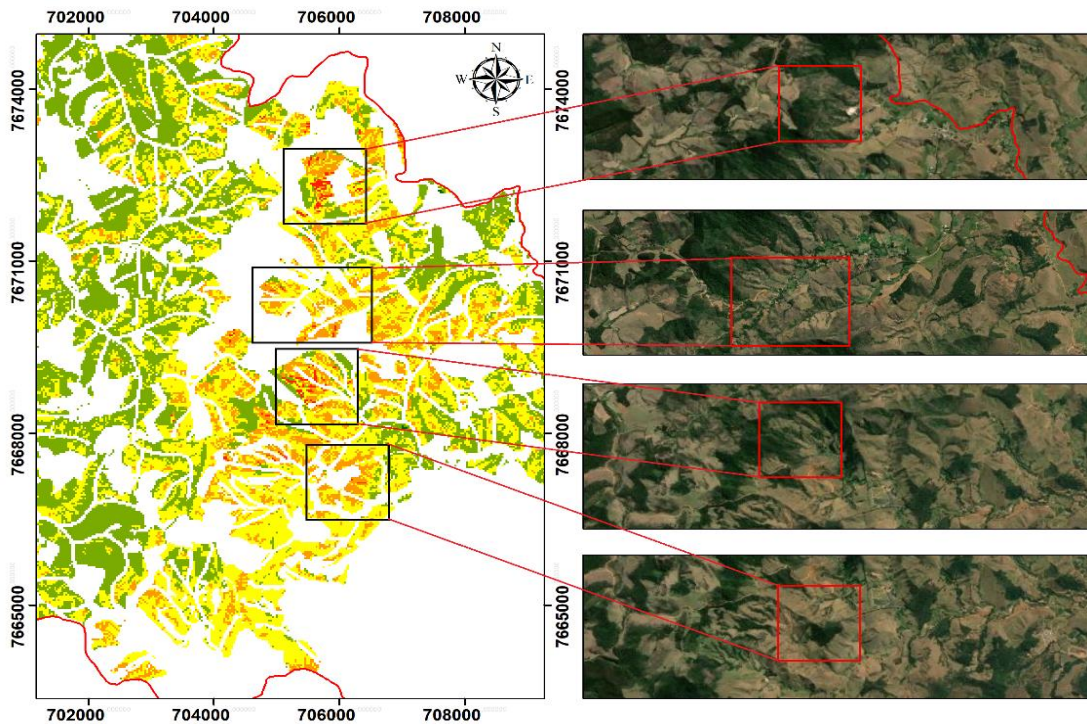
*Percentual calculado em relação a extensão territorial do município.

Fonte: O autor.

Vale ressaltar que, conforme citado anteriormente, apesar das classes mais representativas serem classificadas como prioridade baixa e média, a validação *in loco* torna-se necessária e de extrema importância para a potencialização da conservação dos ecossistemas e da biodiversidade local.

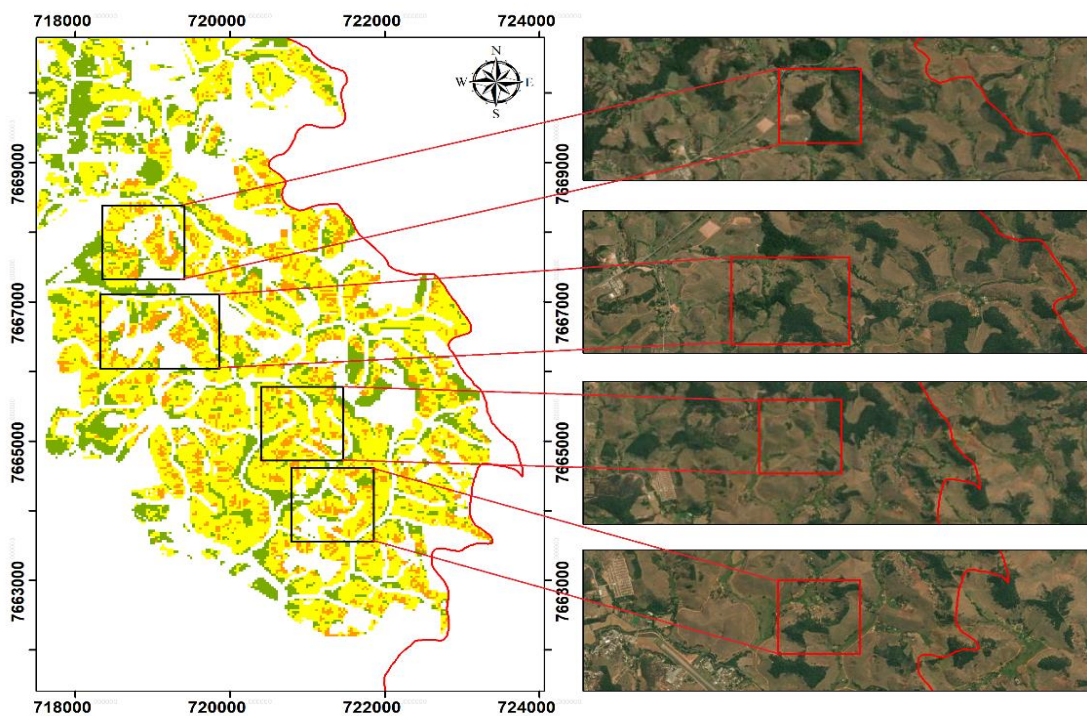
A localização das regiões que apresentaram maior prioridade para implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais é apresentada nas Figuras 28, 29 e 30, onde é possível verificar as semelhanças entre as variáveis utilizadas para obtenção da priorização. Observa-se que nas figuras ocorre um padrão dos locais que apresentaram maior prioridade para implantação do PSA, sendo caracterizado por áreas que apresentam relevo mais acidentado, uso e cobertura do solo com presença principalmente de pastagem e predominância de solos mais susceptíveis à processos erosivos, indicando a alta correlação com os fatores de fragilidade ambiental e perda anual de solo que tiveram atribuição de pesos mais importantes em relação às outras variáveis.

