



RAFAEL TORRES CARTOLANO

**PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS: UMA
METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE IMÓVEIS RURAIS
COM POTENCIAL PARA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS**

**LAVRAS - MG
2023**

RAFAEL TORRES CARTOLANO

**PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS: UMA METODOLOGIA
PARA IDENTIFICAÇÃO DE IMÓVEIS RURAIS COM POTENCIAL PARA
PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Restauração e Conservação de Ecossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Orientadora

Prof. Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França
Coorientador

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior
Coorientador

LAVRAS – MG

2023

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Cartolano, Rafael Torres.

Pagamento por serviços ambientais : Uma metodologia para
identificação de imóveis rurais com potencial para prestação de
serviços ecossistêmicos / Rafael Torres Cartolano. - 2023.

115 p.

Orientador(a): Soraya Alvarenga Botelho.

Coorientador(a): Luciano Cavalcante de Jesus França, Fausto
Weimar Acerbi Júnior.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Zoneamento ambiental. 2. Política Ambiental. 3.
Geoprocessamento. I. Botelho, Soraya Alvarenga. II. França,
Luciano Cavalcante de Jesus. III. Acerbi Júnior, Fausto Weimar.

RAFAEL TORRES CARTOLANO

PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS: UMA METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE IMÓVEIS RURAIS COM POTENCIAL PARA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

PAYMENT FOR ENVIRONMENTAL SERVICES: A METHODOLOGY FOR IDENTIFYING RURAL PROPERTIES WITH POTENTIAL FOR ECOSYSTEM SERVICES

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Restauração e Conservação de Ecossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de julho de 2023
Dra. Soraya Alvarenga Botelho – UFLA
Dra. Danielle Piuzana Mucida – UFVJM
Dr. Luis Antônio Coimbra Borges – UFLA
Dr. Rafael Eduardo Chiodi – UFLA

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Orientadora
Prof. Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França
Coorientador
Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior
Coorientador

**LAVRAS – MG
2023**

À cidade de Lavras, por acolher-me
e ser o berço do meu crescimento
profissional.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras – UFLA e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, pelo enriquecedor ambiente acadêmico e pelos conhecimentos adquiridos durante todo o período do mestrado.

Agradeço imensamente a todos os professores que fizeram parte da minha trajetória acadêmica, em especial à minha orientadora Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho, ao Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Junior e ao Prof. Dr. Luis Antônio Coimbra Borges, por todo o apoio, paciência e valiosos ensinamentos transmitidos ao longo desta jornada. Sou muito grato por ter tido a oportunidade de aprender com cada um de vocês.

Ao Prof. Dr. Luciano Cavalcante de Jesus França, minha profunda gratidão pela coorientação excepcional, disponibilidade constante e apoio inestimável ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua presença foi fundamental em cada etapa, e sou eternamente grato por todos os ensinamentos e pela parceria estabelecida. Além de um coorientador dedicado, você se tornou um amigo valioso que o meio acadêmico me presenteou. Agradeço sinceramente por ter acreditado em mim e por ter me guiado neste percurso acadêmico com sabedoria, paciência e incentivo. Sua contribuição foi essencial para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço à minha querida família, pois sem o apoio e o amor incondicional de cada um de vocês, essa jornada não teria sido possível. Em especial, agradeço aos meus pais, Cássio e Cristina, por serem minha base sólida e por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais desafiadores. À minha companheira Isabel, por ser uma fonte inestimável de apoio, pelo companheirismo e paciência em todas as etapas desse caminho. E, à minha filha Maria Clara, que trouxe luz e significado à minha vida, inspirando-me a seguir em busca dos meus objetivos. Cada um de vocês é a razão do meu sucesso e a força que me impulsiona a alcançar meus sonhos.

Enfim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para a concretização deste importante capítulo da minha vida acadêmica. Vocês foram fundamentais para que eu pudesse enfrentar os desafios e superar as dificuldades, tornando esta conquista possível.

Meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

Programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) têm se tornado instrumentos de grande importância nas políticas ambientais e de desenvolvimento em todo o mundo. Um PSA envolve a transferência voluntária de um serviço ambiental específico ou do uso da terra que possa resultar na prestação desse serviço, por meio do qual um pagador de serviços ambientais transfere recursos financeiros ou outra forma de remuneração a um prestador desses serviços, respeitando as disposições legais e regulamentares. A definição e regulação de PSA no Brasil ocorreu somente em janeiro de 2021, com a publicação da Lei nº 14.119/2021, que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA). Este estudo teve como objetivo central desenvolver e propor uma metodologia integrada para a caracterização e seleção de imóveis rurais com potencial para prestação de serviços ecossistêmicos, utilizando a avaliação de múltiplos critérios e indicadores ambientais. A partir dos pressupostos conceituais dos serviços ecossistêmicos, foram consideradas as quatro modalidades (provisão, suporte, regulação e cultural) para melhor mensuração e compreensão desses serviços. A metodologia proposta foi aplicada no município de Lavras, resultando na criação de quatro índices específicos de importância ecossistêmica (IIE Provisão, IIE Suporte, IIE Regulação e IIE Cultural), que permitiram a avaliação em escala a nível de imóveis rurais em relação a cada modalidade de serviço. Esses índices foram utilizados para calcular o Índice de Importância Ecossistêmica Final (IIE Final), representando o serviço ecossistêmico total prestado por cada imóvel rural. Com base na aplicação da metodologia o IIE Final foi segmentado em cinco classes, sendo que a classe V contemplou 187 imóveis com maior potencial para prestação de serviços ecossistêmicos. A metodologia demonstrou-se adequada para ser replicável em diferentes contextos geográficos, oferecendo subsídios para a seleção e priorização de imóveis rurais com potencial para participar de programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e contribuindo para a implementação da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA). Este estudo contribui para a conservação da biodiversidade, a proteção dos recursos hídricos e a mitigação das mudanças climáticas, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisão e o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à prestação de serviços ecossistêmicos e cumprimentos de acordos e metas climáticas internacionais.

Palavras-chave: Zoneamento Ambiental. Política Ambiental. Geoprocessamento. Índice de Importância Ecossistêmica. Planejamento Ambiental.

ABSTRACT

Payment for Environmental Services (PES) programs have become instruments of great importance in environmental and development policies around the world. A PES involves the voluntary transfer of a specific environmental service or land use that may result in the provision of that service, whereby a payer of environmental services transfers financial resources or another form of remuneration to a provider of these services, respecting legal and regulatory provisions. The definition and regulation of PES in Brazil occurred only in January 2021, with the publication of Law No. 14,119/2021, which instituted the National Policy for Payment for Environmental Services (PNPSA). The main objective of this study was to develop and propose an integrated methodology for the characterization and selection of rural properties with potential for providing ecosystem services, using the evaluation of multiple environmental criteria and indicators. Based on the conceptual assumptions of ecosystem services, the four modalities (provision, support, regulation and cultural) were considered to better measure and understand these services. The proposed methodology was applied in the municipality of Lavras, resulting in the creation of four specific indices of ecosystem importance (IIE Provision, IIE Support, IIE Regulation and IIE Cultural), which allowed the scale evaluation at the level of rural properties in relation to each service modality. These indices were used to calculate the Final Ecosystem Importance Index (Final EII), representing the total ecosystem service provided by each rural property. Based on the application of the methodology, the Final EII was segmented into five classes, with class V comprising 187 properties with the greatest potential for providing ecosystem services. The methodology proved to be suitable for replication in different geographical contexts, offering subsidies for the selection and prioritization of rural properties with potential to participate in Payment for Environmental Services (PES) programs and contributing to the implementation of the National Policy for Payment for Environmental Services (PNPSA). This study contributes to the conservation of biodiversity, the protection of water resources and the mitigation of climate change, providing a solid basis for decision-making and the development of public policies aimed at providing ecosystem services and complying with international climate agreements and targets.

Keywords: Environmental Zoning. Environmental Policy. Geoprocessing. Ecosystem Importance Index. Environmental Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do município de Lavras, Minas Gerais, Brasil.	24
Figura 2. Procedimento metodológico implementado para compilação de diferentes bases de cobertura e uso da terra.	27
Figura 3. Ilustração esquemática dos quatro grupos de serviços ecossistêmicos.	28
Figura 4. Planos de Informações Espaciais (layers) primários processados e avaliados para cada feição biogeofísica da paisagem considerada (Lavras – MG).	39
Figura 5. Limites das áreas referentes aos imóveis rurais existentes no município de Lavras (MG).	40
Figura 6. Classificação dos imóveis rurais em relação ao tamanho de suas áreas.	42
Figura 7. Mapa de uso e cobertura da terra para o município de Lavras – MG.	43
Figura 8. Classificação dos imóveis rurais em relação ao IIE Provisão.	46
Figura 9. Distribuição dos valores de IIE Provisão.	47
Figura 10. Mapa indicativo dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Provisão.	48
Figura 11. Classificação dos imóveis rurais em relação ao IIE Suporte.	51
Figura 12. Distribuição dos valores do IIE Suporte.	52
Figura 13. Mapa indicativo dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Suporte.	53
Figura 14. Classificação dos imóveis em relação ao IIE Regulação.	57
Figura 15. Distribuição dos valores do IIE Regulação.	58
Figura 16. Mapa indicativo do imóvel rural com a maior nota no IIE Regulação.	59
Figura 17. Classificação dos imóveis rurais em relação ao IIE Cultural.	62
Figura 18. Classificação dos imóveis rurais em relação ao IIE Final.	64
Figura 19. Distribuição dos valores do IIE Final.	65
Figura 20. Mapa indicativo dos imóveis classificados como Classe V no IIE Final.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista das camadas de dados geoespaciais e suas respectivas fontes de aquisição...	25
Tabela 2 Caracterização dos pesos aplicados a cada critério de valoração de serviços ecossistêmicos.	28
Tabela 3. Classificação e mensuração dos serviços ecossistêmicos de Provisão de Bens e Produtos e Hídrica.	30
Tabela 4. Classificação e mensuração dos serviços ecossistêmicos de Suporte.....	32
Tabela 5. Classificação e mensuração dos serviços ecossistêmicos de Regulação.	34
Tabela 6. Classificação e mensuração dos serviços ecossistêmicos culturais.....	36
Tabela 7. Classificação dos imóveis rurais do município de Lavras em relação ao tamanho de suas áreas.	41
Tabela 8. Classificação das classes de uso e cobertura da terra em relação aos limites dos imóveis rurais e ao limite municipal.....	43
Tabela 9. Classificação e ponderação do critério Provisão de Bens e Produtos.....	44
Tabela 10. Classificação e ponderação do critério Provisão Hídrica.	45
Tabela 11. Classificação do IIE Provisão.	47
Tabela 12. Lista dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Provisão.....	48
Tabela 13. Classificação e ponderação do critério Vegetação Nativa.....	49
Tabela 14. Classificação e ponderação do critério Corredores Ecológicos.....	50
Tabela 15. Classificação e ponderação do critério Biodiversidade.	50
Tabela 16. Classificação do IIE Suporte.	51
Tabela 17. Lista dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Suporte.	53
Tabela 18. Classificação e ponderação do critério <i>Status</i> das APPs.	54
Tabela 19. Classificação e ponderação do critério <i>Status</i> da RL.....	55
Tabela 20. Classificação e ponderação do critério Estoque de Carbono.....	56
Tabela 21. Classificação e ponderação do critério Risco à Erosão.	56
Tabela 22. Classificação do IIE Regulação.	58
Tabela 23. Lista dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Regulação.....	60
Tabela 24. Classificação e ponderação do critério Patrimônio Cultural.	61
Tabela 25. Classificação e ponderação do critério Sítios Arqueológicos.....	61
Tabela 26. Classificação do IIE Cultural.....	62
Tabela 27. Classificação do IIE Final.....	64
Tabela 28. Lista dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Final.	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral.....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Pagamento por Serviços Ambientais	15
3.2	SIG no suporte as tomadas de decisões espaciais	21
4	METODOLOGIA	22
4.1	Área de estudo.....	23
4.2	Fase I: Aquisição dos dados	25
4.2.1	Cobertura e uso da terra.....	26
4.3	Fase II: Definição e classificação dos critérios e indicadores	27
4.3.1	Serviços Ecosistêmicos de Provisão	29
4.3.1.1	Provisão de Bens e Produtos.....	29
4.3.1.2	Provisão Hídrica	29
4.3.2	Serviços Ecosistêmicos de Suporte	30
4.3.2.1	Vegetação Nativa	30
4.3.2.2	Corredores Ecológicos.....	31
4.3.2.3	Biodiversidade.....	31
4.3.3	Serviços Ecosistêmicos de Regulação	32
4.3.3.1	Status da RL.....	33
4.3.3.2	Status da APP.....	33
4.3.3.3	Estoque de Carbono	33
4.3.3.4	Risco à Erosão	33
4.3.4	Serviços Ecosistêmicos culturais.....	35
4.3.4.1	Tipo do CAR	35
4.3.4.2	Proximidade de áreas protegidas	35
4.3.4.3	Patrimônio Cultural	36
4.3.4.4	Patrimônio Arqueológico	36
4.4	Fase III: Índice de Importância Ecosistêmica - IIE.....	37
5	RESULTADOS	38
5.1	Limite e tamanho dos Imóveis Rurais	40
5.2	A cobertura e uso da terra em Lavras	42
5.3	Serviços Ecosistêmicos de Provisão	44

5.3.1	Provisão de Bens e Produtos.....	44
5.3.2	Hídrica	44
5.3.3	IIE Provisão.....	45
5.4	Serviços Ecosistêmicos de Suporte	49
5.4.1	Vegetação Nativa	49
5.4.2	Corredores Ecológicos.....	49
5.4.3	Biodiversidade.....	50
5.4.4	IIE Suporte	50
5.5	Serviços Ecosistêmicos de Regulação	54
5.5.1	Status das APPs	54
5.5.3	Estoque de Carbono	55
5.5.4	Risco à Erosão	56
5.5.5	IIE Regulação.....	56
5.6	Serviços Ecosistêmicos Culturais.....	60
5.6.1	Tipo do Imóvel	60
5.6.2	Áreas Protegidas	60
5.6.3	Patrimônio Cultural	60
5.6.4	Sítios Arqueológicos	61
5.6.5	IIE Cultural.....	61
5.7	IIE Final.....	63
6	DISCUSSÃO	68
6.1	Implicações inerentes aos imóveis rurais, cobertura e uso da terra em Lavras	68
6.2	Serviços Ecosistêmicos de Provisão	71
6.2.1	Implicações do IIE de Provisão	73
6.3	Serviços ecosistêmicos de Suporte	75
6.3.1	Implicações do IIE de Suporte.....	79
6.4	Serviços ecosistêmicos de Regulação	81
6.4.1	Implicações do IIE de Regulação	85
6.5	Serviços ecosistêmicos culturais.....	86
6.5.1	Implicações do IIE Cultural	91
6.6	Constatações e implicações do Índice Final	91
7	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	96
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
	ANEXO A - Descrição das informações da tabela de atributos do arquivo final.	113
	ANEXO B - Lista dos imóveis rurais com maior estoque de carbono (tC).	115

1 INTRODUÇÃO

Programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) tornaram-se rapidamente instrumentos de grande importância nas políticas ambientais e de desenvolvimento em todo o mundo (ITO, 2022), tendo como premissa e principal mecanismo, a criação e mudança a incentivos e comportamentos das partes interessadas em promover práticas de manejo da terra que gerem serviços ecossistêmicos e favoreçam a restauração, conservação ecológica ou mesmo a justiça social e ambiental (DÉMURGER et al., 2015; RODRIGUES et al., 2011)

Um PSA refere-se à transferência voluntária de um serviço ambiental específico ou do uso da terra que possa resultar na prestação desse serviço, por meio da qual um pagador de serviços ambientais transfere recursos financeiros ou outra forma de remuneração a um prestador desses serviços, em condições pactuadas, respeitadas as disposições legais e regulamentares (MAMEDES et al., 2023). Essa transferência ocorre entre um ou mais compradores, usuários ou outros atores sociais e, pelo menos, um vendedor, fornecedor ou provedor. No entanto, o fornecedor é responsável por garantir o fornecimento do serviço ambiental. Em resumo, o PSA é um mecanismo de compensação voluntária oferecido aos proprietários de terras que adotam práticas de manejo e conservação que promovem a adicionalidade e melhoram a qualidade dos serviços ambientais (MURADIAN et al., 2010).

Apesar dos avanços legislativos implementados no Brasil ao longo das últimas décadas, o país ainda carecia de uma regulamentação específica para o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Embora já existisse uma lei que abordava incentivos econômicos para conservação e preservação ambiental, o conceito de PSA ainda não estava totalmente claro. Foi somente em janeiro de 2021 que o conceito de PSA foi oficialmente definido, por meio da publicação da Lei nº 14.119/2021, que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA) e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA) (BRASIL, 2021). Embora não seja uma abordagem inovadora, uma vez que programas de PSA já estavam sendo desenvolvidos em diferentes níveis de governança, como municipal, regional e federal, a nova lei foi elaborada com o objetivo de atender à demanda por diretrizes nacionais uniformes.

Essa legislação busca fornecer um marco legal claro e consistente para a implementação e regulamentação do PSA em todo o país, estabelecendo diretrizes e princípios que devem orientar sua aplicação. Com isso, espera-se promover a efetividade e a uniformidade das iniciativas de PSA, contribuindo para a conservação dos serviços ambientais e a valorização

daqueles que adotam práticas de manejo e conservação que beneficiam o meio ambiente. De acordo com a referida legislação, serviços ambientais são atividades individuais ou coletivas, exercidas pelo homem, que favorecem a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos. Por sua vez, serviços ecossistêmicos são os benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais. Estes serviços são divididos em quatro modalidades: (I) de provisão; (II) de suporte; (III) de regulação; e (IV) cultural (FIDALGO et al., 2017). Ou seja, quem promove a manutenção ou a melhoria das funções dos ecossistemas está promovendo um serviço ambiental que pode ser remunerado por meio do PSA.

A PNPSA prevê várias modalidades de pagamentos: pagamentos diretos, monetários ou não monetários; títulos verdes; compensação vinculada à certificação de redução de emissões por desmatamento; e outras. O PSA possui o potencial de estimular a adoção de melhores práticas produtivas, diminuindo a pressão sobre as áreas com remanescentes de vegetação nativa, além de fornecer um incremento na renda dos provedores de serviços ecossistêmicos.

O Programa Produtor de Águas (PPA), lançado pela Agência Nacional de Águas (ANA), em 2001, é um dos principais programas de PSA do Brasil (ANA, 2012). O PPA é um programa de controle dos impactos negativos das propriedades rurais, voltado principalmente para as bacias hidrográficas de importância estratégica para o país, efetivado por meio da execução de projetos locais de PSA, distribuídos por todo território nacional (EMATER, 2018).

Um projeto pioneiro em parceria com o PPA, é o Programa Conservador de Águas do município de Extrema (MG), que foi lançado em 2005 (PEREIRA et al., 2016; PACHECO et al., 2017). O município possui diversas nascentes em sua área rural, que exercem papel essencial na alimentação do Sistema Cantareira, responsável pelo abastecimento da Grande São Paulo (JARDIM; BURSZTYN, 2015). O programa tem o objetivo de aumentar a cobertura vegetal, implantar corredores ecológicos e reduzir os níveis de poluição rural, além de garantir sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos manejos e práticas conservacionistas por meio de incentivos financeiros aos detentores de terras rurais. Premiado nacionalmente e internacionalmente, o Conservador de Águas vêm mostrando bons resultados e continua em operação, atualmente, expandindo suas ações, inclusive, para outros municípios de toda a Serra da Mantiqueira (CHIODI et al., 2013; PEREIRA et al., 2016; PINHEIRO et al., 2021; ANJOS, et al., 2022).

Após evidências constatadas em diversas publicações e projetos de PSA, verificou-se a falta de uma metodologia e abordagens específicas para a definição de áreas rurais prioritárias para o recebimento de incentivos dos programas de PSA (POCIDONIO; TURETTA, 2012;

CHIODI E MARQUES, 2018; PEREVOCHTCKIKOVA, 2021; COELHO et al., 2021; MAMEDES et al., 2023), sobretudo a nível de imóveis rurais. Os projetos analisados adotaram uma abordagem mais macro e generalista na seleção das propriedades rurais beneficiadas, baseando-se principalmente em consultas aos proprietários e considerando apenas aspectos como a localização dentro de bacias hidrográficas específicas, sem uma avaliação dos serviços ecossistêmicos prestados e sem o apoio de ferramentas tecnológicas.

Pressupõe-se neste estudo, que este um problema de decisão espacial e inteligência geográfica, sob toda uma perspectiva holística para verificar a viabilidade de implantação de projetos de PSA. As geotecnologias, como Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Sensoriamento Remoto (SR) e Geoprocessamento, aliadas às análises matemáticas e estatísticas, têm se mostrado opções notáveis na tomada de decisão e ordenamento ambiental. Essas ferramentas proporcionam parâmetros e informações precisas em curtos prazos, agilizando e embasando ações relacionadas ao meio ambiente. Ao integrar diferentes tipos de dados espaciais, identificar padrões e tendências, gerar mapas temáticos e visualizar resultados de forma acessível, as geotecnologias permitem uma gestão mais eficiente e fundamentada. Com sua aplicação, é possível obter informações cruciais de maneira ágil, melhorando a eficiência, a precisão e a sustentabilidade das ações ambientais (MARQUES, 2015; FRANÇA et al., 2020).

Hipotetiza-se que o uso da metodologia para mensuração do serviço ecossistêmico no imóvel rural tem potencial para auxiliar em processos de tomada de decisão em gestão ambiental e direcionamento de políticas públicas focadas em PSA. Destaca-se que estudos dedicados ao desenvolvimento de metodologias para avaliação da propriedade rural, capaz de investigar diversas características, como o serviço ecossistêmico prestado em cada área, são atualmente demandados e podem ser fundamentais para servir de embasamento para os programas de PSA, tornando o direcionamento desses recursos mais assertivos e eficientes, além de permitir uma melhor gestão dos programas. Além disso, é importante ressaltar que a implementação de um PSA requer uma análise minuciosa de diversos fatores e características, pois cada projeto possui peculiaridades que devem ser identificadas para poder planejar de forma correta as ações a serem desenvolvidas, otimizando os recursos e os resultados.

Em consonância com as informações levantadas e evidências constatadas, este estudo se propôs ao desenvolvimento e proposição de uma metodologia que permita o zoneamento de imóveis rurais com potencial para prestação de serviços ecossistêmicos, por meio da análise e avaliação de critérios e indicadores. Como estudo de caso foi considerado como área de estudo o município de Lavras, região dos Campos das Vertentes, Minas Gerais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma metodologia para caracterização e seleção de imóveis rurais com potencial para prestação de serviços ecossistêmicos, por meio da avaliação de múltiplos critérios e indicadores.

2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer critérios e indicadores de importância capazes de avaliar o serviço ecossistêmico prestado a nível de propriedade rural.
- Adquirir e ordenar bases de dados geoespaciais com as informações obtidas em cada etapa analítica.
- Processar a base geoespacial e analisar as constatações de acordo com a metodologia proposta.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Pagamento por Serviços Ambientais

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (BRASIL, 1988), promulgada sob diversos direitos fundamentais individuais, difusos e coletivos, assegura o direito a um meio ambiente ecologicamente justo e equilibrado, indispensável para uma qualidade de vida saudável à toda população brasileira. Essa garantia está estabelecida no artigo 225, que busca proteger de forma abrangente não apenas o ser humano e a comunidade em que está inserido, mas também a biota (fauna e flora), assim como assegurar o desenvolvimento econômico proveniente de diferentes atividades. Desde a década de 1930, foram estabelecidas normas gerais com o propósito de garantir o cumprimento desse direito, por meio de políticas regulatórias destinadas à proteção da natureza e de seus recursos. Nesse contexto, em 1934, foram promulgados o Código Florestal e o Código das Águas e das Minas. Posteriormente, nas décadas de 1950 e 1960, foram criadas unidades de conservação, além da implementação do novo Código Florestal em 1965 e da Lei da Fauna em 1967 (SANTOS et al., 2012).