Figura 28 – Condições reais à noroeste do município de Ubá dos locais classificados como prioritários para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais



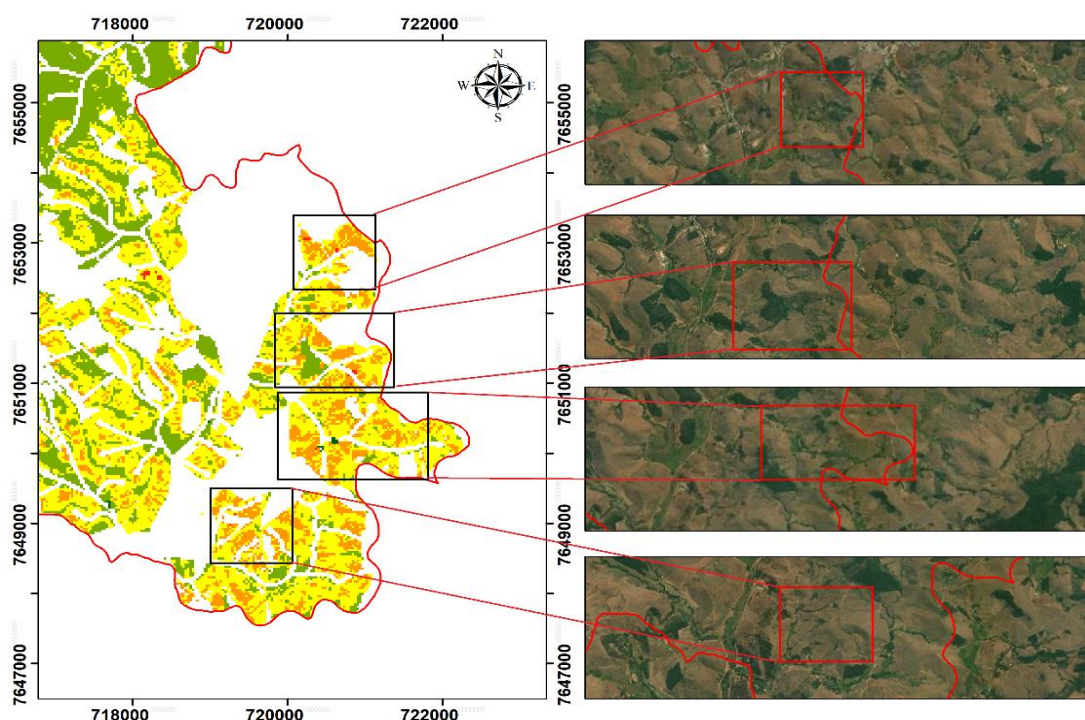
Fonte: O autor.

Figura 29 – Condições reais à leste do município de Ubá dos locais classificados como prioritários para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais



Fonte: O autor.

Figura 30 – Condições reais à sul do município de Ubá dos locais classificados como prioritários para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais



Fonte: O autor.