Em 1981, foi promulgada a Lei nº 6.938, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) com o propósito de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental. Essa lei define os objetivos, os mecanismos de formulação e aplicação dessa política. Além

disso, a Lei nº 7.347/85 disciplina a ação civil pública para responsabilizar por danos causados ao meio ambiente. Essas iniciativas legislativas reforçam o compromisso com a proteção ambiental e a promoção da sustentabilidade, em conformidade com o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado garantido pela Constituição de 1988.

Neste contexto legal, o Novo Código Florestal, Lei nº 12.651/12 (BRASIL, 2012) foi o instrumento que institui as regras gerais sobre a ocupação e exploração da vegetação nativa no território brasileiro. Também é de sua atribuição determinar as áreas que devem ser preservadas e quais regiões são autorizadas a receber os diferentes tipos de produção rural. No Código Florestal, em seu capítulo décimo, está previsto o pagamento ou incentivo às atividades de manutenção, conservação e melhoria dos ecossistemas.

A aproximação entre a questão ambiental e a economia obteve maior reconhecimento a partir da divulgação do documento “Os limites do crescimento” em 1972, pelo Clube de Roma. Neste documento foi abordada a provável insustentabilidade ecológica frente ao aumento da população e do consumo. Por meio desse reconhecimento surgiram os termos “economia ambiental”, “economia verde” e “economia ecológica”, que visam estudar o ambiente ecológico dentro do contexto econômico (OLIVEIRA et al., 2020).

Diante do contexto histórico, foi somente em janeiro de 2021 que o conceito de PSA foi oficialmente definido, por meio da publicação da Lei nº 14.119/2021, que instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA) e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA) (BRASIL, 2021). O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é definido como um instrumento econômico baseado no princípio do "protetor-recebedor", que busca recompensar e incentivar aqueles que fornecem serviços ambientais e promovem a conservação dos recursos naturais.

De acordo com a referida lei, os serviços ambientais são os benefícios econômicos, sociais e culturais proporcionados pelos ecossistemas, tais como a conservação da biodiversidade, a proteção dos recursos hídricos, a regulação climática, a polinização, a formação de solos, a produção de água, a proteção contra desastres naturais, entre outros (BRASIL, 2021). Esses serviços são essenciais para o bem-estar humano e para a manutenção da qualidade ambiental (NOGUEIRA JUNIOR et al., 2022; TÔSTO et al., 2012).

Já os serviços ecossistêmicos são definidos como os processos ecológicos e as funções desempenhadas pelos ecossistemas que sustentam a oferta dos serviços ambientais (BRASIL, 2021). Esses serviços são resultado das interações complexas entre os elementos bióticos (organismos vivos) e abióticos (componentes não vivos) de um ecossistema.

Segundo a lei, os serviços ecossistêmicos são classificados em quatro categorias principais:

- **Provisão:** são os serviços que fornecem bens tangíveis, como alimentos, água, madeira, fibras, energia e recursos genéticos.
- **Regulação:** são os serviços que controlam os processos ecológicos e garantem a estabilidade dos ecossistemas, como a regulação climática, a purificação do ar e da água, o controle de pragas e doenças, a polinização e a regulação do ciclo de nutrientes.
- **Cultural:** são os serviços relacionados à experiência e à valorização cultural dos ecossistemas, como atividades recreativas, turismo, lazer, inspiração artística e conhecimento tradicional.
- **Suporte:** são os serviços que permitem a existência e a manutenção dos demais serviços ecossistêmicos, como a formação de solos, a ciclagem de nutrientes, a produção primária e a disponibilidade de habitat para a fauna e flora.

A adoção do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como instrumento complementar aos tradicionais mecanismos de comando e controle tem como objetivo garantir a efetiva proteção do meio ambiente. Embora a Lei da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais seja recente, é importante destacar que a ideia de utilizar instrumentos econômicos para a conservação ambiental já era abordada em outras legislações brasileiras (FARIAS e REGIS, 2021).

Dentre programas de destaque já destacados neste documento, tal como o Programa Conservador das Águas e o Plano Conservador da Mantiqueira, existem outros como o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PRO-PSA), produto de iniciativa do Estado do Rio de Janeiro que busca recompensar e incentivar proprietários rurais que promovam a conservação, manutenção, ampliação ou restauração dos benefícios dos ecossistemas. Criado e regulamentado pelo Decreto Estadual nº 42.029/11, o PRO-PSA tem como base o princípio "protetor-recebedor" do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que busca melhorar a rentabilidade das atividades de proteção e uso sustentável de recursos naturais. O programa abrange diversas modalidades de serviços ambientais, como a conservação e recuperação da qualidade e disponibilidade das águas, da biodiversidade, das Florestas de Preservação Permanente (FMPs) e o sequestro de carbono por meio do reflorestamento de matas ciliares, nascentes e olhos d'água. O PRO-PSA é coordenado pelo Instituto Estadual do Ambiente (Inea) e está subordinado ao Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos (Prohidro). O programa prioriza áreas rurais e mananciais de abastecimento público, e tem demonstrado avanços significativos ao longo dos anos, com o aumento de

projetos de PSA, expansão da área contemplada por ações de restauração e conservação florestal, e o aumento do número de pessoas beneficiadas (BRASIL, 2011).

A Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), prevista no artigo 9º da Lei nº 6.938/1981, e outros dispositivos legais já mencionavam a utilização de instrumentos econômicos, como concessão florestal, servidão ambiental, seguro ambiental, entre outros (BRASIL, 1981). Além disso, o antigo Código Florestal Brasileiro, estabelecido pela Lei Federal nº 4.771/1965, já contemplava a possibilidade de compensação de áreas de Reserva Legal entre propriedades por meio de acordos financeiros entre os proprietários, conhecidos como Cotas de Reserva Florestal (CRFs) (BRASIL, 1965).

A nova Lei de Pagamento por Serviços Ambientais, ao instituir a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais, traz diretrizes mais abrangentes e específicas para a implementação do PSA em âmbito nacional. Essa legislação busca proporcionar uma maior uniformidade e segurança jurídica aos programas de PSA em todo o país, estabelecendo critérios transparentes para seleção, contratação e monitoramento de projetos, bem como promovendo a participação da sociedade civil e fortalecendo a governança ambiental (MENEZES GOMES, 2021; LIMA; MARTINS, 2022).

Portanto, a instituição do PSA, embora represente uma novidade em termos de legislação específica, está alinhada com a evolução do arcabouço legal ambiental brasileiro, que já contemplava a utilização de instrumentos econômicos como forma de incentivar a conservação dos recursos naturais e a promoção da sustentabilidade (CARNEIRO; SOUZA, 2020). A criação da PNPSA reforça a importância do reconhecimento e valorização dos serviços ambientais prestados pelos ecossistemas, visando à conservação da biodiversidade, à melhoria da qualidade de vida das comunidades e ao alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável.

No contexto do PSA, existem diferentes modalidades e tipos de programas que visam reconhecer e recompensar os provedores de serviços ambientais. Esses programas são motivados por diversas razões e podem adotar diferentes formas de pagamento ou incentivo (CASTRO; YOUNG, 2017; COELHO et al., 2021).

Uma dessas modalidades é a conservação e recuperação da qualidade e disponibilidade das águas. Nesse caso, o PSA busca recompensar aqueles que adotam práticas que contribuem para a proteção dos recursos hídricos, como a conservação de nascentes, matas ciliares e áreas de recarga de aquíferos (MAMEDES et al., 2023). Outra modalidade de PSA é a conservação e recuperação da biodiversidade, que tem como foco a valorização e incentivo à preservação da

diversidade biológica. Os provedores de serviços ambientais que promovem a conservação de habitats naturais, proteção de espécies ameaçadas, criação de corredores ecológicos ou restauração de ecossistemas degradados podem receber compensações financeiras ou outros incentivos (BASKENT et al., 2020).

A conservação e recuperação das florestas e demais formas de vegetação nativa (FMPs) também é uma modalidade de PSA. Essa abordagem concentra-se na valorização da conservação e recuperação das florestas e outros tipos de vegetação nativa, como cerrados, campos, manguezais e restingas. O objetivo é manter esses ecossistemas naturais e seus serviços ambientais, como a proteção do solo, a regulação do clima e a preservação da biodiversidade (SEOANE et al., 2010). Uma quarta modalidade de PSA está relacionada ao sequestro de carbono originado do reflorestamento de matas ciliares, nascentes e olhos d'água, com o propósito de minimizar os efeitos das mudanças climáticas globais. Nesse caso, o PSA busca incentivar o reflorestamento de áreas estratégicas, visando o sequestro de carbono e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Os provedores de serviços ambientais que adotam práticas de reflorestamento podem receber compensações financeiras ou outros incentivos relacionados à sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas globais (MACEDO; ANTONIAZZI, 2021; LEHTINIEMI et al., 2023).

Essas modalidades de PSA têm como objetivo principal estimular práticas e ações que contribuam para a conservação e a recuperação de recursos naturais e ecossistemas vitais para o bem-estar humano e a sustentabilidade ambiental. A implementação desses programas busca promover a conscientização, a valorização econômica e a participação ativa dos provedores de serviços ambientais na conservação da água, da biodiversidade, das florestas e no enfrentamento das mudanças climáticas (MONTERO-DE-OLIVEIRA; BLUNDO-CANTO; EZZINE-DE-BLAS, 2023).

Já na questão do pagamento, os programas de PSA podem englobar diferentes formas de compensação e incentivo aos provedores de serviços ambientais. Existem diversas opções disponíveis nos programas de PSA para recompensar aqueles que desempenham atividades de conservação e promovem a proteção dos serviços ecossistêmicos (WUNDER, 2007; COELHO et al., 2021; SOUZA, 2022).

Uma forma comum de pagamento é o repasse direto, que pode ocorrer por meio de transferências financeiras diretas aos provedores de serviços ambientais. Esses pagamentos podem ser realizados em dinheiro ou por meio de bens e serviços, como insumos agrícolas, equipamentos ou assistência técnica.

Outra modalidade de pagamento é a execução de melhorias sociais nas comunidades rurais e urbanas que se dedicam à conservação ambiental. Isso pode envolver a implementação de infraestrutura, acesso a serviços básicos, programas de educação ambiental, capacitação e iniciativas de desenvolvimento sustentável.

Além disso, o PSA pode incluir compensações vinculadas a certificados de redução de emissões. Nesse caso, os provedores de serviços ambientais podem receber pagamentos pela emissão e comercialização de certificados que representam a redução de gases de efeito estufa provenientes de atividades de conservação e reflorestamento.

O comodato também pode ser uma forma de pagamento por serviços ambientais, envolvendo o empréstimo de áreas para conservação ou reflorestamento. Os provedores de serviços ambientais disponibilizam essas áreas em comodato e recebem benefícios ou compensações em troca. Os títulos verdes são instrumentos financeiros utilizados para financiar projetos e atividades sustentáveis. No contexto do PSA, podem ser emitidos títulos verdes vinculados a projetos de conservação ambiental, permitindo que investidores adquiram esses títulos e direcionem recursos para os provedores de serviços ambientais (WUNDER, 2007; COELHO et al., 2021; SOUZA, 2022).

Uma alternativa é também o uso de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) como forma de pagamento. As CRA são unidades representativas de áreas preservadas ou em recuperação, que podem ser vendidas pelos provedores de serviços ambientais a terceiros que precisam compensar a supressão de vegetação em outras áreas (FERREIRA et al., 2021).

Além dessas modalidades de pagamento, os Comitês de Bacias Hidrográficas podem destinar as receitas provenientes da cobrança pelo uso dos recursos hídricos para financiar programas de PSA. Isso estabelece uma relação direta entre o pagamento realizado pelos usuários de água e a proteção dos serviços ecossistêmicos.

É importante ressaltar que a escolha da modalidade e forma de pagamento do PSA deve levar em consideração as características locais, os objetivos de conservação, as demandas da comunidade e a viabilidade econômica. Cada programa de PSA é único e deve ser adaptado às particularidades de cada contexto, garantindo a efetividade na conservação dos serviços ambientais. Ao abordar os tipos de PSA, suas motivações e formas de pagamento ou incentivo, é fundamental embasar-se em estudos científicos e referências confiáveis da literatura especializada. A compreensão aprofundada desses conceitos e a análise crítica das diferentes abordagens contribuem para embasar a formulação e implementação de programas eficazes de PSA, promovendo a conservação dos ecossistemas e o bem-estar humano de forma sustentável.

3.2 SIG no suporte as tomadas de decisões espaciais

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas tecnológicas utilizadas para coletar, gerenciar, analisar e visualizar dados geográficos. Eles integram informações geográficas, como mapas, imagens de satélite, dados de campo e informações tabulares, em um único sistema que permite a manipulação e análise desses dados de forma eficiente (GOODCHILD, 2006; CAVALLARI et al., 2007; MERRY et al., 2023).

Historicamente, o desenvolvimento dos SIG está ligado ao avanço da tecnologia da informação e dos sistemas de posicionamento global. Nas décadas de 1960 e 1970, houve um aumento no uso de computadores e avanços na cartografia digital, que possibilitaram a criação dos primeiros sistemas de informações geográficas (CHRISMAN, 2020). Ao longo dos anos, os SIG evoluíram com a melhoria da tecnologia de hardware e software, permitindo o processamento mais rápido e a análise complexa de dados geográficos (MERRY et al., 2023).

Na área ambiental, os SIG desempenham um papel fundamental na análise e gestão de recursos naturais e na tomada de decisões relacionadas ao meio ambiente. Eles possibilitam a integração de informações espaciais sobre a vegetação, a topografia, os corpos d'água, as áreas protegidas e outros elementos do ambiente natural, fornecendo uma visão abrangente e detalhada do cenário ambiental (MARQUES, 2015; SOKOLOSKI et al., 2019; FRANÇA et al., 2020; CARTOLANO et al., 2022).

Essas ferramentas também têm um potencial significativo de apoio à tomada de decisão em questões ambientais. Os SIG permitem a criação de modelos espaciais que simulam diferentes cenários e permitem a avaliação dos impactos de diferentes decisões (SERVIDONI et al., 2019; CHAN et al., 2022). Além disso, possuem uma capacidade significativa de avaliar os serviços ecossistêmicos e apoiar políticas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Essas ferramentas são essenciais para integrar informações geoespaciais detalhadas sobre os ecossistemas e os benefícios que eles fornecem à sociedade (IMPROTA et al., 2020).

Os SIG permitem a análise de dados geográficos relacionados aos serviços ecossistêmicos, como a regulação do ciclo da água, a polinização, o sequestro de carbono, a proteção contra erosão do solo e a provisão de habitat para a biodiversidade (OLIVEIRA et al., 2019; BARBOZA et al., 2022). Eles possibilitam a identificação e mapeamento das áreas que desempenham funções ecológicas importantes, bem como a avaliação da qualidade e da capacidade desses serviços.

Essas informações geoespaciais são essenciais para apoiar a implementação de políticas de PSA. Os SIG podem auxiliar na identificação das áreas prioritárias para conservação e

restauração, levando em consideração a distribuição dos serviços ecossistêmicos e sua importância para a sociedade (CARTOLANO et al., 2022). Além disso, os SIG podem ser usados para avaliar a efetividade dos programas de PSA, monitorando a entrega dos serviços ambientais e avaliando seu impacto nas áreas de interesse.

Além disso, os SIG podem ser utilizados para monitorar a implementação dos programas de PSA, rastreando as áreas de pagamento, as atividades realizadas e os resultados alcançados. Eles facilitam a coleta de dados geoespaciais em campo, permitindo a verificação e validação das ações realizadas pelos provedores de serviços ambientais. Essas informações são essenciais para garantir a transparência e a eficiência dos programas de PSA (PRADO et al., 2019).

Como mencionado anteriormente, os SIG desempenham um papel crucial na gestão dos recursos naturais e na tomada de decisões relacionadas ao PSA. Eles permitem a integração de diferentes conjuntos de dados, como mapas de cobertura vegetal, dados climáticos, informações sobre uso da terra e dados socioeconômicos. Essa integração possibilita a análise espacial e a modelagem de cenários, permitindo a identificação de áreas onde os programas de PSA podem trazer os maiores benefícios em termos de conservação e fornecimento de serviços ambientais.

Em suma, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) desempenham um papel fundamental na avaliação dos serviços ecossistêmicos e no suporte a políticas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Ao permitir a análise de dados geoespaciais e a integração de informações sobre os ecossistemas, os SIG fornecem uma base sólida para a identificação de áreas prioritárias, o monitoramento dos programas de PSA e a tomada de decisões informadas, promovendo a conservação dos recursos naturais e o uso sustentável do meio ambiente.

4 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos que nortearam o desenvolvimento da metodologia de análise dos potenciais serviços ecossistêmicos prestados pela propriedade rural, serão apresentados nas seções seguintes. O método foi desenvolvido e testado/aplicado, visando a definição de imóveis rurais prioritários para a aplicação de programas de PSA, por meio da análise dos serviços ecossistêmicos prestados em cada área rural.

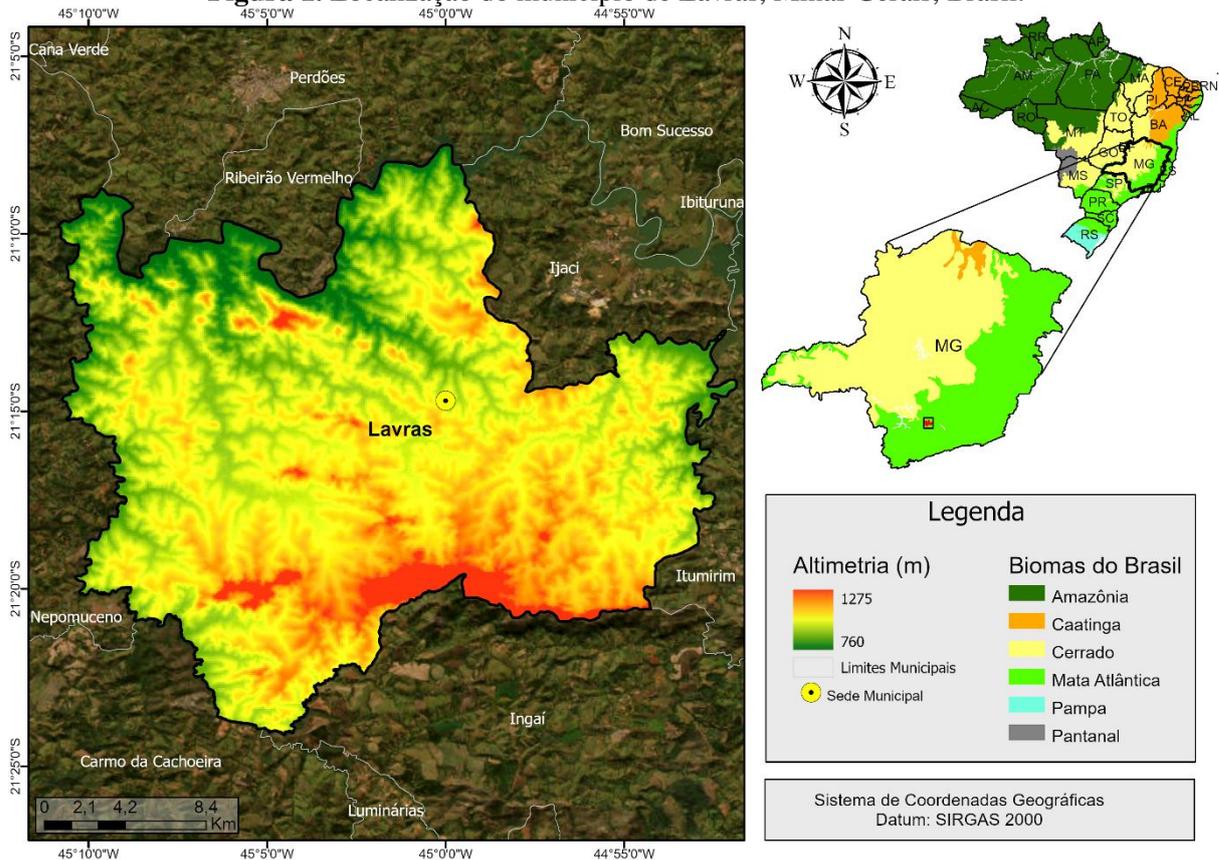
4.1 Área de estudo

A aplicação e validação da metodologia/modelo considerou o município de Lavras (Minas Gerais) como zona de experimentação, onde foram analisados os potenciais serviços ecossistêmicos prestado pelas áreas rurais do município, sob a perspectiva do PSA.

O primeiro passo para a aplicação da metodologia foi a definição da área de estudo, que pode compreender desde a escala de um determinado município, microrregião, bacia hidrográfica, ou até uma unidade federativa. Devido a sua capacidade de análise da propriedade rural, a metodologia poderá ser aplicada em diferentes níveis da paisagem, contanto que contemple mais de um imóvel rural, permitindo assim o teste da comparação das diferentes características de cada propriedade.

Para os fins de proposição e testagem inicial, considerou-se nesta etapa do estudo o nível municipal e a área escolhida para ser analisada corresponde ao município de Lavras, localizado na mesorregião geográfica do Campo das Vertentes, sul do estado de Minas Gerais, localizado entre as coordenadas 21° 14' 45" de latitude sul, 44° 59' 59" de longitude oeste e 918 metros de altitude média e localizado numa zona de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica (Figura 1). A área territorial do município é de aproximadamente 564,74 km² e a população estimada é de 104.761 pessoas (IBGE, 2022).

Figura 1. Localização do município de Lavras, Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Do autor (2022).

O clima do município segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), é do tipo Cwa (DANTAS et al., 2007), temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, a precipitação média anual é de 1.530 mm e a temperatura média anual é de 19,4 °C, tendo, no mês mais frio e no mês mais quente, temperaturas médias de 15,8°C e 22,1°C, respectivamente. A formação florestal característica da região é a Floresta Tropical Semidecídica Estacional Montana (CARVALHO; SCOLFORO, 2008), inserida na unidade geomorfológica do Planalto Atlântico, especificamente na Superfície do Alto Rio Grande (SILVA, 2018). O relevo predominante do município é o ondulado, com áreas entre 8 e 20% de declividade (SANTOS et al., 2005) e altitude média de aproximadamente 900 m. O município apresenta como classes de solo predominantes Latossolo Vermelho Amarelo (48,7%) e Argissolo Vermelho Amarelo (31,6%), além de fragmentos de Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho, Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico (FEAM, 2010). O município possui 9.574 hectares de áreas cultivadas ou destinadas à colheita, sendo 72,01% cultura do café e 20,08% do milho (IBGE, 2018), que se destacam como uma das principais atividades econômicas do seu território.

4.2 Fase I: Aquisição dos dados

Com o intuito de garantir a replicabilidade da metodologia em diferentes municípios de Minas Gerais ou mesmo em âmbito estadual, realizou-se uma ampla pesquisa visando obter dados públicos e oficiais que se enquadrassem no escopo do estudo. Parte-se da premissa do uso de dados acessíveis e preferencialmente gratuitos para que a metodologia para ser operacionalmente replicável em diferentes instâncias da sociedade. Portanto, foram selecionados apenas dados abrangentes em nível estadual, disponibilizados gratuitamente para *download*.

Embora fosse possível obter dados primários de maior qualidade e precisão, incluindo mapeamentos e vetorizações, optou-se por utilizar apenas dados secundários, a fim de facilitar o acesso e a replicação da metodologia. Os dados utilizados foram compilados e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Lista das camadas de dados geospaciais e suas respectivas fontes de aquisição.

Layers		Fonte de aquisição
01	Limite dos Imóveis Rurais	Cadastro Ambiental Rural (CAR) (https://www.car.gov.br/#/)
02	Uso e Cobertura da terra (Vegetação Nativa, Área Antropizada e Área Edificada)	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) (http://geo.fbds.org.br/MG/)
03	Uso e Cobertura da terra (Agricultura e Pastagem)	MapBiomias Coleção 7 (2021) (https://mapbiomas.org/)
04	Hidrografia	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) (http://geo.fbds.org.br/MG/)
05	Nascentes	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) (http://geo.fbds.org.br/MG/)
06	APPs	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) (http://geo.fbds.org.br/MG/)
07	Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade	Fundação Biodiversitas (https://biodiversitas.org.br/atlas-da-biodiversidade-de-minas-gerais/)
08	Carbono estocado na vegetação pretérita	Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - GEE (http://www.ccst.inpe.br/cn/)
09	Risco à Erosão	Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais (ZEE/MG) (http://www.feam.br/avaliacao-ambiental-e-gestao-do-territorio/zoneamento-ecologico-economico)
10	Unidades de Conservação	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio) (https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais)
11	Terras Indígenas	Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI) (https://www.gov.br/funai/pt-br)
12	Quilombolas	INCRA (https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py) (https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py)

13	Áreas de Influência de impacto no patrimônio Cultural	Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA) (http://www.iepha.mg.gov.br/)
14	Sítios Arqueológicos	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) (http://portal.iphan.gov.br/)

Fonte: Do autor (2023).

4.2.1 Cobertura e uso da terra

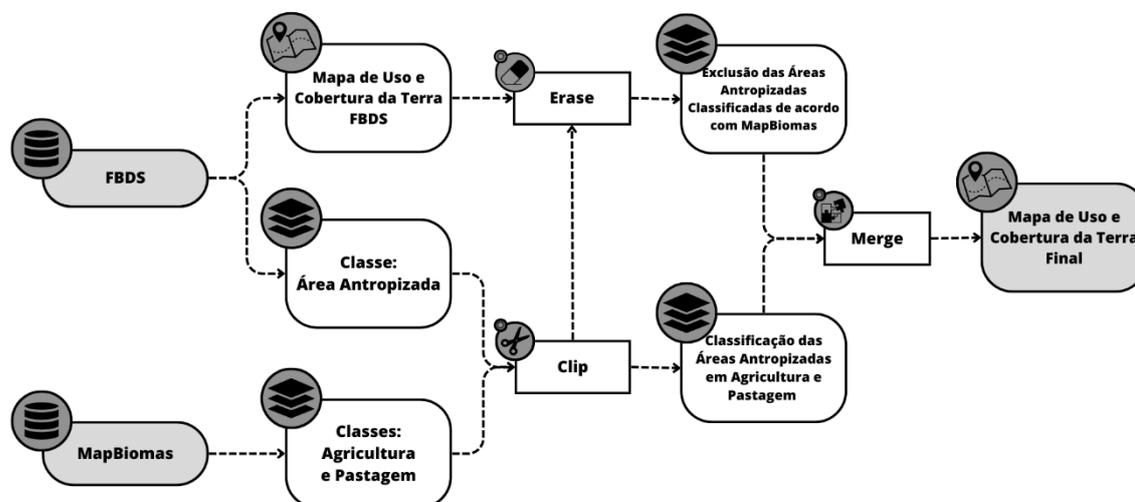
O mapa de uso e cobertura da terra empregado neste estudo foi gerado por meio do cruzamento entre o mapeamento produzido pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e as classes de agricultura e de pastagem do mapa de cobertura e uso da terra da Coleção 7, referente à 2021, do projeto MapBiomias.

O mapa do FBDS foi desenvolvido por meio de técnicas de classificação supervisionada e vetorização de imagens RapidEye, com resolução espacial de 5 metros, para o ano-base 2013. Durante a confecção do mapa, foram identificadas seis classes de uso e cobertura da terra: (I) Formação florestal, composta por vegetação arbórea nativa com dossel contínuo, (II) Formação não florestal, composta por vegetação arbustiva ou herbácea nativa, (III) Silvicultura, composta por cultivos de *Eucalyptus* sp. ou *Pinus* sp., (VI) Área antropizada, composta por áreas desprovidas de cobertura vegetal nativa, (V) Área edificada, formada pelos limites estabelecidos pela base cartográfica contínua do IBGE e (VI) Água, formada por espelhos d'água contínuos.

Por sua vez, o mapeamento do MapBiomias é produzido anualmente, por meio da classificação pixel a pixel de imagens Landsat, com resolução espacial de 30 metros. Esse processo se baseia em algoritmos de aprendizado de máquina, empregados na plataforma Google *Earth Engine*, que oferece capacidade de processamento em nuvem.

No caso da geração do mapa de uso e cobertura da terra do presente estudo, utilizou-se como base o mapa do FBDS, no qual a classe "Área Antropizada" foi cruzada e subdividida com as classes de "Agricultura" e "Pastagem" do MapBiomias, coleção 7 de 2021. Um maior detalhamento dos procedimentos metodológicos utilizados está demonstrado na Figura 2.

Figura 2. Procedimento metodológico implementado para compilação de diferentes bases de cobertura e uso da terra.



Fonte: Do autor (2023).

4.3 Fase II: Definição e classificação dos critérios e indicadores

Para o zoneamento e definição dos potenciais áreas de maior aptidão para implementação de programas de PSA, é necessário avaliar os serviços ecossistêmicos prestados em cada propriedade rural. Para isso, foi feita uma divisão em quatro modalidades desses serviços, assim como na legislação (BRASIL, 2021): (I) serviços de provisão; (II) de regulação; (III) de suporte; e (IV) culturais. Para cada uma das modalidades foi realizada uma subdivisão, em critérios mais específicos, que permitam avaliar a modalidade de serviço ecossistêmico de forma mais assertiva e completa, levando em consideração as informações disponíveis. Portanto, foram definidos e classificados indicadores que permitam a avaliação desses critérios e consequentemente a modalidade de serviço ecossistêmico. Sendo que, os critérios são características de interesse no contexto da análise da paisagem, que serviram como parâmetros na definição dos atributos de cada propriedade rural. O processo de definição dos critérios e indicadores foi realizado a partir de fundamentação teórica baseada em recomendações de outros estudos da literatura pertinente e com suporte de especialistas.

Após a definição dos indicadores, eles foram classificados em uma escala de 0 a 5, onde notas mais altas representam maiores serviços ecossistêmicos e nota 0 ausência deste tipo de

serviço, conforme observado na Tabela 2. Na Figura 3 são apresentados cada uma das modalidades de serviços ecossistêmicos, seus respectivos critérios e os indicadores que os compõem.

Tabela 2 Caracterização dos pesos aplicados a cada critério de valoração de serviços ecossistêmicos.

EscaLa de pesos dos indicadores	Descrição da característica de valoração
0	Ausência de serviço ecossistêmico
1	Pouco favorecimento na prestação de serviços ecossistêmicos.
2	Favorece levemente a prestação de serviços ecossistêmicos.
3	Favorece razoavelmente a prestação de serviços ecossistêmicos.
4	Favorece fortemente a prestação de serviços ecossistêmicos.
5	O mais elevado grau da prestação de serviços ecossistêmicos.

Fonte: Do autor (2023).

Figura 3. Ilustração esquemática dos quatro grupos de serviços ecossistêmicos.



Fonte: Do autor (2023).

4.3.1 Serviços Ecosistêmicos de Provisão

Os serviços ecosistêmicos de provisão, são aqueles relacionados ao fornecimento de bens ou produtos ambientais utilizados, visando o consumo ou a venda, como água, alimentos, madeira, extratos e outros (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003; BRASIL, 2021). Essa modalidade de serviços foi dividida em 2 critérios – (i) provisão de bens e produtos e; (ii) provisão hídrica – para melhor mensuração e ponderação dos indicadores

4.3.1.1 Provisão de Bens e Produtos

Os indicadores escolhidos para mensuração do serviço ecosistêmico de provisão de bens e produtos foi a avaliação das áreas produtivas do imóvel rural (silvicultura, agricultura e pastagem) e a ponderação dos indicadores foi feita levando em consideração o consumo de água e nutrientes e o impacto que as culturas produtivas realizam nos ecossistemas. Assim, os pesos foram dados em relação à predominância do uso da terra entre as três classes ou a ausência delas. Sendo que, a predominância de silvicultura recebeu nota cinco, agricultura nota quatro, pastagem nota três e a ausência dessas três classes no imóvel foi concebida nota zero. A classificação completa se encontra na Tabela 3.

4.3.1.2 Provisão Hídrica

Para a classificação e mensuração dos serviços ecosistêmicos de provisão hídrica, foi levado em consideração o fornecimento direto de água, por meio da presença de nascentes e cursos d'água e fornecimento indireto, nas áreas de recargas, avaliando o uso e cobertura da terra e classificando-os em relação ao consumo e ao potencial de infiltração de água no solo. Imóveis rurais com nascentes e com trechos de hidrografia em seu interior, foram contemplados com as maiores notas (4 e 5), já os demais, foram classificados de acordo com o seu uso e cobertura da terra predominante, recebendo maiores notas os que possuem predominância de classes que permitam uma maior infiltração e recarga de água no solo. A classificação completa se encontra na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação e mensuração dos serviços ecossistêmicos de Provisão de Bens e Produtos e Hídrica.

Modalidade	Critérios	Indicadores	Coefficientes
Provisão	Bens e Produtos	Silvicultura	5
		Agricultura	4
		Pastagem	3
		Ausência	0
	Hídrica	Presença de Nascentes	5
		Presença de Hidrografia	4
		Predominância de Vegetação Nativa	3
		Predominância de Áreas Antropizadas, Agricultura, Pastagem e Silvicultura	2
		Predominância de Áreas Edificadas	0

Fonte: Do autor (2023).

4.3.2 Serviços Ecossistêmicos de Suporte

Os serviços de suporte consistem nos que mantêm a perpetuidade da vida na Terra, como a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético, a renovação, produção ou manutenção da fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, decomposição de resíduos, dispersão de sementes, controle de populações e de potenciais pragas ou potenciais doenças humanas (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003; BRASIL, 2021). Essa modalidade foi dividida em três critérios – (i) vegetação nativa, (ii) conectividade e; (iii) biodiversidade – para melhor mensuração e ponderação dos indicadores.

4.3.2.1 Vegetação Nativa

A manutenção dos remanescentes de vegetação nativa representa um elemento fundamental para a sobrevivência de toda a biodiversidade do planeta. Essas áreas são

responsáveis por múltiplos serviços ecossistêmicos, como polinização, controle de pragas, segurança hídrica, produção de chuvas e qualidade dos solos.

Para mensuração deste subgrupo, foi considerada a porcentagem de vegetação nativa contida no imóvel rural, considerando que quanto maior o remanescente de vegetação, maior o serviço ecossistêmico de suporte prestado. As áreas de vegetação nativa foram obtidas no mapa de uso e cobertura da terra e são compostas pela soma das classes “Formação Florestal” e “Formação não Florestal”. Foi considerado nota máxima (5), para as áreas com mais de 50% de vegetação nativa e nota zero para aquelas com ausência de vegetação nativa. A classificação completa se encontra na Tabela 4.

4.3.2.2 Corredores Ecológicos

Corredores ecológicos são porções de ecossistemas naturais que se conectam, permitindo o fluxo gênico e o movimento da biota entre eles, facilitando a dispersão de espécies, recolonização de áreas degradadas e mantendo populações que demandam grandes áreas para sua sobrevivência (MORANDI et al., 2020).

Para mensuração da conectividade florestal, foram selecionados os fragmentos de vegetação nativa com área superior ou igual a 1 hectare. Assim, foi considerado nota máxima (5), para aquelas propriedades que se encontram conectadas ou possuem a presença desses fragmentos e nota zero para o contrário.

4.3.2.3 Biodiversidade

Para a avaliação da propriedade rural em relação à biodiversidade, foi utilizado o mapeamento de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade, elaborado pela Fundação Biodiversitas, em conjunto com a comunidade científica e órgãos ambientais, fruto da segunda edição do estudo “Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação” (DRUMMOND et al., 2005). O mapa foi desenvolvido por meio da sobreposição de diversas camadas, classificadas em um contexto multidisciplinar. As classes “Extrema” e “Especial”, receberam nota máxima (cinco), seguidas da classe “Muito Alta”, nota quatro e “Alta”, nota três.

Tabela 4. Classificação e mensuração dos serviços ecossistêmicos de Suporte.

Modalidade	Crítérios	Indicadores	Coeficientes
Suporte	Vegetação Nativa	> 50%	5
		20 - 50%	4
		10 - 20%	3
		0 - 10%	2
		0%	0
	Corredores Ecológicos	Conectado	5
		Não Conectado	0
	Biodiversidade	Extrema / Especial	5
		Muito Alta	4
		Alta	3
		Ausente	0

Fonte: Do autor (2023).

4.3.3 Serviços Ecossistêmicos de Regulação

Serviços ecossistêmicos de regulação, são os relacionados à manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, ou seja, o controle dos processos erosivos, da purificação do ar, do sequestro de carbono, da diminuição de eventos extremos e do equilíbrio do ciclo hidrológico (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003; BRASIL, 2021). Para mensuração dessa modalidade, foram feitas subdivisões objetivando avaliar: (I) *Status* da Reserva Legal - RL, (II) *Status* da Área de Preservação Permanente - APP, (III) Estoque de Carbono e (VI) Risco à Erosão.

4.3.3.1 Status da RL

A avaliação do *status* das áreas de RL possuem grande importância na metodologia, pois, tais áreas garantem o uso econômico de maneira sustentável, sendo responsáveis por promoverem a biodiversidade, reabilitando e mantendo as interações do ecossistema, por permitirem abrigo e proteção da fauna silvestre da flora nativa (BRASIL, 2012). Imóveis que possuem excedente de vegetação nativa em relação ao mínimo exigido pelo Código Florestal ou apenas atendem a legislação, receberam as maiores notas, já os que estão com maiores passivos, foram classificados com as menores notas, como demonstrado na Tabela 5.

4.3.3.2 Status da APP

A condição das APPs é primordial para a avaliação dos serviços ecossistêmicos de regulação, afinal, por definição conservam os recursos hídricos, a paisagem e a estabilidade geológica, a partir da conservação do solo e, a biodiversidade, por proporcionarem o beneficiamento do fluxo gênico e o bem-estar das populações humanas. Dessa forma, para classificação, foram atribuídas notas mais altas para aqueles imóveis em conformidade com suas APPs, e quanto maior os passivos, menores as notas.

4.3.3.3 Estoque de Carbono

A mensuração do carbono estocado na propriedade rural pode ser tratada como um bom indicador de qualidade de serviços ecossistêmicos, como mecanismos de controle e mitigação na preservação e conservação. Para a classificação dos imóveis rurais, foi estimado o carbono estocado na vegetação nativa de cada imóvel e o resultado foi dividido pela área total da propriedade, com o objetivo de obter uma pontuação mais justa, que avalia a proporção de carbono estocada, ao invés de beneficiar apenas os grandes imóveis. Com um valor de carbono estocado por hectare, por propriedade, esses valores foram distribuídos em 5 classes iguais e atribuídas as notas de 1 a 5 e 0 para aqueles que possuem menos de 1 tonelada de carbono estocado por hectare (tC/ha).

4.3.3.4 Risco à Erosão

A avaliação deste subgrupo foi realizada de acordo com o mapa de risco à erosão no estado de Minas Gerais, que compõem o Zoneamento Ecológico-Econômico estadual, confeccionado a partir da reinterpretação dos mapas de declividade e erodibilidade, que

representam a suscetibilidade do solo à erosão. Sua classificação foi feita de acordo com as classes originais do mapa, considerando notas mais altas para as classes de maior risco.

Tabela 5. Classificação e mensuração dos serviços ecossistêmicos de Regulação.

Modalidade	Crítérios	Indicadores	Coefficientes
Regulação	<i>Status da APP</i>	80 - 100%	5
		60 - 80%	4
		40 - 60%	3
		20 - 40%	2
		0 - 20%	1
		0%	0
	<i>Status da RL</i>	> 150%	5
		100 - 150%	4
		50 - 100%	3
		25 - 50%	2
		1 - 25%	1
		< 1%	0
	<i>Estoque de Carbono</i>	74,3 - 92,8 (tC/ha)	5
		55,7 - 74,3 (tC/ha)	4
		37,1 - 55,7 (tC/ha)	3
18,6 - 37,1 (tC/ha)		2	
1 - 18,6 (tC/ha)		1	

		< 1 (tC/ha)	0
	Risco à Erosão	Muito Alto	5
		Alto	4
		Médio	3
		Baixo	2
		Muito Baixo	1

Fonte: Do autor (2023).

4.3.4 Serviços Ecosistêmicos culturais

Os serviços ecosistêmicos culturais constituem benefícios não materiais promovidos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas e do desenvolvimento intelectual, entre outros (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003; BRASIL, 2021). Para a qualificação desses serviços, foram feitas quatro subdivisões, avaliando-os em relação ao: (i) Tipo do CAR, (ii) Proximidade de áreas protegidas, (iii) Patrimônio cultural e (iv) Sítios arqueológicos.

4.3.4.1 Tipo do CAR

Uma das maneiras escolhidas para mensuração dos serviços ecosistêmicos culturais foi por meio da avaliação dos diferentes tipos de imóveis rurais cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR), sendo, Povos e Comunidades Tradicionais (PCT), Assentamentos (AST) e Imóveis Rurais (IRU). Assim, foi dada a maior nota para os PCT, seguido dos AST e depois IRU.

4.3.4.2 Proximidade de áreas protegidas

Para a avaliação deste critério foi considerada a intersecção ou a proximidade do imóvel rural de áreas protegidas. As camadas que compõem essas áreas são as Unidades de Conservação regularizadas e cadastradas na base do ICMbio, sejam de Proteção Integral (PI) ou Uso Sustentável (US), Terras Indígenas (TI), cadastradas na base da FUNAI e Áreas de Quilombolas obtidas na base do INCRA. Os imóveis que interseccionam ou estão mais

próximos das áreas protegidas receberam as maiores pontuações e aqueles que estão a uma distância superior a 3 km, nota zero.

4.3.4.3 Patrimônio Cultural

Para mensuração do Patrimônio Cultural, foi utilizada a camada do Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico (IEPHA - MG), referente aos bens culturais protegidos e de interesse de proteção. A camada é produto da união entre territórios ou de raios de influência de celebrações e formas de expressão, lugares, saberes e bens protegidos por tombamento ou de interesse de proteção. Como indicador de avaliação, foi dada nota máxima para os imóveis que interseccionam com a camada e nota zero para os demais.

4.3.4.4 Patrimônio Arqueológico

É possível entender como os seres humanos se adaptaram ao ambiente ao longo dos anos, bem como os conhecimentos e tecnologias que eles desenvolveram, a partir dos bens arqueológicos. Além disso, esses bens também nos ajudam a compreender os saberes tradicionais brasileiros. Locais onde se encontram evidências de ocupação humana, como cemitérios, sepulturas, aldeias, grutas, lapas, abrigos, inscrições rupestres, sulcos de polimento, sambaquis e outros vestígios de atividade humana são considerados sítios arqueológicos (SANTIAGO; SALADINO, 2016). Para que seja possível a mensuração do patrimônio arqueológico, foi utilizada a camada de Sítios Arqueológicos cadastrados no IPHAN.

Para a avaliação dos critérios, foi gerado um buffer de 1 km a partir dos pontos da camada do IPHAN, e os imóveis que interseccionam esse buffer receberam nota máxima, os demais nota zero.

Tabela 6. Classificação e mensuração dos serviços ecossistêmicos culturais.

Modalidade	Crítérios	Indicadores	Coefficientes
Cultural	Tipo de Imóvel (CAR)	PCT	5
		AST	4
		IRU	3
	Proximidade de	Intersecciona	5

	Áreas Protegidas	Próximo	4
		Distante	0
	Patrimônio Cultural	Intersecciona	5
		Não Intersecciona	0
	Patrimônio Arqueológicos	Intersecciona	5
		Não Intersecciona	0

Fonte: Do autor (2023).

4.4 Fase III: Índice de Importância Ecosistêmica - IIE

Após a obtenção das bases de dados a serem utilizadas na análise, da definição e classificação dos critérios e dos indicadores que irão mensurar o serviço ecossistêmico prestado no imóvel rural, um índice de importância ecossistêmica é proposto. As camadas de informações em formato *shapefile* (shp.) foram adicionadas à um Sistema de Informações Geográficas - SIG, e organizadas em estrutura de banco de dados relacional *geodatabase* (gdb.), para um melhor gerenciamento dos dados e otimização das etapas de processamento. Com os dados organizados por categorias, em seus respectivos *geodatabases*, iniciou-se o processo de correção e padronização das camadas, a fim de corrigir erros topológicos, geometrias inválidas, problemas de preenchimento, sobreposições e normalização do sistema de coordenadas.

Com os dados corrigidos e padronizados, foram realizadas diversas etapas de processamento, variando para cada uma das camadas e seu respectivo objetivo na metodologia, para que então, as informações sejam cruzadas com os limites dos imóveis rurais, a fim de qualificar ou quantificar a propriedade rural em relação a cada um dos indicadores, gerando uma camada de informação para cada um dos critérios avaliados. Ao final, foi realizado o agrupamento dessas informações, pelo código do CAR, em uma única camada, espacialmente contendo o limite dos imóveis rurais, e as colunas da tabela de atributos dessa camada contendo a qualificação e quantificação dos critérios e indicadores.

As notas atribuídas a cada um dos critérios, por meio da ponderação dos indicadores, serviram de base para a criação de 5 (cinco) índices, nomeadamente Índices de Importância Ecosistêmica (IIE), sendo um índice específico para cada uma das modalidades de serviços ecossistêmicos (IIE Provisão, IIE Suporte, IIE Regulação e IIE Cultural), e conseqüentemente

um IIE Final. Para obtenção dos IIEs específicos, foi feita a média ponderada das notas de cada um dos indicadores com o peso de importância dos critérios, divididos pelas quatro modalidades de serviços ecossistêmicos. As equações abaixo exemplificam algebricamente os cálculos dos índices. Os coeficientes p_n representam o peso de importância atribuído a cada um dos critérios (a somatória de p deve ser sempre igual a 20, para que a nota máxima de cada índice seja 100).

$$\text{IIE Provisão} = (\text{bens e produtos} * p_1) + (\text{hídrica} * p_2) \quad (\text{Eq. 01})$$

$$\text{IIE Suporte} = (\text{Vegetação Nat.} * p_1) + (\text{Corred. Eco.} * p_2) + (\text{Biodiversidade} * p_3) \quad (\text{Eq. 02})$$

$$\text{IIE Regulação} = (\text{Status APP} * p_1) + (\text{Status RL} * p_2) + (\text{Carbono} * p_3) + (\text{Erosão} * p_4) \quad (\text{Eq. 03})$$

$$\text{IIE Cultural} = (\text{Tipo do Imóvel} * p_1) + (\text{Áreas Prot.} * p_2) + (\text{Pat. Cultural} * p_2) + (\text{Sítios Arq.} * p_4) \quad (\text{Eq. 04})$$

O IIE Final é, portanto, o índice responsável por ranquear a propriedade rural e é calculado pela média ponderada entre os IIEs específicos. A equação abaixo exemplifica algebricamente o cálculo do IIE Final. A soma dos pesos p_n (p_1, p_2, p_3 e p_4) deve ser igual a 20.