Verifica-se, de acordo com os resultados obtidos, que a consideração das cinco variáveis selecionadas pode ser adotada de forma integrada na determinação de áreas prioritárias para implantação do programa de Pagamento por Serviços Ambientais, auxiliando os órgãos gestores na tomada de decisão.

Diante disso, fica notório que os locais que apresentaram maiores graus de prioridade devem ser considerados prioritários para as políticas de restauração ambiental, possibilitando a destinação de recursos financeiros e estratégias que visem a conservação dos recursos naturais, como ferramenta de incentivo à adesão de produtores rurais aos programas de conservação (CRUZ et al., 2017; MANFRÉ et al., 2013; LACERDA, 2017).

Apesar de mostrar grande viabilidade da metodologia proposta para utilização dos órgãos gestores, verifica-se que para sua utilização é de extrema necessidade o incentivo de programas governamentais para acelerar os processos de registro de imóveis rurais por meio do Cadastro Ambiental Rural, uma vez que o programa é uma fonte de dados para proporcionar a utilização da metodologia e por um importante avanço para a regularização ambiental da propriedade rural no Brasil, dando segurança jurídica ao produtor, além de garantir a preservação do meio ambiente, de acordo com a legislação vigente. Vale ressaltar também que

o CAR possibilita o planejamento econômico e ambiental do uso e ocupação do imóvel rural; garante ao proprietário, acesso a crédito agrícola, com limite maior e taxas de juros menores, além de isenção de impostos para insumos e equipamentos destinados aos processos de manutenção das Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal.

Dessa forma, observa-se ser válido a utilização da metodologia proposta de forma integrada para diferentes níveis, seja municipal, bacia hidrográfica ou estadual. As informações obtidas e analisadas podem auxiliar e facilitar a realização do planejamento agrícola, ambiental, conservacionista e social do município, tornando importante para auxiliar na definição de estratégias governamentais de desenvolvimento sustentável.

O acesso a essas informações é fundamental para a assertividade do planejamento ambiental e conservacionista, pois dará maior suporte aos gestores na identificação de áreas e usos que requerem intervenção prioritária, no financiamento de planos de gestão ambiental e na alocação adequada dos recursos disponíveis.

Por fim, apesar da metodologia apresentar viabilidade e assertividade para seleção de áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais, vale ressaltar que a decisão final da implantação do programa nessas áreas é tomada exclusivamente pelo proprietário. Diante disso, para que o pagamento por serviços ambientais seja difundido nacionalmente e tenha maior aderência entre a população, é necessário que o custo de oportunidade seja positivo para o proprietário, se não a utilização da terra para qualquer atividade econômica torna-se mais viável, e conseqüentemente a implantação do PSA apronta como a última opção para as propriedades aptas.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a metodologia proposta para a identificação das áreas prioritárias para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais se mostra viável e assertiva, uma vez que a visualização dos resultados obtidos se mostra eficaz em termos de geoespacialização das áreas mais aptas para implantação do programa de pagamento por serviços ambientais e, conseqüentemente, auxiliando na tomada de decisão dos órgãos gestores.

Além disso, conclui-se que a metodologia proposta pode ser aplicada em outras áreas, seja a nível municipal, bacia hidrográfica ou até estadual, podendo ser ajustada ou adaptada de acordo com a disponibilidade de dados e em função das particularidades ambientais de cada região.

Por fim, para ampliação e assertividade da metodologia proposta, recomenda-se para uma próxima pesquisa, a incorporação de variável econômica, áreas de recarga hídrica e realização da validação *in loco* dos locais prioritários.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Pagamento por serviços ambientais**. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2254/1/Unidade_1.pdf. Acesso em: 24 de abril de 2022.
- ATALAY, I. A New Approach to the Land Capability Classification: Case Study of Turkey. **Procedia Environmental Sciences**, v. 32, p. 264–274, 2016.
- BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Universa, 140 p. 2003.
- BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.38, n.1, p.170-179, 2015.
- BOCHNER, J. K. **Proposta metodológica para identificação de áreas prioritárias para recomposição florestal – Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Macacu/RJ**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 135 p., 2010.
- BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. **Infiltração de água no solo**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 120 p., 2012.
- BRASIL. Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012. **Institui o novo código florestal brasileiro e dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Brasília, 2012.
- BRASIL. Lei Federal nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. **Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais**, Brasília, DF, 2021.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 372 p. 1994.
- COSTA, T. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P.; UZÊDA, M. C. **Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2005.
- CRUZ, B. B.; MANFRÉ, L. A.; RICCI, D. S.; BRUNORO, D.; APPOLINARIO, L.; QUINTANILHA, J. A. Environmental fragility framework for water supply systems: a case study in the Paulista Macro Metropolis area (SE Brazil). **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 12, p. 441, 2017.
- DALY, H.; FARLEY, J. **Economia Ecológica: princípios e aplicações**. Lisboa: Instituto Piaget, p. 8-12, 2004.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. de. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 677-685, 2016.