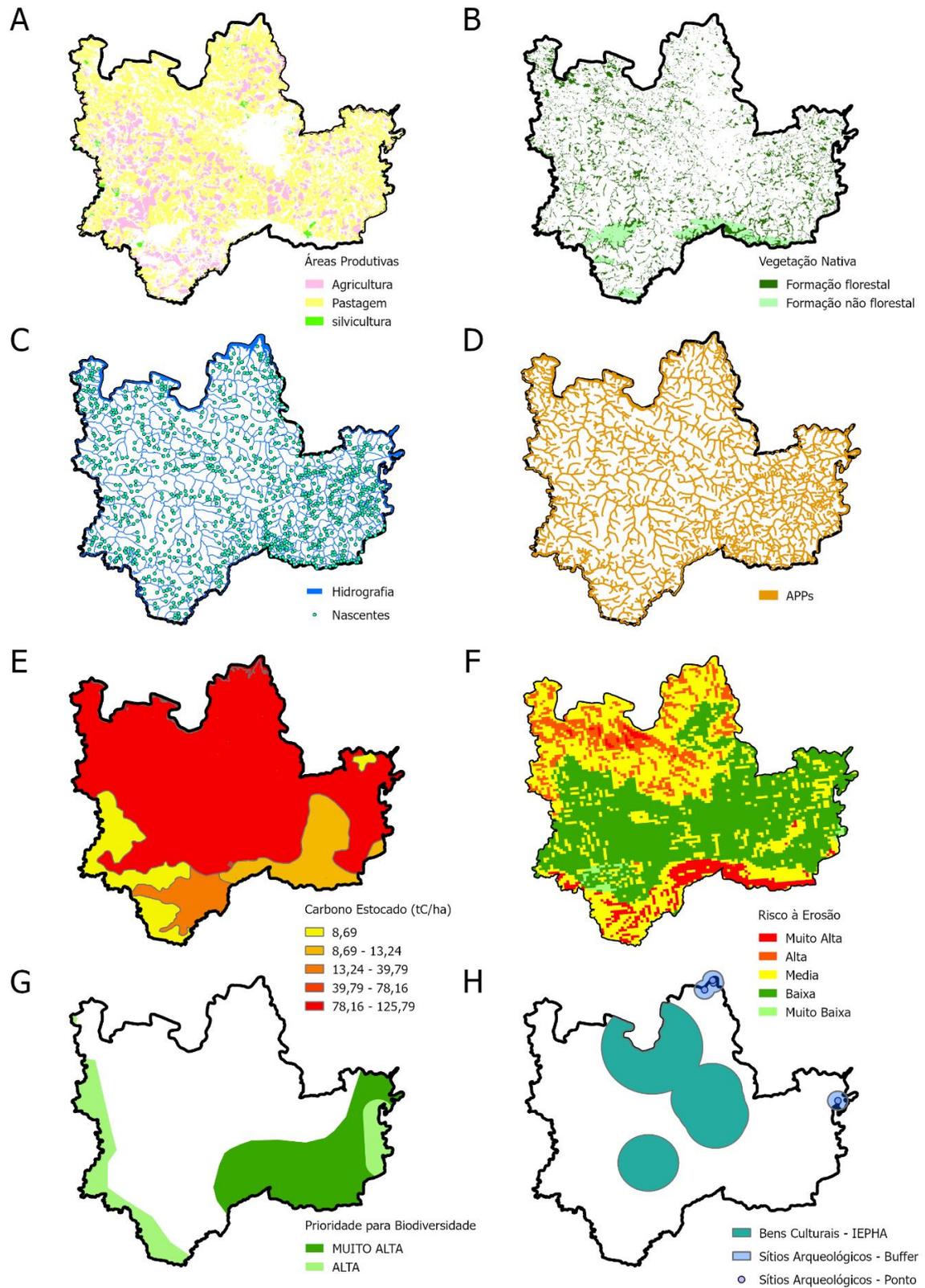
$$\text{IIE Final} = (\text{IIE Provisão} * p_1) + (\text{IIE Suporte} * p_2) + (\text{IIE Regulação} * p_3) + (\text{IIE Cultural} * p_4) \quad (\text{Eq.05})$$

Os pesos atribuídos aos critérios e às modalidades de serviços ecossistêmicos poderão ser alterados pelo usuário da metodologia, de acordo com o objetivo do programa de PSA e do propósito da análise. A tabela em anexo (ANEXO A), apresenta as colunas e a descrição das informações contidas na tabela de atributos do arquivo final. A camada possui 1.910 linhas, uma para cada imóvel rural cadastrado no CAR do município de Lavras (MG).

5 RESULTADOS

A partir do processamento das bases de dados alvo de interesse do estudo, consideradas para a construção da metodologia, são apresentados os resultados e constatações obtidas. Todos os dados foram extraídos utilizando como referência mínima o limite do município de Lavras - MG (IBGE, 2022) e os polígonos de todos os imóveis rurais oficialmente registrados no Cadastro Ambiental Rural - CAR (SICAR, 2022). Na Figura 4 são apresentados os resultados das *layers* ou planos de informações avaliados.

Figura 4. Planos de Informações Espaciais (*layers*) primários processados e avaliados para cada feição biogeofísica da paisagem considerada (Lavras – MG).

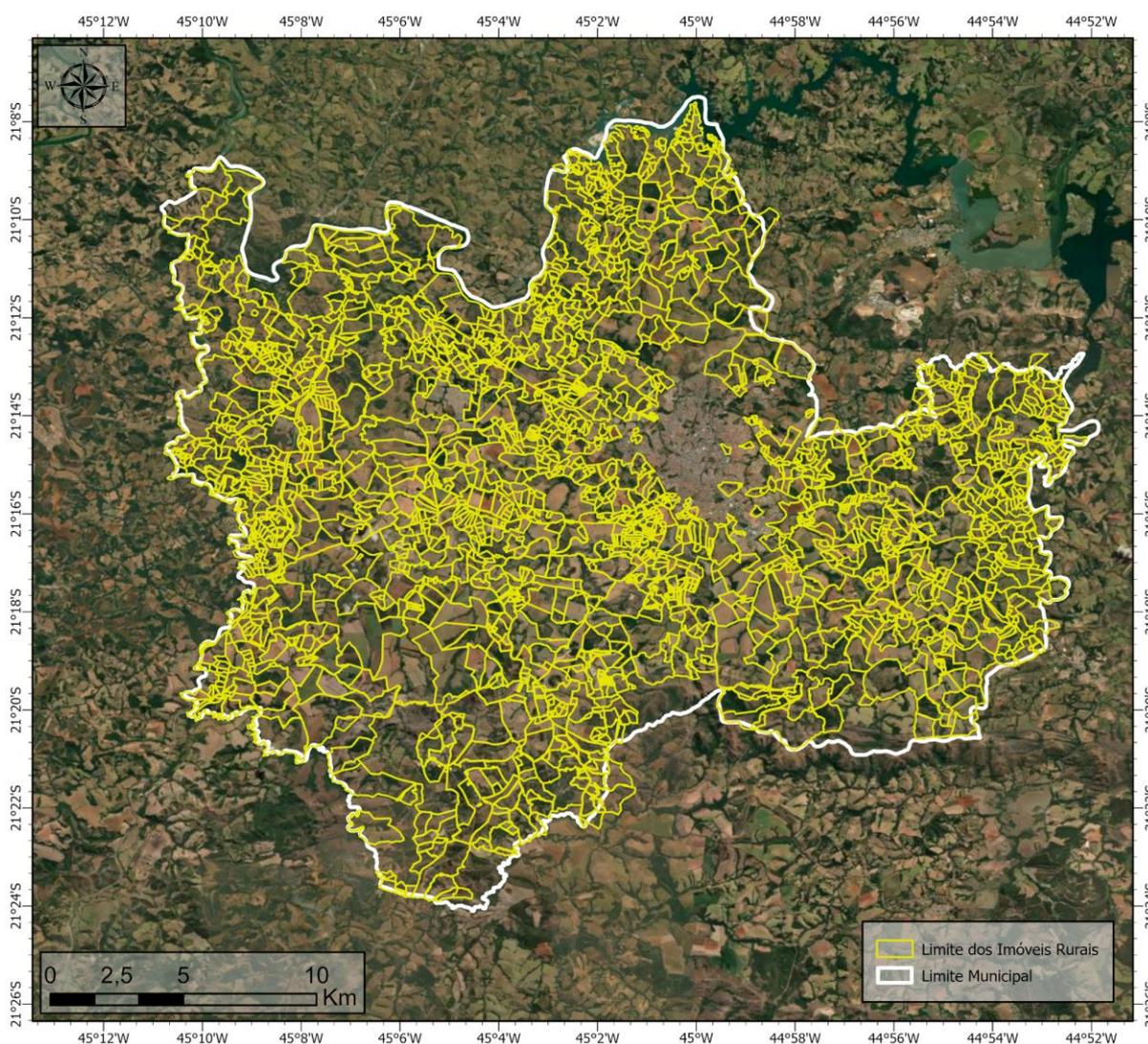


Fonte: Do autor (2023).

5.1 Limite e tamanho dos Imóveis Rurais

Para obtenção dos limites dos imóveis rurais do município de Lavras (MG), foi utilizado como referência aqueles cadastrados no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental (SICAR) em 2022. A partir da consulta foi levantado 1.910 imóveis cadastrados no sistema. Os limites dos imóveis estão representados na Figura 5. Alguns imóveis extrapolam o limite municipal estabelecido pelo IBGE, sendo, portanto, complementadas as informações com dados de outros municípios para que esses imóveis tivessem todas as informações e fossem avaliados de forma completa na análise.

Figura 5. Limites das áreas referentes aos imóveis rurais existentes no município de Lavras (MG).



Fonte: Do autor (2023).

A Tabela 7 apresenta a classificação dos imóveis rurais cadastrados de acordo com seu Módulo Fiscal - MF, o que para o município de Lavras-MG, representa 30 ha (INCRA, 2022).

O Módulo Fiscal - MF, representa um dos Índices Básicos Cadastrais do INCRA, utilizado para caracterização e classificação do imóvel rural em relação à sua dimensão e sua disposição regional. É uma unidade de medida agrícola utilizada no Brasil, definida pela Lei n° 6.746 de 1979, seu valor é expresso em hectares (ha) e varia para cada município, de acordo com o tipo de exploração e sua respectiva renda obtida nessas atividades e com o conceito de propriedade familiar (BRASIL, 1979).

Tabela 7. Classificação dos imóveis rurais do município de Lavras em relação ao tamanho de suas áreas.

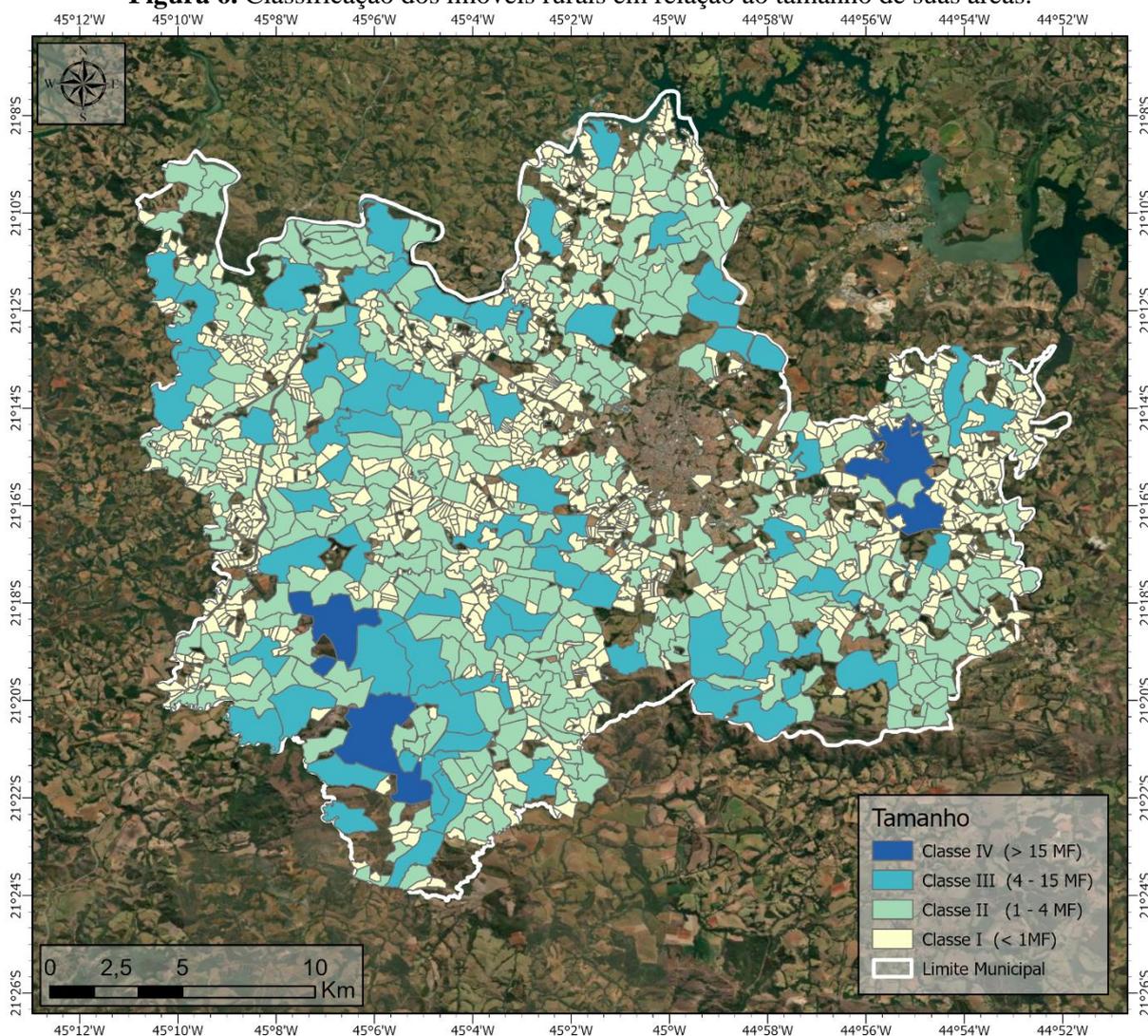
Classe	Módulos Fiscais (MF)	Áreas equivalentes (ha)	Quantidade de CARs	%
Classe I	< 1	< 30	1.478	77,4
Classe II	1 - 4	30 - 120	365	19,1
Classe III	4 - 15	120 - 450	64	3,4
Classe IV	> 15	> 450	3	0,2
TOTAL			1.910	---

Fonte: Do autor (2023).

De acordo com a classificação definida pela Lei n° 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, alterada pela Lei n° 13.465 de 2017, em relação ao tamanho da área, os imóveis rurais são divididos em: (I) Minifúndio - aqueles com área inferior à fração mínima de parcelamento; (II) Pequena Propriedade - com a área do imóvel entre a fração mínima de parcelamento e 4 módulos fiscais; (III) Média Propriedade - com área entre 4 e 15 módulos fiscais; e (IV) Grande Propriedade - com área superior a 15 módulos fiscais (BRASIL, 1993; BRASIL, 2017).

Na Figura 6 são apresentadas as classificações dos imóveis rurais do município de Lavras (MG) em relação ao tamanho das suas respectivas áreas e à quantidade de registros no CAR para o município de estudo.

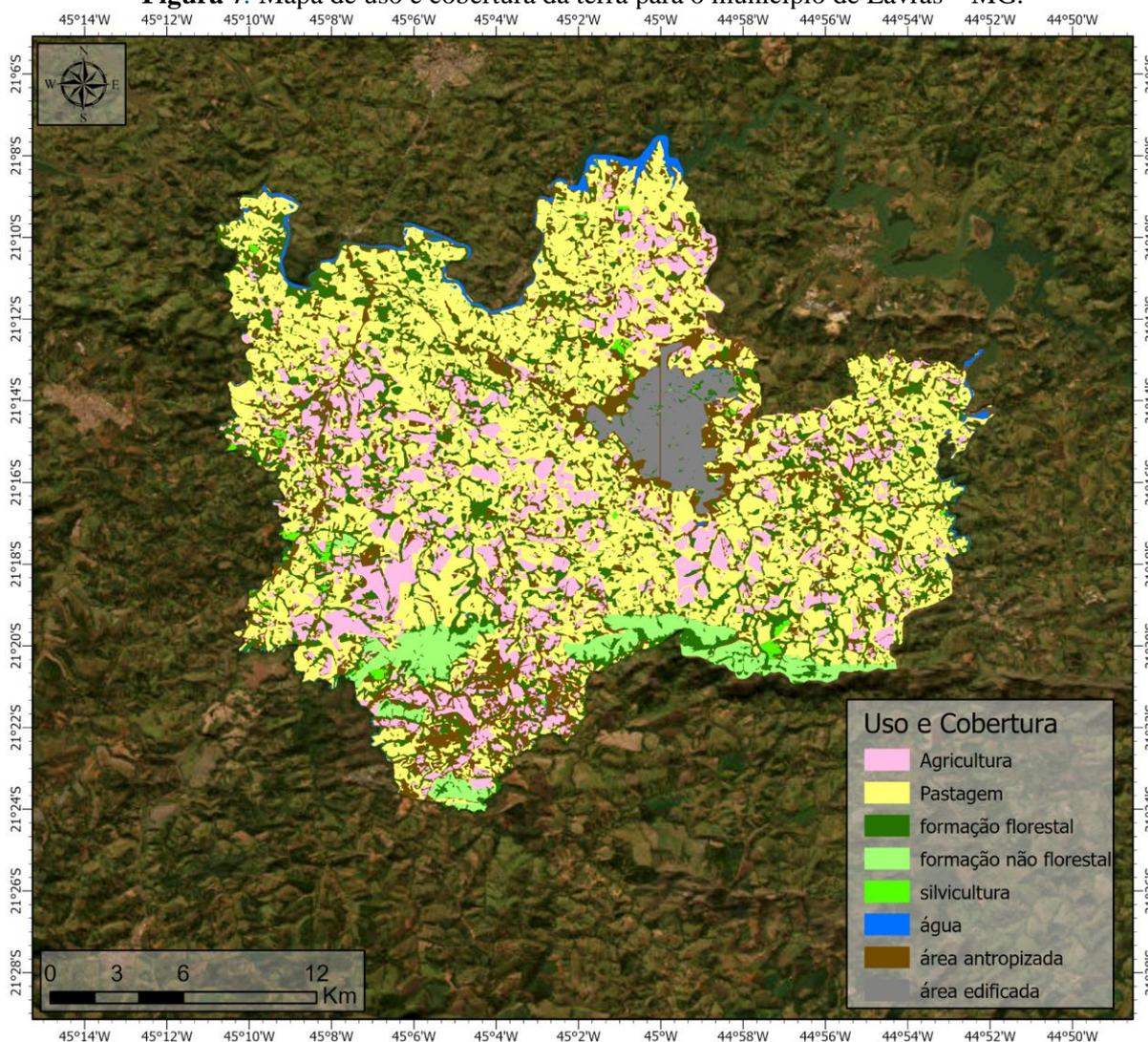
Figura 6. Classificação dos imóveis rurais em relação ao tamanho de suas áreas.



Fonte: Do autor (2023).

5.2 A cobertura e uso da terra em Lavras

De acordo com o mapa de uso e cobertura da terra, demonstrado na Figura 7, foram feitos os cálculos das áreas e de cada uma das classes de uso e cobertura e suas respectivas porcentagens, para os limites dos 1.910 imóveis cadastrados no CAR e, para o limite geográfico do município de Lavras (MG). Os resultados estão demonstrados na Tabela 8.

Figura 7. Mapa de uso e cobertura da terra para o município de Lavras – MG.

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 8. Classificação das classes de uso e cobertura da terra em relação aos limites dos imóveis rurais e ao limite municipal.

Classes	CARs	%	Lavras	%
Formação Florestal	6.828,15	15,0	8.593,97	15,2
Formação não Florestal	1.375,06	3,0	2.110,35	3,7
Pastagem	21.576,98	47,5	24.821,35	43,9
Agricultura	7.231,41	15,9	7.758,33	13,7
Silvicultura	206,86	0,5	339,11	0,6
Área Antropizada	8.006,49	17,6	10.361,48	18,3
Área Edificada	98,80	0,2	1.940,54	3,4
Água	88,45	0,2	624,92	1,1
TOTAL	45.412,20	100,0	56.550,05	100,0

Fonte: Do autor (2023).

5.3 Serviços Ecosistêmicos de Provisão

5.3.1 Provisão de Bens e Produtos

No processo de avaliação dos serviços ecosistêmicos de Provisão, mais especificamente ao critério de Provisão de Bens e Produtos, os imóveis rurais foram avaliados de acordo com a presença e a predominância de classes de uso e cobertura da terra com maior potencial produtivo, recebendo as maiores notas aqueles imóveis com a predominância da classe silvicultura, seguidos daqueles com agricultura e pastagem. Foram considerados imóveis com ausência de provisão de bens e produtos (nota 0), aqueles imóveis que não possuem nenhuma das três classes produtivas em seu interior.

O resultado da classificação e da ponderação dos imóveis rurais no critério Bens e Produtos, classificados de acordo com o tamanho do imóvel, estão demonstrados na Tabela 9.

Tabela 9. Classificação e ponderação do critério Provisão de Bens e Produtos.

Provisão de Bens e Produtos						
Notas	Indicadores	Classes MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
5	Silvicultura	14	2	-	-	16
4	Agricultura	161	95	16	2	274
3	Pastagem	1239	266	46	1	1552
0	Ausência	64	2	2	-	68
Total Geral		1478	365	64	3	1910

Fonte: Do autor (2023).

5.3.2 Hídrica

Na etapa de análise dos serviços ecosistêmicos de provisão, o critério Provisão Hídrica, serviu para avaliar o imóvel rural de acordo com a provisão direta ou indireta de recursos hídricos, por meio da presença de nascentes, trechos de hidrografia e por fim, classes de uso da terra que favoreçam mais a infiltração e manutenção dos lençóis freáticos.

A aplicação da metodologia permitiu a identificação de 464 imóveis rurais que possuem a presença de nascentes, sendo que cada um deles recebeu a pontuação máxima (5). É importante ressaltar que esses imóveis podem abrigar uma ou mais nascentes em seu interior, mantendo a mesma nota de avaliação. No contexto do município de Lavras, foram contabilizadas 974 nascentes, sendo que 814 delas estão localizadas dentro dos limites dos imóveis rurais analisados.

Já na avaliação da presença de trechos de hidrografia, foi obtido o resultado de que dos 1.910 imóveis rurais, 1.462 possuem algum tipo de intersecção ou possuem algum tipo de drenagem em seu interior, porém, aqueles que além da hidrografia possuem a presença de nascentes, foram mantidos com a pontuação máxima (5), os demais, que possuem apenas intersecção com trechos de hidrografia, totalizaram 998 CARs, receberam pontuação 4.

Neste contexto, também foi identificado que 448 imóveis rurais não possuem nem a presença de nascentes nem de trechos de hidrografia. Esses imóveis foram avaliados de acordo com o uso da terra predominante, dividido em três classes: (I) Vegetação Nativa (nota 3); (II) Silvicultura, Agricultura, Pastagem e Área Antropizada (nota 1); e (III) Área Edificada (nota 0). Essa divisão foi realizada levando em consideração o potencial de infiltração de água no solo de cada classe. O resultado da classificação e da ponderação do critério Provisão Hídrica está demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10. Classificação e ponderação do critério Provisão Hídrica.

Provisão Hídrica						
Notas	Indicadores	Classes MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
5	Nascentes	197	205	59	3	464
4	Hidrografia	839	154	5	-	998
3	Vegetação Nativa	18	1	-	-	19
1	Áreas produtivas e Antropizadas	422	5	-	-	427
0	Áreas Edificadas	2	-	-	-	2
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

Fonte: Do autor (2023).

5.3.3 IIE Provisão

Com cada um dos critérios e indicadores da modalidade de serviços ecossistêmicos de provisão classificados e com suas respectivas notas, tornou-se possível o cálculo do IIE Provisão, para cada um dos imóveis rurais, conforme formulado na Equação 6. Para este estudo de caso, foram considerados pesos iguais para os critérios, sendo peso 10 para provisão de bens e produtos e provisão hídrica.

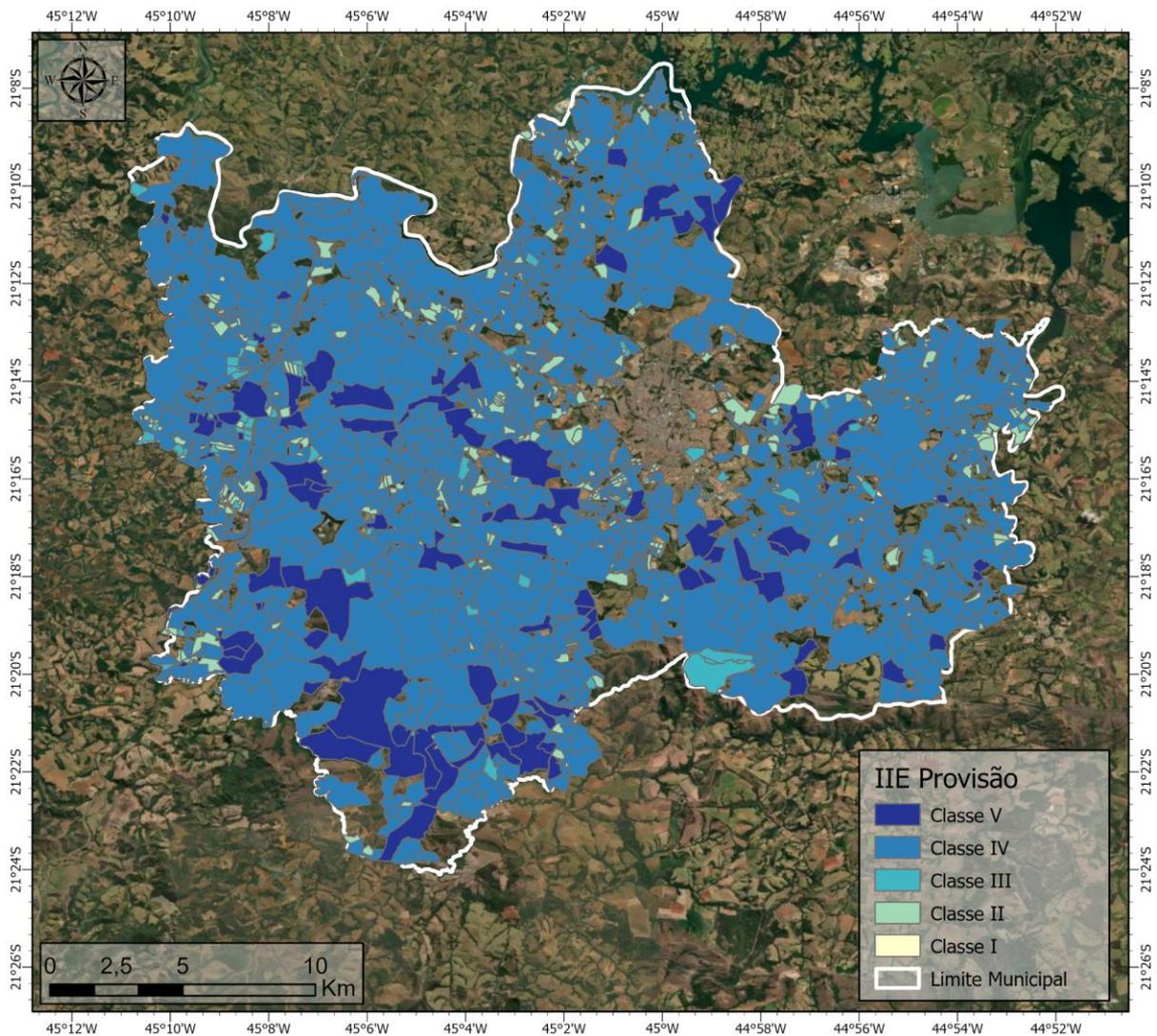
$$IIE \text{ Provisão} = (\text{bens e produtos} * 10) + (\text{hídrica} * 10). \quad (\text{Eq. 06})$$

Cada imóvel rural recebeu uma pontuação referente ao seu IIE Provisão, que pode ser avaliado de forma individual, servindo como indicador para o zoneamento dos CAR com maior

potencial para prestação de serviços ecossistêmicos de Provisão, mas também o IIE Provisão servirá de parâmetro para cálculo do IIE Final, que será o *score* final de cada imóvel.

De acordo com a pontuação do IIE Provisão, foi realizada uma classificação dos imóveis em cinco classes, definidas de acordo com a amplitude dos valores, resultando em cinco classes iguais (Figura 8). A Tabela 11 e o gráfico da Figura 9 demonstram o resultado da distribuição dos valores de IIE Provisão nas cinco classes definidas.

Figura 8. Classificação dos imóveis rurais em relação ao IIE Provisão.

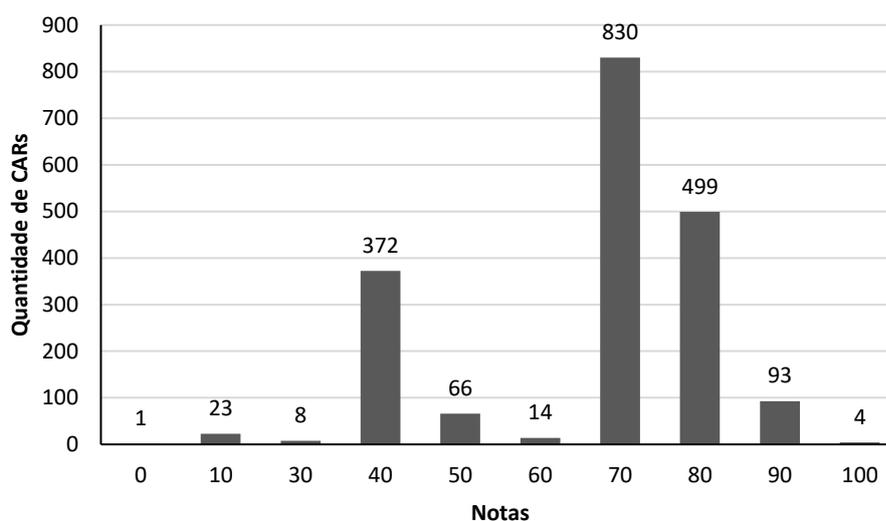


Fonte: Do autor (2023).

Tabela 11. Classificação do IIE Provisão.

IIE Provisão						
Classes	Amplitude	Classes MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
V	(80 - 100)	38	45	12	2	97
IV	(60 - 80)	965	313	50	1	1.329
III	(40 - 60)	75	3	2	-	80
II	(20 - 40)	377	3	-	-	380
I	(0 - 20)	23	1	-	-	24
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

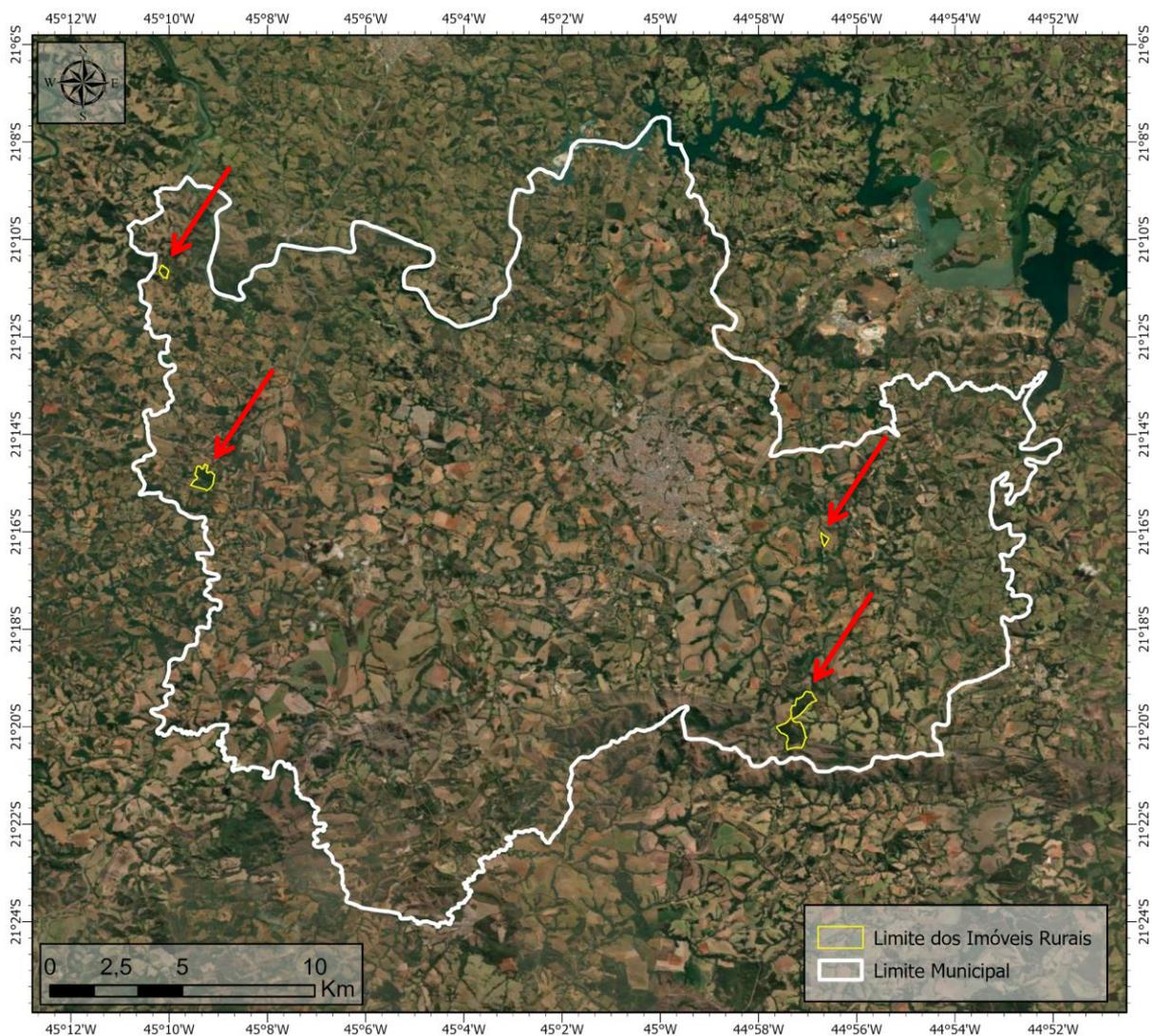
Fonte: Do autor (2023).

Figura 9. Distribuição dos valores de IIE Provisão.

Fonte: Do autor (2023).

Os imóveis com maior potencial para prestação de serviços ecossistêmicos de provisão, ou seja, maiores notas de IIE Provisão, de acordo com a metodologia proposta, são aqueles que possuem predominância da classe silvicultura em suas áreas produtivas e, além disso possuem nascentes em seu limite, totalizando um *score* 100 no IIE Provisão. Os imóveis que obtiveram pontuação máxima estão demonstrados na Figura 10 e na Tabela 12.

Figura 10. Mapa indicativo dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Provisão.



Fonte: Do autor (2023).

Tabela 12. Lista dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Provisão.

Código do CAR	Área (ha)	Silvicultura	nº de Nascentes	Bens e Produtos	Hídrica	IIE Provisão
MG-3138203-13B90CFE697E43CE89D58086914C8BA6	114,10	61,81	4	5	5	100
MG-3138203-EBFE891FA7C845198FD4909820E81C7B	10,03	1,7	1	5	5	100
MG-3138203-4C01D32EB76E44CAB7A8C86F1C0CB53C	6,37	3,10	1	5	5	100
MG-3138203-AE0B17FCD6864B68AC3EECE637E23E01	47,98	23,65	2	5	5	100

Fonte: Do autor (2023).

5.4 Serviços Ecológicos de Suporte

5.4.1 Vegetação Nativa

Para a mensuração e avaliação do critério Vegetação Nativa, foi levado em consideração a área de vegetação contida em cada imóvel rural. Nos 1.910 CARs avaliados, de acordo com o mapa de uso e cobertura utilizado, existem 6.828,15 ha de formações florestais e 1.375,06 ha de Formações naturais não florestais, totalizando 8.203,21 ha de vegetação nativa nos 45.412,20 ha, área referente à soma dos limites dos imóveis analisados, eliminando a área de sobreposição entre eles. Esse valor de vegetação nativa representa 18% da área total dos imóveis.

Como indicador do critério vegetação nativa, foi calculada a porcentagem de vegetação contida em cada imóvel rural, e esses valores obtidos, foram divididos em cinco classes: (I) > 50% (nota 5); (II) 20 - 50% (nota 4); (III) 10 - 20% (nota 3); (IV) 0 - 10% (nota 2); e (V) 0% (nota 0). Os resultados das notas dos imóveis divididos pelas classes de tamanho de área estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Classificação e ponderação do critério Vegetação Nativa.

Vegetação Nativa						
Notas	Indicadores	Classe MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
5	> 50%	60	12	4	1	77
4	20 - 50%	413	85	25	-	523
3	10 - 20%	373	140	15	1	529
2	0 - 10%	477	126	20	1	624
0	0%	155	2	-	-	157
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

Fonte: Do autor (2023).

5.4.2 Corredores Ecológicos

Na avaliação do critério Corredores Ecológicos, foram selecionados polígonos de vegetação nativa com área superior ou igual a 1 ha. Como resultado da seleção foram encontrados 1.166 fragmentos, que totalizam 9.932,4 ha em todo o município de Lavras, sendo que, o valor médio desses fragmentos é de 8,5 ha e o maior deles possui uma área de 1.889,7 ha. O mapa com a localização dos fragmentos está demonstrado na Figura 4B.

Como indicador desse critério, os imóveis rurais foram divididos em dois grupos, os que se conectam com esses fragmentos (nota 5), e os que não se conectam (nota 0). O resultado dos indicadores divididos pelas classes de módulos fiscais está representado na Tabela 14.

Tabela 14. Classificação e ponderação do critério Corredores Ecológicos.

Corredores Ecológicos						
Notas	Indicadores	Classe MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
5	Conectam	1150	352	64	3	1569
0	Não se conectam	328	13	-	-	341
Total Geral		1478	365	64	3	1910

Fonte: Do autor (2023).

5.4.3 Biodiversidade

Como resultado da avaliação do critério Biodiversidade, foi constatado que no município de Lavras existem apenas áreas com Alta e Muito Alta prioridade para conservação da biodiversidade, de acordo com o mapeamento elaborado pela Fundação Biodiversitas. O recorte do mapa com o limite do município de Lavras está apresentado na Figura 4G.

O resultado das notas atribuídas a cada um dos indicadores que avaliam o critério Biodiversidade e sua classificação de acordo com o tamanho do imóvel rural, é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15. Classificação e ponderação do critério Biodiversidade.

Biodiversidade						
Notas	Indicadores	Classe MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
4	Muito Alta	248	92	16	1	357
3	Alta	249	53	10	1	313
0	Ausência	981	220	38	1	1.240
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

Fonte: Do autor (2023).

5.4.4 IIE Suporte

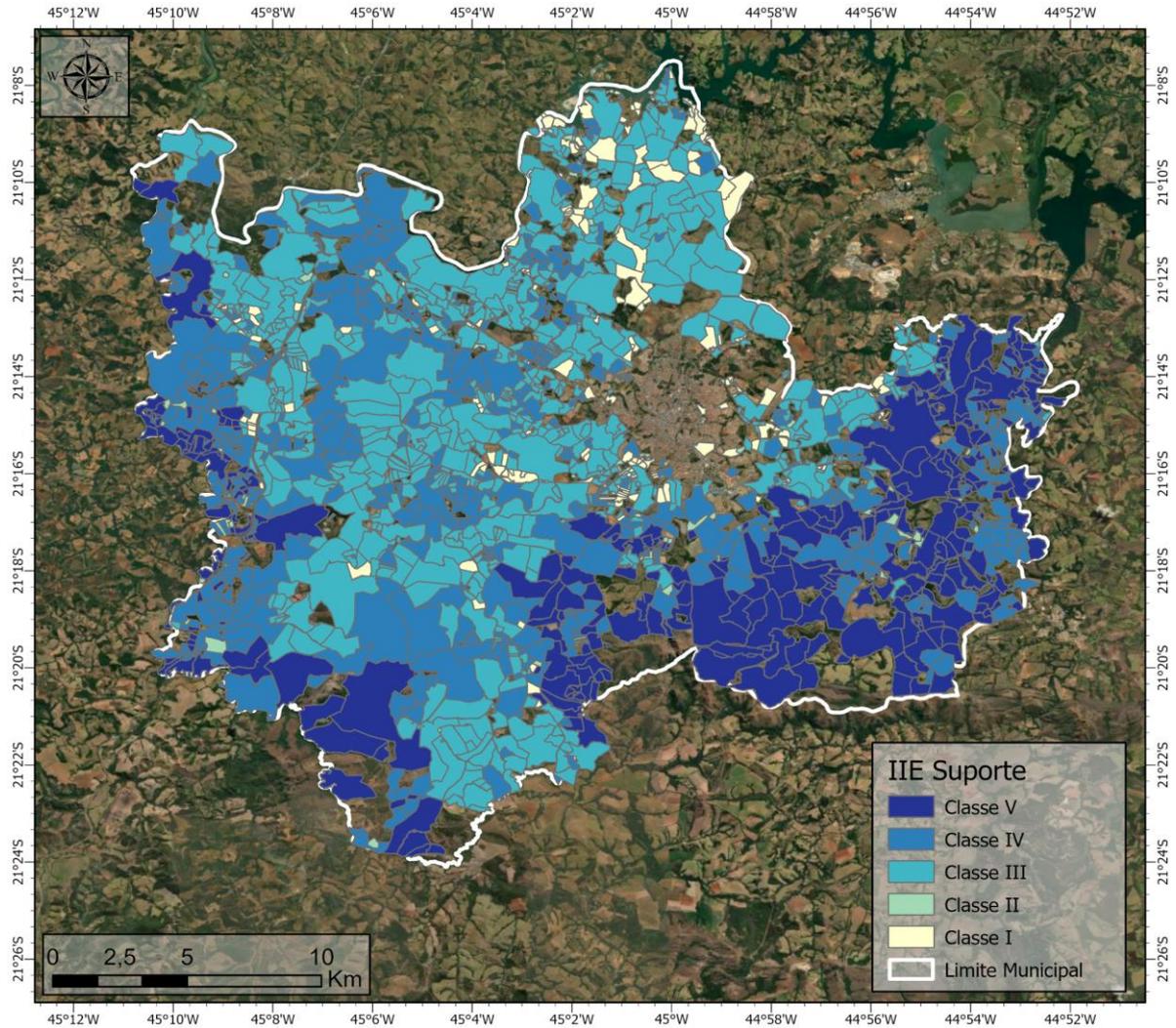
Para cálculo do IIE de Suporte foi formulada a Equação 7, considerando pesos iguais para os três critérios, assim, multiplicando cada um por 6,67, para que a amplitude do índice esteja entre 0 e 100.

$$IIE\ Suporte = (Vegetação\ Nat.* 6,67) + (Corred.\ Eco.* 6,67) + (Biodiversidade * 6,67) \quad (Eq. 07)$$

Com cada imóvel rural com seu respectivo IIE de Suporte, índice utilizado para zoneamento dos CARs com maior potencial para prestação de serviços ecossistêmicos de

suporte, foi feita uma análise da distribuição desses valores do IIE Suporte nas diferentes classes de módulos fiscais. Os resultados se encontram na Tabela 16 e no Figura 11.

Figura 11. Classificação dos imóveis rurais em relação ao IIE Suporte.

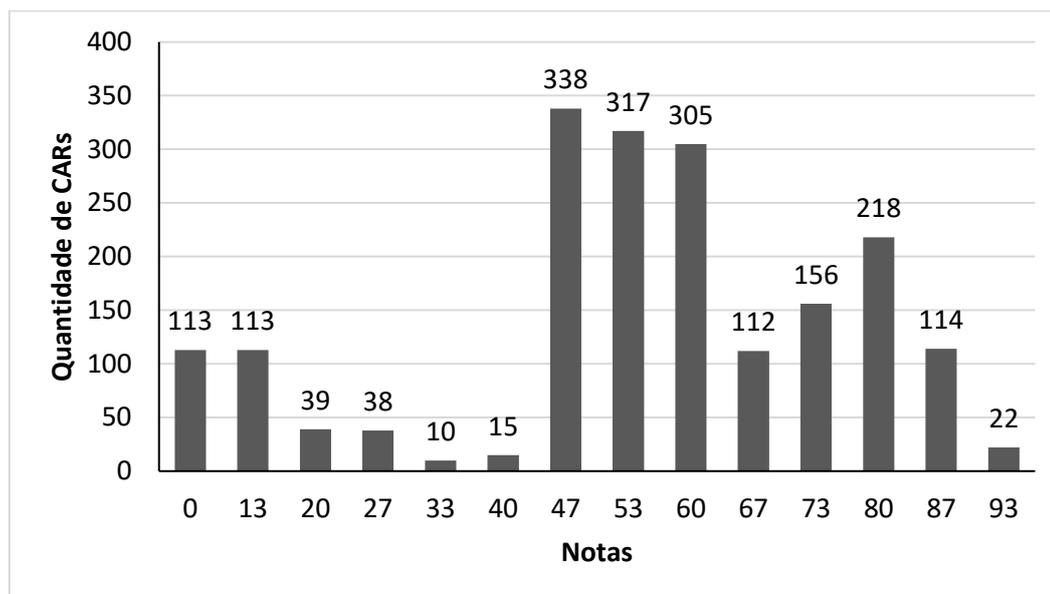


Fonte: Do autor (2023).

Tabela 16. Classificação do IIE Suporte.