EASTMAN, J.R. Decision support: decision strategy analysis. **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, Clark University. v.2, 22p. 2001.

EDUARDO, E. N.; CARVALHO, D. F. de; MACHADO, R. L.; SOARES, P. F. C.; ALMEIDA, W. S. de. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 796–803, 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, Brasília, 353 p., 2013.

ENGEL, B. **Estimating soil erosion using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) using ArcView**. Department of Agricultural and Biological Engineering, Departmental Report, Purdue University. 2003.

FBDS – FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Repositório público de mapas e shapefiles para download**. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://geo.fbds.org.br/>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente/ UFV/ CETEC/UFLA/ FEAM, 49 p., 2010.

FERNANDES, M. M. **Valoração dos serviços ambientais da floresta de mata atlântica na qualidade e quantidade de água na Apa do sana**; Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 115 p., 2009.

FIORI, J. P. de O.; CAMPOS, J. E. G.; ALMEIDA, L. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do Estado de Goiás. **Geociências**, v. 29, n. 2, p. 229–235. 2010.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G. & MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **J. Soil Water Conserv.**, 36:355- 359. 1981.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. In: **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto – SBSR**, 16., 2013, Foz do Iguaçu-PR. Anais [...]. Foz do Iguaçu, PR: INPE, 2013.

FURLAN, A.; BONOTTO, D. M.; GUMIERE, S. J. Development of environmental and natural vulnerability maps for Brazilian coastal at São Sebastião in São Paulo State. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 3, p. 659–669, 2011.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Mapeamento da vulnerabilidade no município de rio Negrinho – SC: uma proposta metodológica. **Caminhos de Geografia**. V. 12, n. 10, 2011.

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: MMA, v. 272, 2011.

HAMILTON, C. M.; MARTINUZZI, S.; PLANTINGA, A. J.; RADELOFF, V. C.; LEWIS, D. J.; THOGMARTIN, W. E.; HEGLUND, P. J.; PIDGEON, A. M. Current and Future Land Use around a Nationwide Protected Area Network. **PLOS ONE**, v. 8, n. 1, p. 1–12, 2013.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse por setores**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Série Histórica: Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 24 de abril de 2022.

KLINGEBIEL, A. A.; MONTGOMERY, P. H. **Land-capability Classification**. Agricultural Handbook, n. 210, Soil Conservation Service. Washington, DC: U.S. Govt. Printing Office, 21 p., 1961.

LACERDA, R. C. A. **O uso do PSA como Instrumento Econômico na Recuperação Ambiental da bacia do Rio Doce**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília. 208 p., 2017.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 456 p., 2011.

LEPSCH, I. F.; ESPINDOLA, C. R.; FILHO, O. J. V.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D. S. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Viçosa, MG: SBCS, 170 p., 2015.

MANFRÉ, L. A.; DA SILVA, A. M.; URBAN, R. C.; RODGERS, J. **Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region)**. Environmental Earth Sciences, v. 69, n. 3, p. 947–957, 2013.

MAPBIOMAS. **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 24 de abril de 2022.

MARQUES, J. J. G. de S. e M. **Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 119 p., 1996.

MEDEIROS, R.; AZZARI, R.; ZANETTI, R. **Pagamento por serviços ambientais (PSA)**. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/pagamento-por-servicos-ambientais-psa/>. Acesso em: 08 de maio de 2022.

MONTEIRO, L. I. B. **Pagamento por serviços ambientais e condição de uso intensivo do solo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 70 p., 2016.

MOORE, I.D. & BURCH, G.J. Modeling erosion and deposition: topographic effects. **Transactions of the American Society Agricultural and Biological Engineers**, v. 29, n. 6, p. 1624-1630. 1986.

MOREIRA, M. C. et al. NetErosividade MG: erosividade da chuva em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1349-1353, 2008.

MURADIAN, R.; CORBERA, E.; PASCUAL, U.; KOSOY, N.; MAY, P. H. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1202–1208, 2010.

NASA JPL (2021). **NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001. Distributed by OpenTopography**. <https://doi.org/10.5069/G93T9FD9>. Acesso em: 07 de maio de 2022.