IIE Suporte						
Classes	Amplitude	Classes MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
V	74,4 - 93	243	91	18	2	354
IV	55,8 - 74,4	451	100	22	-	573
III	37,2 - 55,8	483	162	24	1	670
II	18,6 - 37,2	86	1	-	-	87
I	0 - 18,6	215	11	-	-	226
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

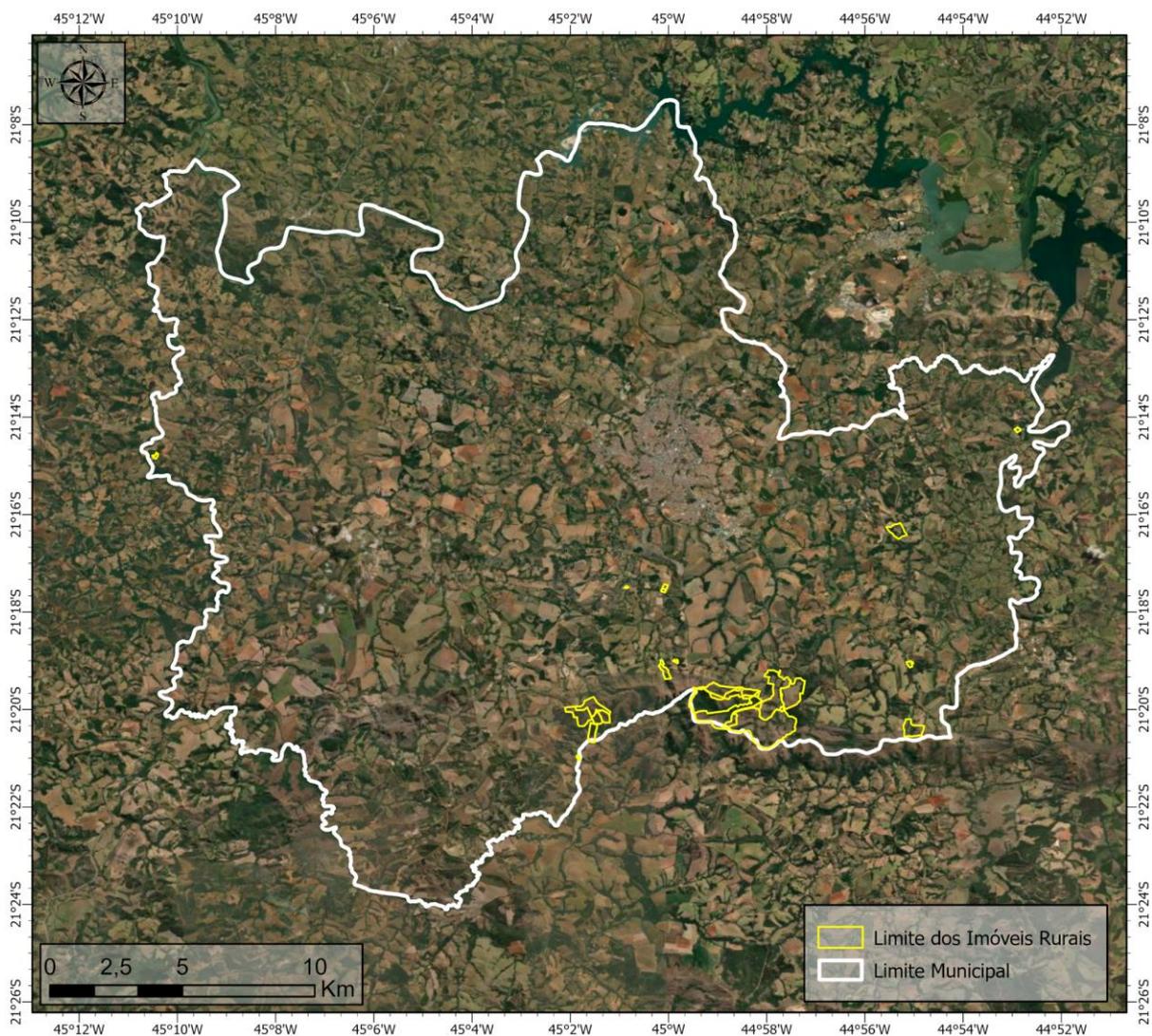
Fonte: Do autor (2023).

Figura 12. Distribuição dos valores do IIE Suporte.

Fonte: Do autor (2023).

A maior pontuação obtida no IIE Suporte (93), notadamente o maior potencial de prestação de serviços ecossistêmicos de suporte, foi obtida por 22 (vinte e dois) imóveis, que foram classificados da mesma maneira de acordo com a metodologia proposta. Esses imóveis obtiveram pontuação máxima (5), nos critérios ‘vegetação nativa’ e ‘corredores ecológicos’, ou seja, possuem mais de 50% de sua área coberta por vegetação nativa e estão conectados ou possuem a presença de fragmentos de vegetação com área superior a 1 ha em seu interior, contribuindo para a conectividade dos ecossistemas.

No critério biodiversidade, os imóveis obtiveram a pontuação máxima possível para o município de Lavras (4), estando em áreas de muito alta prioridade para a conservação da biodiversidade, isso se deu pelo fato de que nos limites do município não existem áreas classificadas como prioridade extrema ou especial, pelo estudo da Biodiversitas (DRUMMOND et al., 2005). A Tabela 17 detalha a área e porcentagem de vegetação nativa dos 22 imóveis e suas respectivas notas para cada um dos critérios que compõem o IIE Suporte.

Figura 13. Mapa indicativo dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Suporte.

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 17. Lista dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Suporte.

COD_IMOVEL	Área (ha)	Vegetação Nativa (ha)	Vegetação (%)	Critérios			IIE Suporte
				Vegetação Nativa	Corredores Ecológicos	Biodiversidade	
MG-3138203-BFFA443F404D4C21AAC673593B4B6216	35,33	35,05	99	5	5	4	93
MG-3138203-A3A88FB7786941269EE727E87AE57B63	35,04	34,41	98	5	5	4	93
MG-3138203-046B5B6D3B0D48CF98D8EEE54796CEB0	276,01	221,44	80	5	5	4	93
MG-3138203-C35EB959100440898D881C38FB1A9794	32,13	17,50	54	5	5	4	93
MG-3138203-411B2A40E53A4DCE9F1EF04E7F735FF4	22,89	13,95	61	5	5	4	93
MG-3138203-FD0F402B27E94CBFADC7265C68BCB44D	15,95	12,52	79	5	5	4	93
MG-3138203-45822B3C82D346FE85CDFD9B46B4136B	0,36	0,28	78	5	5	4	93
MG-3138203-8FF239034E744306B29950FFA1A5E31C	94,12	51,65	55	5	5	4	93
MG-3138203-D0A4B9500D7240CFA03A70C08549C9BB	3,39	1,81	53	5	5	4	93

MG-3138203-D7523BF97E27465A81B1470B81FA6CEB	0,66	0,41	62	5	5	4	93
MG-3138203-A951227A80394E999F52D2F90487A268	1,72	0,90	52	5	5	4	93
MG-3138203-F3F010B9E0814CB2A94B64C7BB83BDEC	1,25	0,71	57	5	5	4	93
MG-3138203-6D96F673FB8D419E9B06FDF26E01BE34	12,00	6,25	52	5	5	4	93
MG-3138203-DC9C2A8D81F441D38F7181E217FE5171	0,80	0,46	57	5	5	4	93
MG-3138203-72AAD89F87F541D08A439C02EC5A6575	120,57	120,57	100	5	5	4	93
MG-3138203-BAFC85B9998A42018958FFE01C5F1DBE	11,68	11,69	100	5	5	4	93
MG-3138203-AA210862B09B4C1AB29FFB74A428FCF6	207,59	201,99	97	5	5	4	93
MG-3138203-762D7D975ACA42F394B9D644BF9459B0	15,56	15,56	100	5	5	4	93
MG-3138203-242F260E97904AFC830145B1AC445C93	61,92	61,55	99	5	5	4	93
MG-3138203-3DBC080877E44859AC4092299CFEAB0	12,70	12,71	100	5	5	4	93
MG-3138203-74D36A7A75F34D2EA0ECCE1991C01139	0,56	0,56	100	5	5	4	93
MG-3138203-45836A609CC64FA8A883C56ED7B55899	1,67	1,67	100	5	5	4	93

Fonte: Do autor (2023).

5.5 Serviços Ecosistêmicos de Regulação

5.5.1 Status das APPs

Na avaliação do critério *Status* das Áreas de Preservação Permanente (APPs), foi identificado que existem 5.957,1 ha de áreas classificadas nesta categoria, dentro dos limites dos imóveis rurais e, que desse total, 2.616,3 ha (43,91%) estão cobertos por vegetação nativa e 3.340,9 ha (56,09%) estão sendo utilizados por outros usos alternativos à vegetação nativa.

O indicador utilizado para pontuar o critério *Status* das APPs foi a avaliação de cada imóvel em relação à porcentagem da área de APP coberta por vegetação nativa, atribuindo as notas de acordo com a respectiva porcentagem. O resultado das notas está apresentado na Tabela 18, classificado de acordo com as classes de tamanho do imóvel rural.

Tabela 18. Classificação e ponderação do critério *Status* das APPs.

Notas	Indicador	<i>Status</i> das APPs				Total Geral
		Classe MF				
		I	II	III	IV	
5	80 - 100%	204	28	5	1	238
4	60 - 80%	158	74	12	-	244
3	40 - 60%	226	106	22	1	355
2	20 - 40%	248	85	13	1	347
1	0 - 20%	245	62	12	-	319
0	0%	397	10	-	-	407
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

Fonte: Do autor (2023).

5.5.2 Status da RL

Na avaliação do critério *Status* de Reserva Legal (RL), concluiu-se que, considerando uma RL mínima exigida pelo código florestal de 20% para imóveis situados no domínio Mata Atlântica, os 1.910 CARs, totalizam uma RL de 9.704,1 ha, sendo que, desse total 600 imóveis rurais estão regulares ou possuem excedente, ou seja, possuem 20% ou mais de suas áreas cobertas por vegetação nativa, esses imóveis totalizam uma área de excedente de vegetação nativa de 2.505,2 ha. Já os 1.310 imóveis restantes, possuem algum tipo de déficit de vegetação nativa quando avaliado o mínimo de RL exigido pelo código florestal. O déficit dessas áreas soma 3.125,3 ha. Vale ressaltar que, os valores apresentados, referem-se a uma análise de cada imóvel, de forma individual, sem levar em consideração que existem sobreposições entre eles.

Tabela 19. Classificação e ponderação do critério *Status* da RL.

<i>Status da RL</i>						
Notas	Indicador	Classe MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
5	> 150%	240	35	11	1	287
4	100 - 150%	233	62	18	-	313
3	50 - 100%	373	140	15	1	529
2	25 - 50%	255	72	17	1	345
1	1 - 25%	205	53	3	-	261
0	< 1%	172	3	-	-	175
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

Fonte: Do autor (2023).

5.5.3 Estoque de Carbono

Na avaliação do critério Estoque de Carbono, foi mensurado o carbono estocado na biomassa viva da vegetação nativa dentro dos limites dos imóveis rurais. Foi estimado um total de 487.265,8 toneladas de carbono nos 8.203,21 ha de vegetação nativa. Análise realizada por imóvel, desconsiderando as áreas de vegetação nativa sobrepostas. Para composição dos indicadores, os valores de estoque de carbono (tC), na vegetação nativa, para cada imóvel, foram divididos pela área total do imóvel, obtendo assim um valor de carbono estocado no imóvel rural por hectare (tC/ha). A amplitude desses valores foi dividida em 5 classes iguais e uma sexta classe apenas com os imóveis que possuem menos de uma tonelada de carbono estocado por hectare. Essas seis classes serviram como indicadores para o critério Estoque de Carbono. As notas atribuídas aos imóveis estão apresentadas de forma agrupada na Tabela 20, divididos por tamanho do imóvel e pelas classes de indicadores.

Em anexo deste trabalho (ANEXO B), encontra-se a tabela com os 30 imóveis rurais do município de Lavras que apresentam o maior estoque de carbono (tC).

Tabela 20. Classificação e ponderação do critério Estoque de Carbono.

Estoque de Carbono						
Notas	Indicador (tC/ha)	Classe MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
5	74,3 - 92,8	10	-	-	-	10
4	55,7 - 74,3	15	-	-	-	15
3	37,1 - 55,7	66	7	-	-	73
2	18,6 - 37,1	277	53	13	-	343
1	1 - 18,6	845	282	50	3	1.180
0	<1	265	23	1	-	289
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

Fonte: Do autor (2023).

5.5.4 Risco à Erosão

Para avaliação do critério Risco à Erosão foram utilizados como indicadores as classes originais do mapa de risco à erosão do ZEE, representado na Figura 4F. O resultado da ponderação dos indicadores está representado na Tabela 21, as informações estão classificadas pelo tamanho dos imóveis rurais.

Tabela 21. Classificação e ponderação do critério Risco à Erosão.

Risco à Erosão						
Notas	Indicador	Classe MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
5	Muito Alto	36	18	5	-	59
4	Alto	167	30	5	-	202
3	Médio	517	113	18	-	648
2	Baixo	757	203	36	3	999
1	Muito Baixo	1	1	-	-	2
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

Fonte: Do autor (2023).

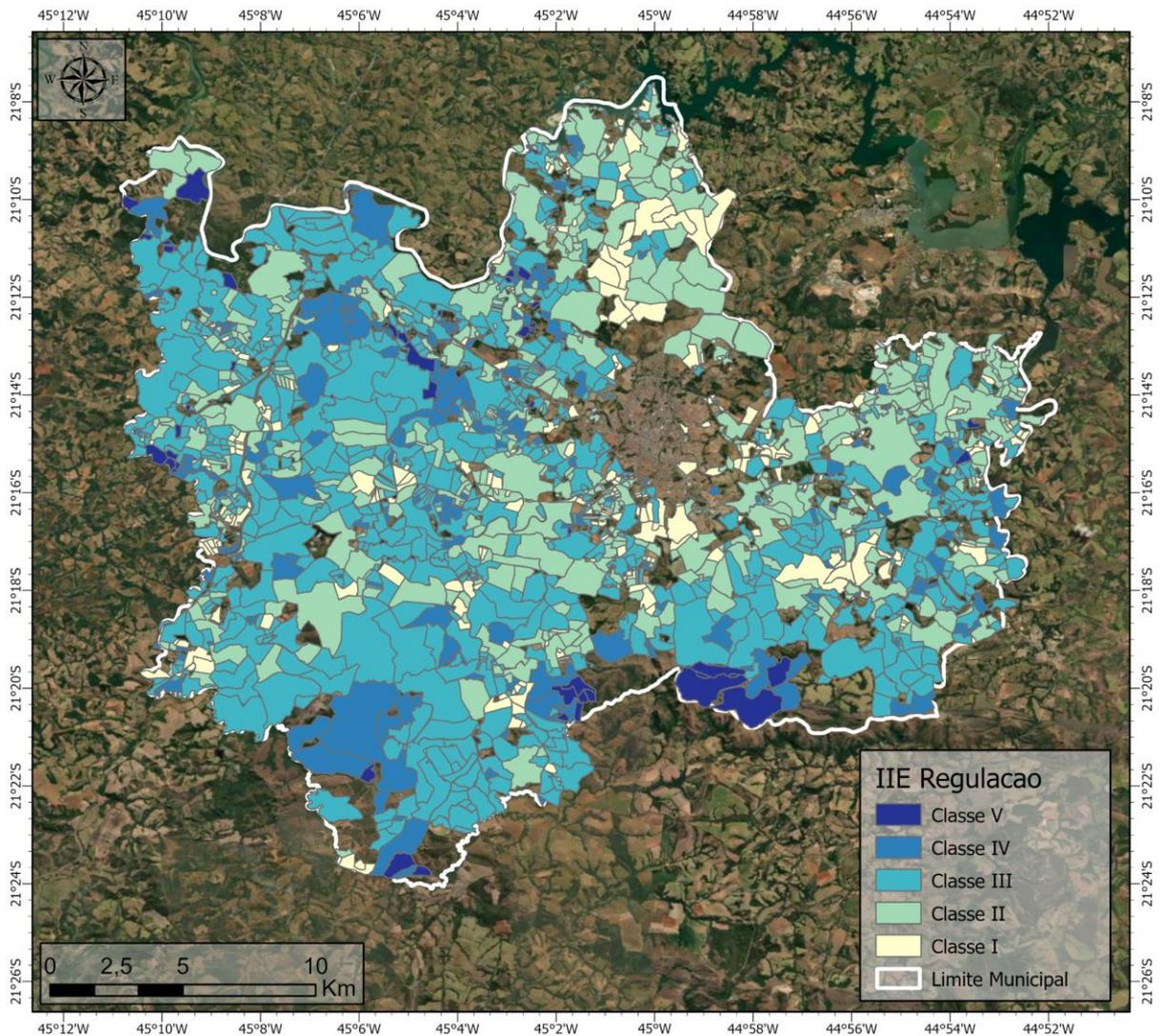
5.5.5 IIE Regulação

Para cálculo do IIE Regulação foi utilizada a Equação 8, que considerou peso 5 para os quatro critérios, ponderando os mesmos de forma igual e resultando em um valor máximo 100.

$$IIE \text{ Regulação} = (Status \text{ APP} * 5) + (Status \text{ RL} * 5) + (Carbono * 5) + (Erosão * 5) \quad (Eq.8)$$

As notas atribuídas a cada um dos imóveis em relação ao seu IIE Regulação, servem para zonear e identificar aqueles que possuem um maior potencial de prestação de serviços ecossistêmicos de Regulação. Os resultados da distribuição destes pesos nos imóveis rurais, classificados pelo tamanho dos CARs se encontram na Tabela 22 e na Figura 14.

Figura 1414. Classificação dos imóveis em relação ao IIE Regulação.

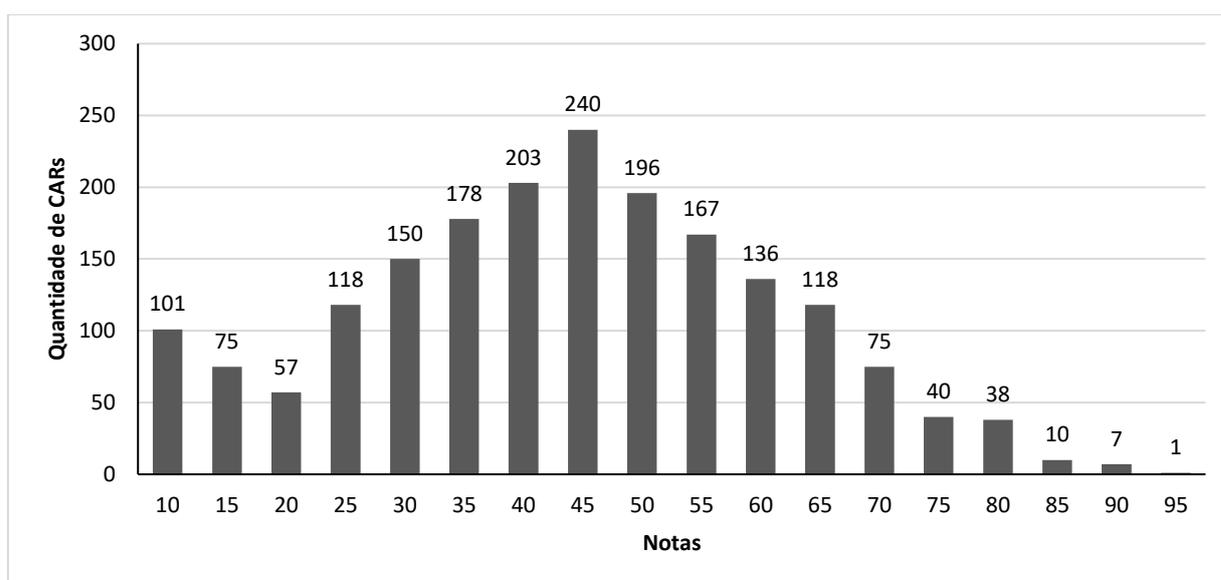


Fonte: Do autor (2023).

Tabela 22. Classificação do IIE Regulação.

IIE Regulação						
Classes	Amplitude	Classes MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
V	78 - 95	46	7	3	-	56
IV	61 - 78	193	33	6	1	233
III	44 - 61	511	197	31	-	739
II	27 - 44	408	99	22	2	531
I	0 - 27	320	29	2	-	351
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

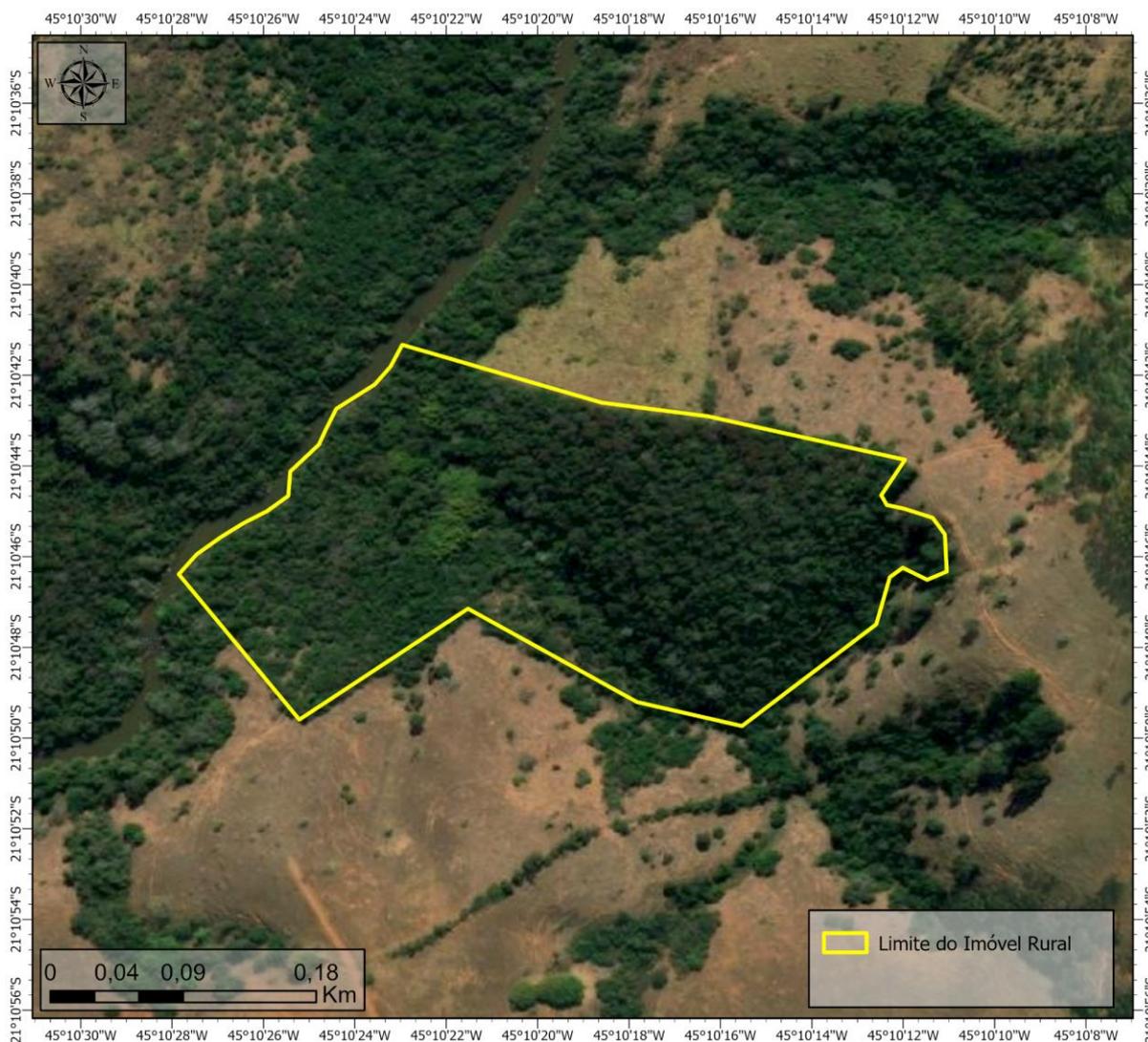
Fonte: Do autor (2023).

Figura 15. Distribuição dos valores do IIE Regulação.

Fonte: Do autor (2023).

O imóvel que obteve a maior pontuação no IIE Regulação, nomeadamente o maior potencial para prestação de serviços ecossistêmicos de suporte, está localizado próximo ao limite oeste superior do município, com seu centróide nas coordenadas 45° 10' 19'' W e S 21° 10' 45'' S (Figura 16).

Figura 16. Mapa indicativo do imóvel rural com a maior nota no IIE Regulação.



Fonte: Do autor (2023).

O imóvel com nota 95 no IIE Regulação, possui uma área total de 7,5 ha, com 98,81 % de suas APPs cobertas por vegetação nativa e 435,79 % de vegetação em relação à área de RL mínima exigida pelo código florestal, totalizando 5,04 ha de excedente, logo pontuou 5 nos critérios *status* da APP e RL.

Outro critério em que o referido imóvel obteve nota máxima foi no carbono estocado, com 606,99 tC estocado na biomassa viva da vegetação nativa, resultando em uma média de 80,84 tC/ha. Por fim, o imóvel se encontra em uma área de alto risco à erosão, pontuando 4 nesse critério, o que justifica a pontuação obtida. As notas e um maior detalhamento dos imóveis com as maiores notas estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Lista dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Regulação.

COD_IMOVEL	Área (ha)	Vegetação Nativa (ha)	APP			RL		Critérios				IIE Regulação
			Total	Com Vegetação (ha)	Com Vegetação (%)	Mínimo Exigido (ha)	Excedente (ha)	APP	RL	Carbono	Erosão	
MG-3138203-5C8983948FD244ACA571E82BC146BA0B	7,51	6,54	1,16	1,15	99	1,50	5,04	5	5	5	4	95
MG-3138203-68748904EBB34C1C805059745D8C8526	10,50	10,10	2,11	2,11	100	2,10	8,00	5	5	5	3	90
MG-3138203-413446C369E646649D23C82EFC361385	15,81	12,87	0,34	0,34	100	3,16	9,71	5	5	5	3	90
MG-3138203-0DFFD38C0DE54EADA7EA918F67CB189E	11,07	10,65	0,30	0,30	100	2,21	8,43	5	5	5	3	90
MG-3138203-20A089D258EE41COA3040A83B74EE94C	5,01	4,67	0,79	0,75	95	1,00	3,67	5	5	5	3	90
MG-3138203-AA26AF6D72574186AF8FEC48DC972DFA	1,25	0,87	0,31	0,28	90	0,25	0,62	5	5	4	4	90
MG-3138203-3D04C310161B41909FC4DC2679647034	20,11	12,14	1,89	1,71	91	4,02	8,12	5	5	4	4	90
MG-3138203-B7548162D0E94F2D8321B327847B965E	3,20	3,01	0,43	0,43	100	0,64	2,37	5	5	5	3	90

Fonte: Do autor (2023).

5.6 Serviços Ecológicos Culturais

5.6.1 Tipo do Imóvel

No processo de avaliação do critério Tipo do Imóvel, foi constatado que todos os 1.910 imóveis rurais cadastrados no CAR do município de Lavras são do tipo Imóveis Rurais - IRU, ou seja, receberam nota 3.

5.6.2 Áreas Protegidas

Na mensuração do critério Áreas Protegidas, foi avaliada a intersecção e a proximidade dos imóveis com essas áreas. Porém, o resultado foi de que não existem nenhum tipo de Unidade de Conservação, Terras Indígenas, Quilombolas ou Áreas de Amortecimento, regulamentadas, nas proximidades do município de Lavras. Dessa forma, todos os 1.910 imóveis rurais cadastrados no município receberam nota 0.

5.6.3 Patrimônio Cultural

No processo de avaliação do critério Patrimônio Cultural, foi utilizada a camada do IEPHA, que representa as áreas de influência no patrimônio cultural e considerado como indicadores a intersecção ou não dos imóveis nessas áreas de influência. As áreas de influência estão demonstradas na Figura 4H. O resultado dos pesos atribuídos aos indicadores divididos pelo número de imóveis e pelas classes de tamanho, estão demonstrados na Tabela 24.

Tabela 24. Classificação e ponderação do critério Patrimônio Cultural.

Patrimônio Cultural						
Notas	Indicadores	Classes MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
5	Intersecção	457	102	22	-	581
0	Não Intersecção	1.021	263	42	3	1.329
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

Fonte: Do autor (2023).

5.6.4 Sítios Arqueológicos

Para a avaliação do critério Sítios Arqueológicos, analisou-se os dados de sítios e bens arqueológicos cadastrados no IPHAN. Os indicadores desse critério foram definidos em relação à intersecção ou não dos imóveis rurais com o buffer de 1 km confeccionado a partir dos pontos da camada do IPHAN. O mapa com a localização dos bens arqueológicos do município de Lavras está apresentado na Figura 4H. O resultado da classificação dos indicadores em relação aos imóveis e suas respectivas classes de tamanho estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25. Classificação e ponderação do critério Sítios Arqueológicos.

Sítios Arqueológicos						
Notas	Indicadores	Classes MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
5	Intersecção	43	4	2	-	49
0	Não Intersecção	1.435	361	62	3	1.861
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

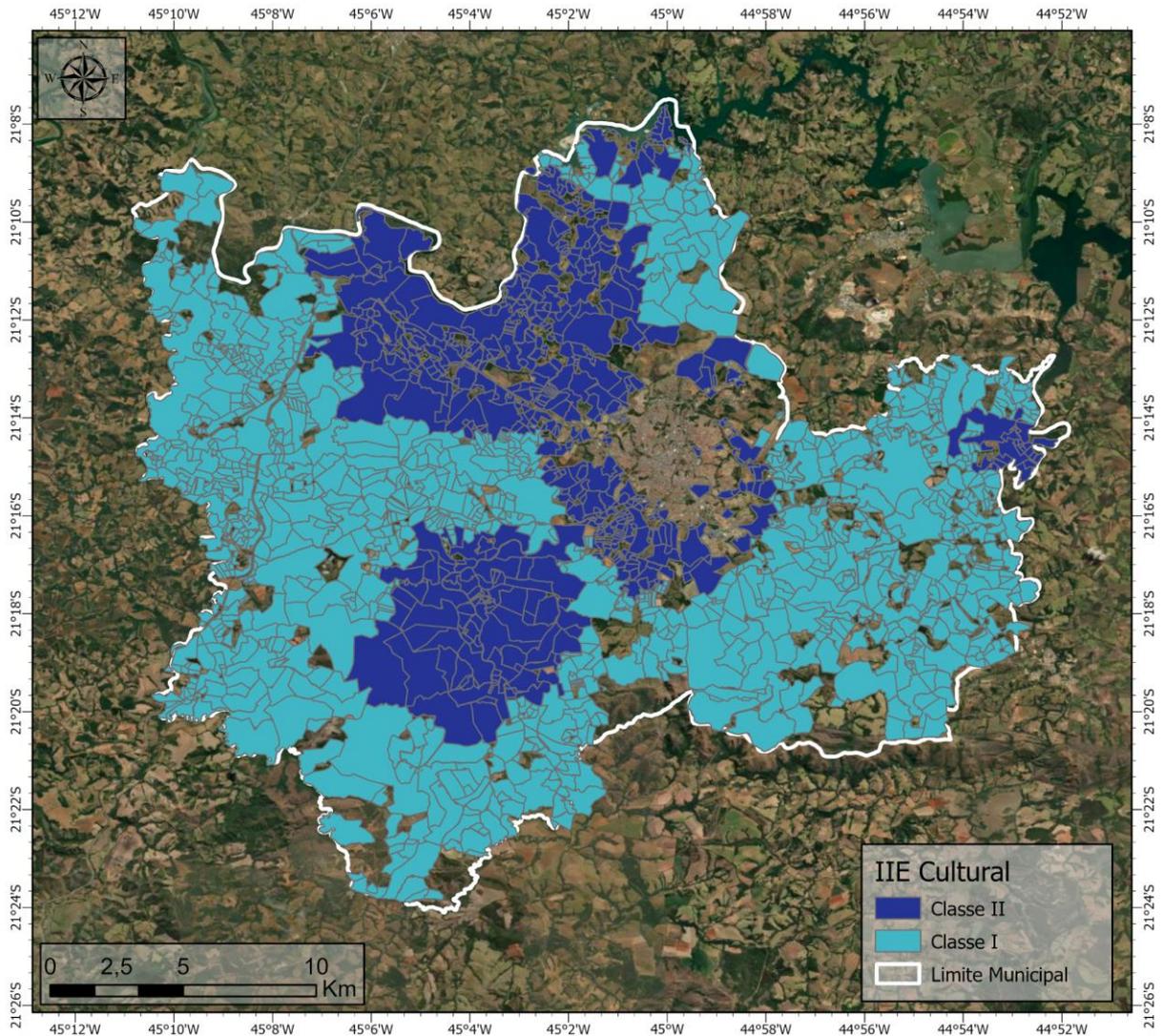
Fonte: Do autor (2023).

5.6.5 IIE Cultural

Para mensuração do IIE Cultural foi usada a Equação 9, com pesos iguais aos critérios. Os valores de IIE Cultural servem para zoneamento dos imóveis rurais com maior potencial para a prestação de serviços ecossistêmicos culturais. Sua distribuição e classificação de acordo com o tamanho dos imóveis está representada pela Tabela 26.

$$IIE\ Cultural = (Tipo\ do\ Imóvel * 5) + (Áreas\ Prot.* 5) + (Pat.\ Cultural * 5) + (Sítios\ Arq.* 5) \quad (Eq.9)$$

Figura 17. Classificação dos imóveis rurais em relação ao IIE Cultural.



Fonte: Do autor (2023).

Tabela 26. Classificação do IIE Cultural.

IIE Cultural						
Classes	Notas	Classes MF				Total Geral
		I	II	III	IV	
II	40	500	106	24	-	630
I	15	978	259	40	3	1280
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

Fonte: Do autor (2023).

Quando avaliadas as notas obtidas no IIE Cultural, é possível observar que foram atribuídos apenas dois tipos de notas, 15 e 40. Isso se deu pelo fato de que, todos os imóveis do município são do tipo IRU do critério tipo do imóvel, recebendo nota 3 e também todos receberam nota 0 no critério áreas protegidas. Assim, todos os 1.280 imóveis que receberam

nota 15, pontuaram apenas no critério tipo do imóvel. Já os demais 630, que obtiveram nota 40, além das pontuações descritas anteriormente, ou estão em áreas de influência do patrimônio cultural, ou em áreas próximas a sítios arqueológicos. A condição “ou” para os dois últimos critérios se deu pelo fato de que nenhum imóvel do município cumpre as duas condições ao mesmo tempo, pontuando nota 5 ou para os critérios do IEPHA ou do IPHAN.

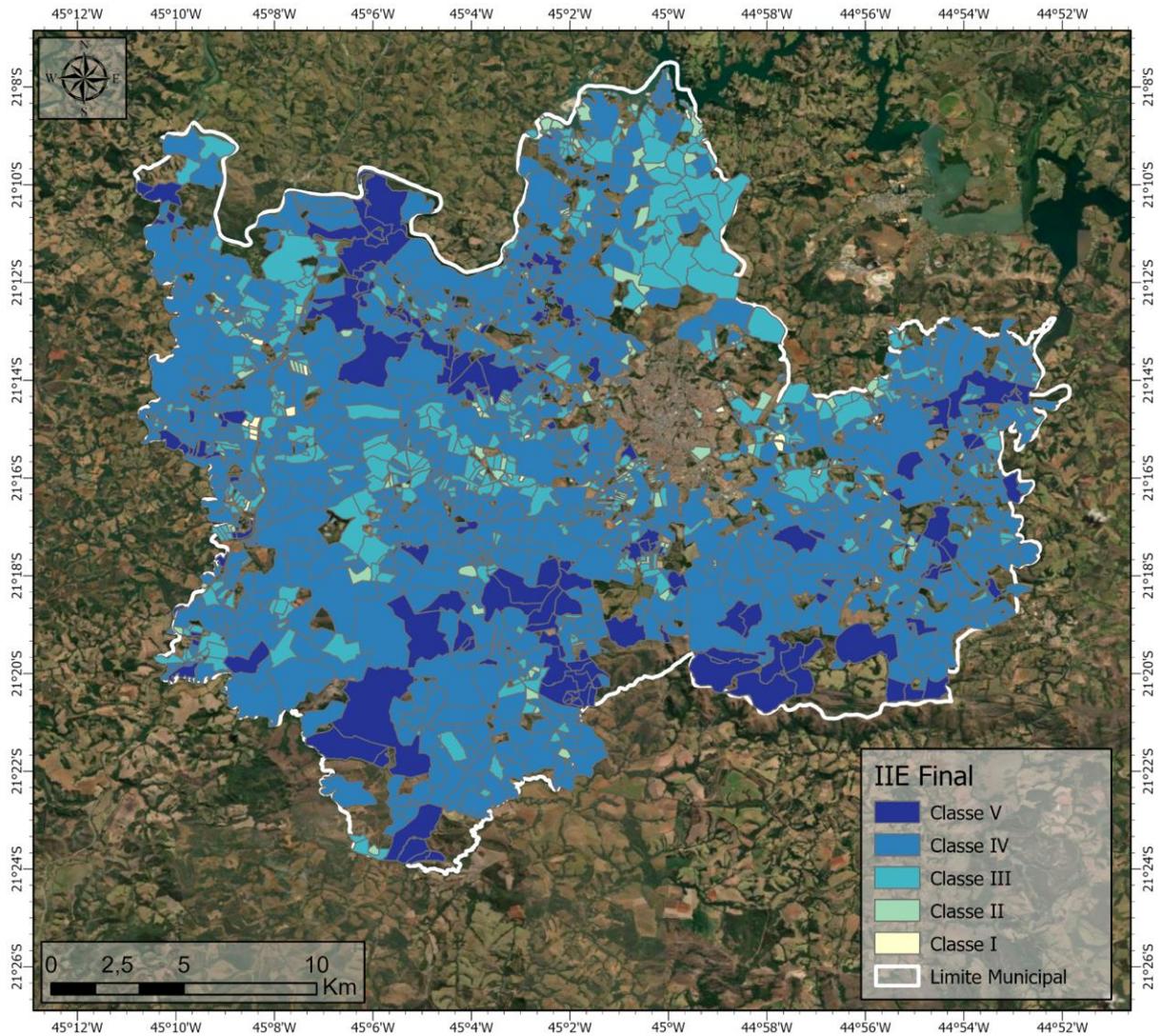
5.7 IIE Final

Para obtenção dos valores de IIE Final, por imóvel, foram utilizados os valores dos índices específicos: IIE Provisão, IIE Suporte, IIE Regulação e IIE Cultural. Neste estudo de caso foram considerados pesos iguais para os quatro índices específicos. A Equação 10 demonstra a fórmula matemática utilizada para obtenção dos scores de IIE Final por imóvel rural.

$$IIE\ Final = (IIE\ Provisão * 5) + (IIE\ Suporte * 5) + (IIE\ Regulação * 5) + (IIE\ Cultural * 5) \quad (Eq.10)$$

Os valores encontrados por meio da aplicação da referida equação representam o resultado final da aplicação da metodologia de zoneamento e identificação de imóveis rurais com maior potencial para programas de PSA. Esses valores representam a ponderação dos quatro índices específicos, tornando assim, o IIE Final, capaz de mensurar por meio dos critérios e indicadores utilizados, o potencial de prestação das quatro modalidades de serviços ecossistêmicos pelo imóvel rural.

O resultado das notas atribuídas a cada um dos imóveis rurais, foi dividido em 5 classes iguais, calculadas a partir da amplitude dos valores de IIE Final. Os resultados dessa divisão estão apresentados na Figura 18 e na Tabela 27, classificados de acordo com o tamanho do imóvel rural.

Figura 18. Classificação dos imóveis rurais em relação ao IIE Final.

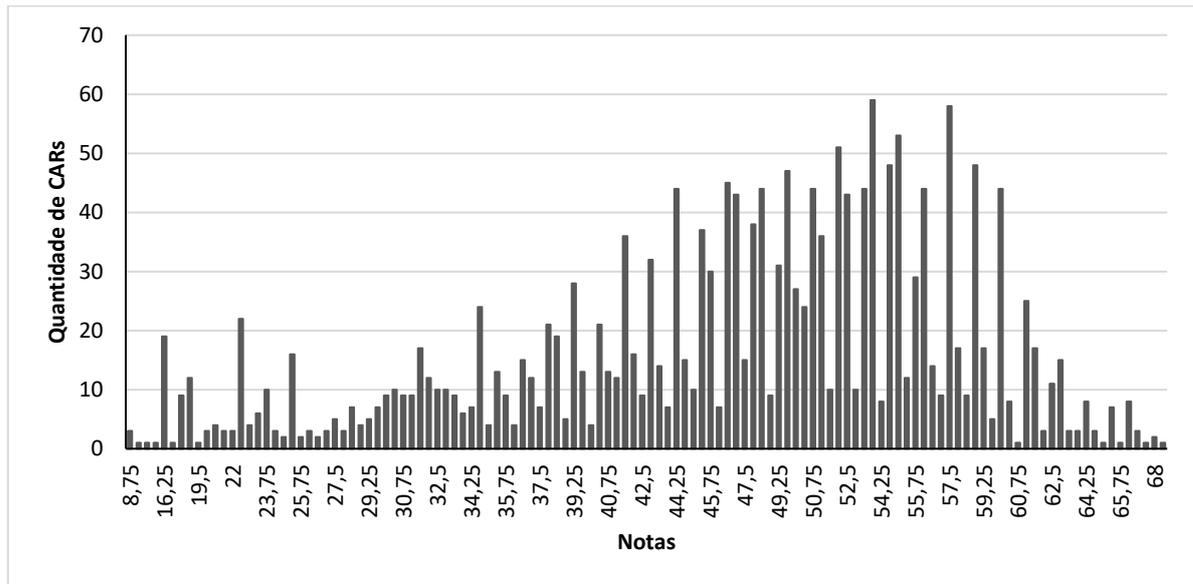
Fonte: Do autor (2023).

Tabela 27. Classificação do IIE Final.

Índice de Importância Ecológica Final - IIE Final						
Classes MF						
Classes IIE Final	Amplitude das Classes	I	II	III	IV	Total Geral
V	59,2 - 71,8	125	44	17	1	187
IV	46,6 - 59,2	666	260	41	2	969
III	34 - 46,6	424	58	6	-	488
II	21,4 - 34	206	2	-	-	208
I	8,8 - 21,4	57	1	-	-	58
Total Geral		1.478	365	64	3	1.910

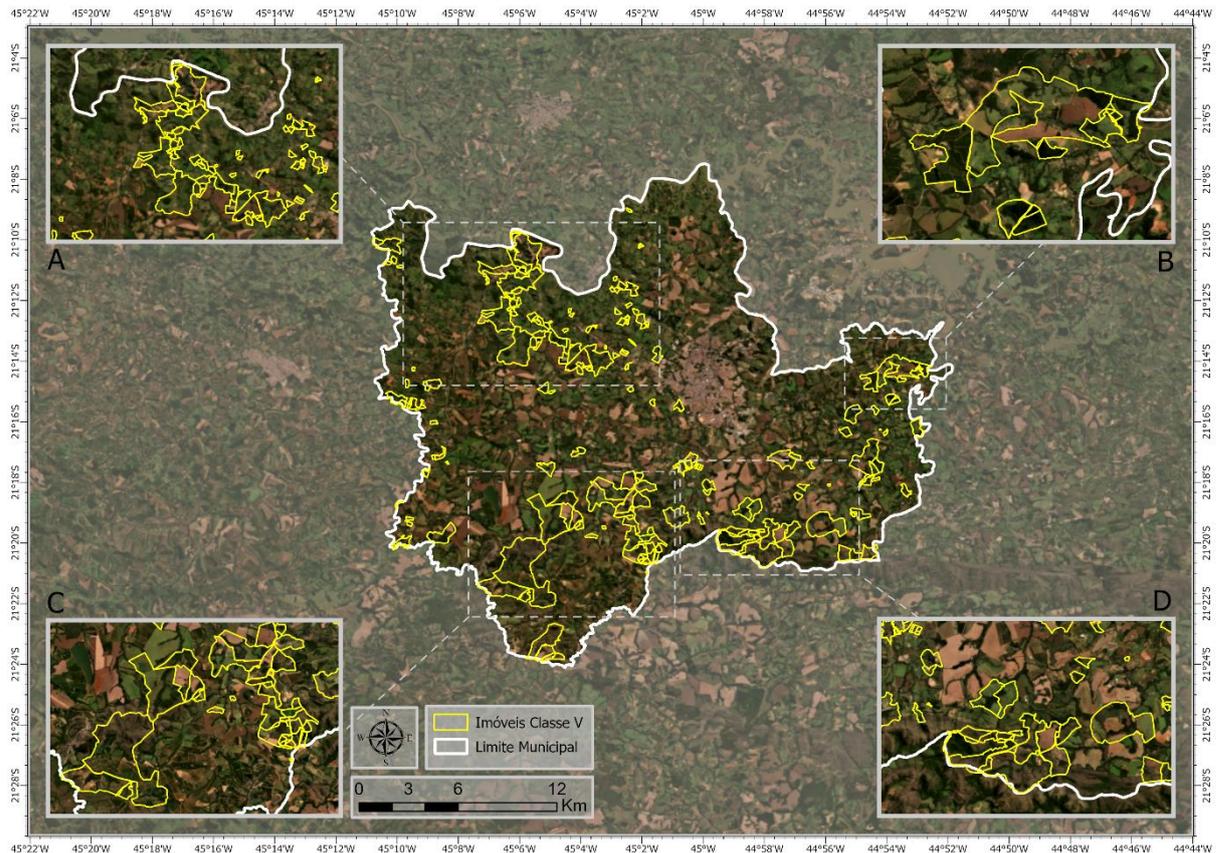
Fonte: Do autor (2023).

O gráfico da Figura 19 apresenta os valores de IIE Final dos 1.910 imóveis rurais distribuídos em 10 classes, com suas respectivas estatísticas.

Figura 19. Distribuição dos valores do IIE Final.

Fonte: Do autor (2023).

A análise do mapa (Figura 18), que apresenta os 1.910 imóveis rurais do município de Lavras classificados de acordo com o IIE Final, revela padrões interessantes em relação à distribuição dos imóveis com as maiores notas (classe V). São 187 imóveis classificados com as maiores notas, ou seja, são os imóveis que, de acordo com a metodologia e a ponderação utilizada, são os que possuem um maior potencial de prestação de serviços ecossistêmicos, logo, prioritários para programas de PSA. Segue a Figura 20, que apresenta esses imóveis espacialmente.

Figura 20. Mapa indicativo dos imóveis classificados como Classe V no IIE Final.

Fonte: Do autor (2023).

De acordo com a metodologia aplicada, os imóveis rurais com os maiores valores de IIE Final, ou seja, maior potencial para prestação de serviços ecossistêmicos, foram os com os códigos apresentados na Tabela 28.

Tabela 28. Lista dos imóveis rurais com as maiores notas no IIE Final.

Ranking	Código do Imóvel	Área (ha)	IIE Provisão	IIE Suporte	IIE Regulação	IIE Cultural	IIE Final
1º	MG-3138203-68748904EBB34C1C805059745D8C8526	10,50	70	87	90	40	71,75
2º	MG-3138203-4E1AA0E99EDB489B9C6B34922F0DC4AD	3,00	80	67	85	40	68
3º	MG-3138203-3D78793B54F741DA9CF8766BB87D4F52	4,95	80	87	65	40	68
4º	MG-3138203-15933519EB8240E98E2F21B082BB65E4	27,03	90	60	80	40	67,5
5º	MG-3138203-BFFA443F404D4C21AAC673593B4B6216	35,33	80	93	80	15	67
6º	MG-3138203-A3A88FB7786941269EE727E87AE57B63	35,04	80	93	80	15	67
7º	MG-3138203-046B5B6D3B0D48CF98D8EEE54796CEB0	276,01	80	93	80	15	67
8º	MG-3138203-20A089D258EE41C0A3040A83B74EE94C	5,01	70	67	90	40	66,75
9º	MG-3138203-AA26AF6D72574186AF8FEC48DC972DFA	1,25	70	67	90	40	66,75
10º	MG-3138203-3D04C310161B41909FC4DC2679647034	20,11	70	67	90	40	66,75
11º	MG-3138203-5C4E798338B6458C92D0A785A4100022	15,80	80	87	85	15	66,75

12°	MG-3138203-2CC8F980ED2749EABA21E4C7132C9FEC	10,35	80	67	80	40	66,75
13°	MG-3138203-6D8AE3FF833A4A90B863F6FB77F955A7	55,65	80	67	80	40	66,75
14°	MG-3138203-13B90CFE697E43CE89D58086914C8BA6	114,11	100	87	65	15	66,75
15°	MG-3138203-9FEBBCB58B9294DB0A81EC1F8531324C8	41,95	80	87	60	40	66,75
16°	MG-3138203-C35EB959100440898D881C38FB1A9794	32,13	80	93	75	15	65,75

Fonte: Do autor (2023)

O imóvel primeiro colocado na ordem hierárquica do índice de importância ecossistêmica está localizado na porção leste superior do município (Figura 20), com seu centróide nas coordenadas 44° 53' 32'' W, 21° 14' 36'' S. Essa pontuação se deve principalmente pelo fato do imóvel possuir quase que sua totalidade coberta por vegetação nativa (96,18 %), o que justifica a posição no *ranking*. A modalidade em que o imóvel obteve a maior pontuação foi nos serviços de regulação (90), sendo que, nos indicadores *Status* da APP, *Status* da RL e Carbono Estocado, obteve nota 5, por possuir toda a sua área de APP (2,10 ha), coberta por vegetação nativa e apresentar um excedente de vegetação nativa de 7,99 ha, além de uma média de 89,2 tC/ha estocados no imóvel, valor esse bem acima da média dos imóveis do município (12,27 tC/ha). O imóvel só não recebeu nota máxima nesta modalidade pelo fato de estar, de acordo com o ZEE-MG, em uma área com risco à erosão média, pontuando 3 no critério risco à erosão.