NDZANA, G. M.; HUANG, L.; WANG, J. B.; ZHANG, Z. Y. Characteristics of clay minerals in soil particles from an argillic horizon of Alfisol in central China. **Applied Clay Science**, v. 151, p. 148–156, 2018.

NUNES, H. K. B.; AQUINO, C. M. S. Vulnerabilidade social dos setores censitários às margens do rio Poti no município de Teresina/Piauí. **Caminhos de Geografia**. V. 20, n. 69, p. 326–341, 2019.

PACHECO, J. C. C.; MOREIRA, M. C. ; PARMA, L. M. ; PINHEIRO, S. A. R. Estimativa da perda anual de solos e capacidade de uso da terra do município de Ubá, Minas Gerais. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, 2022**, Pelotas. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, 2022.

PEREIRA, G. W. et al. Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1350, 2022.

PREFEITURA DE UBÁ. **PSA conquista 1º lugar em premiação estadual de boas práticas ambientais**. Agricultura, Ambiente e Mobilidade Urbana. Disponível em: <https://www.uba.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/psa-conquista-1o-lugar-em-premiacao-estadual-de-boas-praticas-ambientais/185298>. Acesso em: 20 de outubro 2022.

RESCK, D. V. S.; FIGUEIREDO, M. de S.; FERNANDES, B.; RESENDE, M.; SILVA, T.C.A. da. Erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico distrófico fase terraço, localizado na Zona da Mata (MG), determinada com simulador de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, p.7-14, 1981.

RIBEIRO, M. C. C. R.; DA SILVA, A. A. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 3, p. 270-281, 2016.

RIO GRANDE DO SUL. **Manual de conservação do solo**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, p. 42- 72, 1979.

ROSA, F. S.; TONELLO, K. C.; LOURENÇO, R. W. Eleição de áreas prioritárias para pagamento por serviços ambientais: uma análise em nível de microbacia. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 448-461, 2016.

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

SAATY, T. L. Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process. **Behaviormetrika**, v. 18, n. 29, p. 1-9, 1991.

SANTOS, C. N. **El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 137 p., 2008.

SANTOS, R. F.; VIVAN, J. L. **Pagamento por Serviços Ecossistêmicos em perspectiva comparada: recomendações para tomada de decisão**. Brasília: Projeto Apoio aos Diálogos Setoriais UE - Brasil, 2012.

SICAR - SISTEMA NACIONAL DE CADASTRO AMBIENTAL RURAL. **Sistema de Cadastro Ambiental Rural**. Disponível em: <https://www.car.gov.br/>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

SILVA, A. M. D., SILVA, M. L. N., CURI, N., AVANZI, J. C., & FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, 2009.

SISEMA – SISTEMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-Sisema. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 12 de maio de 2022.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, Marília, 1987. **Anais, Marília**, p. 105-135, 1987.

STORTO, C.; COCATO, G. P. Análise de Fragilidade Ambiental a partir de Técnicas de Geoprocessamento: Área de Influência da Hidrelétrica de Mauá-PR (Analysis of Environmental Fragility from Geoprocessing Techniques: Area of Influence of the Mauá Hydroelectric Plant-PR). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1694-1708, 2018.

UDDIN, K.; MURTHY, M. S. R.; WAHID, S. M.; MATIN, M. A. Estimation of Soil Erosion Dynamics in the Koshi Basin Using GIS and Remote Sensing to Assess Priority Areas for Conservation. **PLOS ONE**, v. 11, n. 3, p. e0150494, 2016.

VALENTIN, E. F. D. **Modelagem dinâmica de perdas de solo: o caso do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto-DF/GO**. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília. 149 p., 2008.

VASHCHENKO, Y.; FAVARETTO, N.; BIONDI, D. Fragilidade Ambiental nos picos Camacua, Camapuã E Tucum, Campina Grande Do Sul, PR. **FLORESTA**, v. 37, n. 2, p. 201–2015, 2007.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando a conservação de recursos hídricos.** Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, Piracicaba, 151 p., 2006.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning.** London: Pion, 125p. 1983.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Agricultural Handbook No 537. Washington: U.S. Department of Agriculture. 58 p. 1978.

WWF - WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **Biodiversidade e Pegada Ecológica.** Disponível em: http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/biodiversidade/consequencias_perda_biodiversidade/. Acesso em: 08 de maio de 2022.

ZHANG, H.; YANG, Q.; LI, R.; LIU, Q.; MOORE, D.; HE, P.; RITMSEMA, C.J. & GEISSEN, V. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. **Computers & Geosciences**, 52: 177-188, 2013.