Nos serviços ecossistêmicos de suporte, o referido imóvel obteve um IIE de 87 pontos, recebendo nota máxima para os critérios vegetação nativa e conectividade e nota 3 para o critério biodiversidade. Na modalidade provisão, um IIE de 70 pontos, obtendo nota 3 no critério provisão de bens e produtos, que representa que em sua área produtiva existe uma predominância de áreas de pastagens, e nota 4 no critério provisão hídrica, representando a presença ou intersecção de cursos d'água no interior do imóvel. Na parte cultural obteve 40 pontos, por estar em área de influência no patrimônio cultural do IEPHA.

Os imóveis que ocupam a segunda e a terceira posição no ranking, obtiveram a mesma pontuação no IIE Final, totalizando 68 pontos, porém, apresentam diferenças significativas em seus IIEs específicos. Um deles, localizado mais ao norte do município, nas coordenadas 45° 4'21''W, 21° 12' 19''S. Destaca-se no IIE Regulação, com uma pontuação de 85, obtendo nota 4 no critério de risco à erosão, devido à sua localização em uma área com alto risco, conforme indicado pelo mapa do Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais (ZEE-MG) (Figura 4E). No indicador de estoque de carbono, recebeu nota 4, com uma média de 67,3 tC/ha e um estoque total de 202,3 tC em seus 2,18 ha de vegetação nativa. No IIE Suporte, apresenta uma pontuação de 67, recebendo nota máxima (5) na análise da porcentagem de vegetação nativa e corredores ecológicos, com um total de 72,6% da área coberta por vegetação nativa. No entanto,

recebeu nota 0 no critério de biodiversidade, pois não se intersecciona com nenhuma área prioritária para conservação da biodiversidade. No IIE Provisão, obteve uma pontuação de 80, com nota 5 na provisão hídrica, indicando a presença de uma nascente na propriedade, e nota 3 na provisão de bens e produtos, indicando a predominância de pastagens entre as classes produtivas.

O outro, localizado na porção sul do município, próximo à Serra da Bocaina, nas coordenadas 45° 2' 19''W, 21° 18' 51''S. Destaca-se pela pontuação de 87 nos serviços de suporte, recebendo nota 5 no critério de conectividade e nota 4 nos critérios de vegetação nativa e biodiversidade, com 26,73% da propriedade coberta por vegetação nativa e localizada em uma área de alta prioridade para conservação da biodiversidade. No IIE Regulação, recebeu uma pontuação de 65, obtendo nota 5 no critério de status da APP, com 92% da Área de Preservação Permanente preservada com vegetação nativa, e nota 4 no critério de status da RL, com um excedente de 0,33 ha. Nos critérios de estoque de carbono e risco à erosão, recebeu nota 2, com uma média de 24,79 tC/ha e localizado em uma área de baixo risco à erosão. No IIE Provisão, obteve uma pontuação de 80, com nota 4 em ambos os critérios, indicando a presença de trechos de drenagem e ausência de nascentes, e na parte produtiva há uma predominância de áreas relacionadas à agricultura. Ambos também receberam a mesma nota (40) no IIE Cultural, pois estão localizados em áreas de influência do patrimônio cultural do Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA).

6 DISCUSSÃO

6.1 Implicações inerentes aos imóveis rurais, cobertura e uso da terra em Lavras

No município de Lavras, existem atualmente 1.910 imóveis rurais devidamente cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR), totalizando uma área de 48.520,7 hectares. No entanto, é importante ressaltar que o CAR é um cadastro auto declaratório, o que pode gerar problemas fundiários, como a ocorrência de sobreposições entre imóveis. Ao analisar os dados referentes a Lavras, constatou-se que 97% dos CARs (1.851 imóveis) apresentam algum tipo de sobreposição com outros imóveis, enquanto apenas 3% (59 CARs) têm seus limites livres de sobreposições. A área total de sobreposição entre os imóveis é de aproximadamente 3.108,5 hectares. Portanto, ao considerarmos todas as áreas cadastradas nos CARs, independentemente de sobreposições, o total é de 48.520,7 hectares. No entanto, se aplicarmos técnicas de geoprocessamento para eliminar essas sobreposições, a área efetiva dos imóveis rurais no

município é de 45.412,20 hectares. Esses dados destacam a importância de uma análise cuidadosa das sobreposições e a necessidade de medidas adequadas para resolver questões fundiárias e garantir uma gestão eficiente do território rural.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, que apresenta a classificação dos imóveis rurais no município de Lavras (MG) de acordo com o tamanho de suas respectivas áreas, é evidente que 77% dos imóveis são minifúndios, ou seja, possuem áreas inferiores a 30 hectares. Em seguida, 19,1% de pequenas propriedades com áreas entre 30 e 120 hectares. Cerca de 3,4% são médias propriedades, com áreas entre 120 e 450 hectares, e apenas 0,2% de grandes propriedades, com áreas superiores a 450 hectares.

Em virtude da aplicação dos critérios e indicadores de análise, a escala cartográfica dos dados geoespaciais utilizados pode, em alguma instância, resultar em impactos nas pequenas propriedades rurais. É importante salientar que, possivelmente, a metodologia adotada com esses dados pode não representar de maneira precisa a realidade das propriedades com áreas reduzidas. Constatações de campo poderão examinar e esclarecer eventuais dúvidas não cobertas após aplicação da metodologia. Embora essa situação também possa ocorrer em propriedades maiores, a probabilidade é mais elevada no contexto das pequenas propriedades devido à escala dos dados utilizados. É fundamental ressaltar que o propósito da metodologia aqui proposta é fornecer uma macrovisão estratégica inicial com base nas informações disponíveis sobre a área de interesse, necessitando, no entanto, de validação em campo ou da consulta aos produtores para confirmar essas informações. Todavia, a metodologia possui o potencial de auxiliar estrategicamente nesse processo, fornecendo direcionamento para o planejamento ambiental, otimizando a análise e reduzindo os custos de visitas a propriedades sem potencial identificado.

Conforme evidenciado pelos resultados obtidos e em concordância com a metodologia empregada para o mapeamento do uso e cobertura da terra (Figura 7), verifica-se uma predominância da classe Pastagem tanto no município de Lavras (43,9%) quanto nos Cadastros Ambientais Rurais (CARs) analisados (47,5%). Ao examinar a classe Pastagem, constatou-se que ela engloba áreas destinadas ao cultivo de espécies forrageiras com o objetivo de alimentar animais de criação. No entanto, a expressiva predominância dessa classe é atribuída à localização do município de Lavras na mesorregião do Campo das Vertentes, uma região reconhecida por sua paisagem de colinas e relevo com vales moderadamente dissecados, cuja vegetação é predominantemente composta por campos e pastagens naturais.

A importância das pastagens nesse contexto é respaldada por estudos anteriores (SILVA et al., 2010; LIMA et al., 2014), que destacam a relevância desse tipo de vegetação nas

paisagens do Campo das Vertentes. De acordo com um estudo realizado por Bono et al., (1996), que investigou a cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas na região do Campo das Vertentes, foi constatado que as pastagens naturais são componentes-chave da cobertura vegetal e desempenham um papel crucial na sustentabilidade do ecossistema. A alta proporção de pastagens identificada no município de Lavras está em consonância com os achados desse estudo, reforçando a caracterização dessa região como uma área de pastagens predominantes.

A segunda classe, referente ao uso e cobertura da terra, com maior predominância foi a Área Antropizada, sendo 18,3% no município e 17,6% quando avaliado apenas o limite dos imóveis rurais. A classe Área Antropizada, é resultado do que não foi interseccionado entre a classe original do FBDS (Área Antropizada), com as classes de Agricultura e pastagem do Mapbiomas. Dessa forma, pode ser caracterizada de acordo com a definição original da camada do FBDS, que a define como áreas desprovidas de cobertura vegetal nativa. As áreas antropizadas referem-se a regiões que sofreram significativa influência ou alteração pelo ser humano, como desmatamento, mineração, urbanização e construção de infraestruturas, essa classe pode também incluir áreas ocupadas por atividades de agricultura e com pastagens, que não foram contempladas e identificadas pelo mapeamento realizado pelo Mapbiomas.

A terceira e a quarta classe predominante variaram de acordo com a avaliação, em uma abordagem municipal, observa-se uma predominância da classe Formação Florestal (15,2%), em relação à classe Agricultura (13,7%). No entanto, ao considerar apenas os limites dos imóveis rurais, as proporções das duas classes são quase equivalentes, com Agricultura representando 15,9% e Formação Florestal 15,0%. É importante ressaltar que, ao somar os valores das Formações não Florestais, que correspondem a 3,7% no município e 3,0% nos imóveis, à classe Formação Florestal, observa-se um predomínio de formações de vegetação nativa em relação à classe Agricultura e também às Áreas Antropizadas.

A diversidade das culturas agrícolas predominantes em Lavras é notável. Destacam-se o cultivo de café arábica, que conferiu renome à região como produtora, e o milho, utilizado tanto para consumo humano quanto animal. O feijão é outra cultura relevante, contribuindo para o abastecimento local. Embora em menor escala, a soja tem apresentado expansão na região. Além disso, hortaliças como tomate, alface, cenoura e batata são cultivadas tanto em áreas rurais quanto em estufas, juntamente com a produção de frutas e olerícolas (IBGE, 2018).

Em relação às formações florestais em Lavras, encontram-se fragmentos de Mata Atlântica predominantes em encostas e vales úmidos e ocorrência de Cerrado, ambos biomas locais numa zona de transição ecotonal, abrigando uma alta diversidade de espécies (SOUZA

et al., 2003; REIS et al., 2007). As demais classes de uso e cobertura da terra, apresentam menor representatividade, como no caso das classes Água, Silvicultura e Área Edificada, que correspondem a 1,1%, 0,6% e 3,4% do município e 0,2%, 0,5% e 0,2% dos imóveis rurais, respectivamente.

6.2 Serviços Ecosistêmicos de Provisão

Os serviços ecossistêmicos de provisão desempenham um papel fundamental no suporte à vida humana e à economia. Esses serviços são responsáveis pela oferta de bens e produtos provenientes dos ecossistemas, bem como pelo fornecimento de água doce. No contexto deste estudo, a categoria de provisão foi subdividida em dois critérios específicos: provisão de bens e produtos, que engloba os benefícios tangíveis derivados dos ecossistemas, como alimentos, madeira e fibras e; provisão hídrica, que se refere à capacidade dos ecossistemas em fornecer água para diversos fins, como abastecimento humano, irrigação agrícola e geração de energia (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003; de GROOT et al., 2010).

A contribuição dos imóveis rurais para a provisão de bens e produtos abrange diversas formas, mas nem todas podem ser mensuradas por meio do sensoriamento remoto ou atendem aos requisitos mínimos para inclusão na análise. Nas propriedades com maior potencial produtivo, com predominância das classes de silvicultura, agricultura e pastagem, foram atribuídas as notas nesse critério. Por outro lado, os imóveis que não apresentavam nenhuma dessas três classes produtivas receberam nota 0, indicando a ausência de provisão de bens e produtos. Essa abordagem possibilitou a avaliação e comparação da capacidade de cada imóvel em fornecer recursos tangíveis essenciais, considerando o tipo de atividade predominante em sua área.

As florestas plantadas comerciais desempenham um papel fundamental como sumidouros de carbono, capturando e armazenando grandes quantidades de CO² atmosférico (IPCC, 2013). Ademais, a presença de árvores oferece benefícios como sombreamento, provisão de habitat para a fauna, melhoria da qualidade do ar e contribuição para a conservação dos recursos hídricos (FAO, 2007). Nesse sentido, a silvicultura, por meio de seu ciclo de corte mais longo, apresenta uma abordagem mais sustentável e benéfica para os ecossistemas, em comparação com as pastagens e culturas agrícolas anuais. O que justifica a atribuição de notas maiores para áreas que possuem a predominância de silvicultura.

De acordo com os resultados apresentados na seção 4.3.1, constatou-se que 81,3% dos imóveis rurais do município de Lavras receberam nota 3 no critério de provisão de bens e

produtos, indicando o predomínio de pastagens e o potencial dessas áreas para a prestação de serviços ecossistêmicos de provisão, especialmente por meio da prática da pecuária. Contudo, é importante ressaltar que, como discutido anteriormente, devido à região caracterizada pelo predomínio de campos naturais, muitas áreas de pastagens naturais ou campos foram identificadas erroneamente como pastagens produtivas, o que levou a uma superestimação dos potenciais provedores de serviços de provisão. Esse problema pode ser abordado por meio do uso de insumos com melhor resolução espacial ou até mesmo por verificação em campo (ALVES et al., 2019; CRUZ; CRUZ, 2021).

Existem abordagens mais avançadas e precisas para a identificação de áreas agrícolas por meio do sensoriamento remoto, o que poderia aprimorar o desempenho da metodologia proposta. Uma alternativa promissora é a utilização de técnicas de aprendizado de máquina (*machine learning*) em conjunto com imagens de satélite. Essas técnicas permitem a extração de padrões e características das imagens, facilitando a classificação das áreas com culturas agrícolas. É importante destacar que a metodologia proposta neste estudo é flexível e permite a integração de novos dados aprimorados, como imagens de maior resolução espacial ou técnicas de processamento de imagem mais avançadas, para aprimorar ainda mais os resultados obtidos.

A análise dos serviços ecossistêmicos de provisão hídrica desempenhou um papel fundamental na avaliação dos imóveis rurais neste estudo, alinhando-se com a importância reconhecida dos ecossistemas na regulação do ciclo hidrológico e no fornecimento de água. O critério Provisão Hídrica permitiu uma avaliação abrangente da capacidade de cada imóvel em fornecer recursos hídricos, de forma direta ou indireta, considerando fatores como a presença de nascentes e cursos d'água e avaliando as classes de uso da terra que promovem a infiltração e a recarga dos lençóis freáticos. Estudos anteriores ressaltam a relevância dessa abordagem, destacando a necessidade de considerar os serviços ecossistêmicos de provisão hídrica para garantir a gestão sustentável dos recursos hídricos e a conservação dos ecossistemas (VÖRÖSMARTY et al., 2010; BRUIJNZEEL, 2004). Compreender a contribuição dos ecossistemas nesse contexto é fundamental para promover a sustentabilidade e o uso racional dos recursos hídricos.

Em consonância com os resultados apresentados na seção 4.3.2, constatou-se que apenas 24% dos imóveis rurais do município de Lavras receberam nota 5 no critério provisão hídrica, indicando a presença de nascentes em seu interior. A identificação dessas áreas é de extrema importância para a conservação, manutenção e melhoria dos recursos hídricos, pois são locais sensíveis que requerem cuidados especiais, como incentivos para a preservação de seus entornos (LEAL et al., 2017). Nascentes são áreas de onde a água emerge naturalmente do

subsolo, fornecendo recursos hídricos para abastecimento de cursos d'água, manutenção dos lençóis freáticos e promoção da biodiversidade (FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2013). A preservação e o cuidado dessas áreas são essenciais para garantir a disponibilidade e a qualidade da água.

O indicador predominante na avaliação dos serviços de provisão hídrica foi a presença de trechos de drenagem, totalizando-o em 52% dos imóveis rurais. No entanto, é importante ressaltar que esse valor é ainda maior, pois as propriedades rurais que possuem tanto trechos de drenagem quanto nascentes foram classificados apenas com o indicador nascentes, recebendo nota 5, em vez de nota 4 atribuída àquelas com apenas trechos de drenagem. Quando somamos as porcentagens dos Cadastros Ambientais Rurais (CARs) que possuem tanto nascentes quanto trechos de drenagem, o valor chega a 76% dos imóveis rurais do município de Lavras. Isso demonstra o alto potencial de provisão hídrica do município, com mais de três quartos de seus imóveis rurais apresentando nascentes ou trechos de drenagem.

Os demais imóveis rurais (24%) foram classificados com base no uso e cobertura predominantes da terra, considerando seu potencial de infiltração. Estudos anteriores destacam a forte correlação entre o uso e a cobertura da terra e os processos de infiltração (SOARES et al., 2008). Dessa forma, apenas 1% dos imóveis receberam nota 3, indicando o predomínio de vegetação nativa. Cerca de 22,4% receberam nota 1, representando áreas produtivas e antropizadas como uso predominante, e apenas 0,1% receberam nota 0, caracterizando a predominância de áreas edificadas.

6.2.1 Implicações do IIE de Provisão

Os serviços ecossistêmicos desempenham um papel fundamental na manutenção da saúde e do bem-estar humano, especialmente em áreas rurais. Entre os diferentes tipos de serviços ecossistêmicos, os serviços de provisão são essenciais para suprir as necessidades materiais e econômicas da sociedade. Portanto, foi desenvolvido e aplicado o Índice de Importância Ecológica de Provisão - IIE Provisão, como parte da metodologia de zoneamento de imóveis rurais para o recebimento de pagamento por serviços ambientais (PSA). De acordo com a legislação específica do tema (BRASIL, 2021), os serviços ecossistêmicos de provisão são definidos como: “os que fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros”.

Na metodologia proposta, foi considerada a provisão de bens e produtos em geral, relacionada às classes de uso e cobertura da terra: Silvicultura, com o potencial de provisionamento de madeira e óleos essenciais; Agricultura, com a provisão de grãos, hortaliças e alimento, em geral; e Pastagem, com a provisão relacionadas às atividades da pecuária, como carne e leite. Foi considerada também a provisão hídrica, que foi mensurada de acordo com a presença de nascentes, trechos de hidrografia e classificação do uso da terra em relação à capacidade de infiltração de água. Esses parâmetros foram levados em consideração devido ao objetivo da metodologia, que é apresentar o potencial de ser executada com dados secundários e que seja possível de ser replicada em todo o estado de Minas Gerais, ou até mesmo em território nacional.

Para o estudo de caso utilizado neste trabalho, foram considerados pesos iguais para todos os critérios, tendo a mesma relevância para a provisão de bens e produtos e a provisão hídrica. Porém, vale ressaltar que, a metodologia tem o potencial de se adaptar de acordo com o objetivo e o tipo de programa de PSA a ser aplicado, podendo dar maiores pesos para determinados critérios ou até mesmo para as diferentes modalidades, que façam mais sentido e que sejam mais condizentes com o objetivo e contexto do usuário.

No trabalho desenvolvido por Coelho et al, (2021), foi realizada uma análise de 68 iniciativas brasileiras de PSA hídricos, a investigação concluiu que as primeiras iniciativas realizavam um pagamento por valor fixo, sem considerar critérios e indicadores referentes à qualidade biótica das propriedades, mas esse padrão foi gradualmente substituído por cálculos mais analíticos, que levam em consideração cálculo do custo de oportunidade da terra e avaliação de indicadores físico-ambientais e socioeconômicos. Por fim, o estudo mostra que, cada vez mais, existe uma tendência de que as iniciativas de PSA adotem metodologias com um maior cuidado analítico e com uma abordagem interdisciplinar e sistêmica para valoração dos serviços ecossistêmicos.

Dessa forma, a metodologia proposta no presente trabalho, possui potencial de apoiar programas de PSA a destinar os seus recursos com um maior embasamento técnico-científico e de acordo com as prioridades da iniciativa. Como no caso de programas de PSA hídricos, na avaliação dos serviços ecossistêmicos de provisão, o critério de provisão hídrica possui uma relevância maior em relação a provisão de bens e produtos. Assim, basta o usuário da metodologia alterar os pesos dos critérios propostos na Equação 1.

Com base nos dados e pesos empregados no estudo de caso da metodologia para o município de Lavras, observa-se que os imóveis rurais com maior potencial para a prestação de serviços ecossistêmicos de provisão são aqueles que possuem áreas produtivas, principalmente

com o predomínio da silvicultura, e também apresentam a provisão hídrica direta, com a presença de nascentes em seu interior.

6.3 Serviços ecossistêmicos de Suporte

Os serviços ecossistêmicos de suporte são aqueles que fornecem os alicerces elementares para o funcionamento dos ecossistemas e a prestação de outros serviços ecossistêmicos. Eles incluem processos fundamentais, como a produção de biomassa, a ciclagem de nutrientes, a formação e a manutenção do solo, a polinização, a purificação do ar e da água, além da regulação do clima. Esses serviços desempenham um papel essencial na manutenção da biodiversidade, na sustentabilidade dos ecossistemas e no fornecimento de recursos naturais. Ao garantir a saúde e a resiliência dos ecossistemas, os serviços de suporte contribuem para o bem-estar humano, a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável.

Ao considerar a porcentagem de áreas de vegetação nativa em um imóvel rural, é possível avaliar o potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos de suporte. Quanto maior a proporção de vegetação nativa, maior é a capacidade do imóvel rural em fornecer esses serviços. Essa avaliação incentiva práticas de manejo sustentável, como a conservação de áreas de preservação permanente, a recuperação de áreas degradadas e a promoção de corredores ecológicos, contribuindo para a proteção da biodiversidade e a sustentabilidade ambiental (BASKENT et al., 2020; JOSE, 2009).

A avaliação da proporção de áreas de vegetação nativa em imóveis rurais desempenha um papel crucial na análise dos serviços ecossistêmicos de suporte. A presença de vegetação nativa é fundamental para a manutenção da biodiversidade, a conservação do solo, a regulação do ciclo hidrológico e o fornecimento de habitats para diversas espécies. Estudos têm ressaltado a importância da conservação dessas áreas de vegetação nativa, pois elas desempenham funções vitais para o funcionamento dos ecossistemas (JETZ et al., 2007; LAWLER et al., 2014; MORTIMER et al., 2017; ZUZHENG LI et al., 2020).

O Código Florestal brasileiro desempenha um papel fundamental na proteção e conservação dos recursos naturais, incluindo a preservação das áreas de reserva legal nos imóveis rurais. De acordo com o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), a porcentagem mínima de área de reserva legal exigida varia de acordo com o bioma em que o imóvel está localizado. No caso do município de Lavras, que se localiza no bioma Mata Atlântica, o mínimo exigido é de 20% do total da propriedade (BRASIL, 2012).

Essas áreas de reserva legal têm como objetivo garantir a manutenção da vegetação nativa, promovendo a conservação da biodiversidade, a proteção dos recursos hídricos e a preservação de funções ecológicas essenciais (METZGER et al., 2019; TAVARES et al., 2019). Portanto, a avaliação da porcentagem de vegetação nativa no imóvel rural é uma métrica importante na análise dos serviços ecossistêmicos de suporte. Além de contribuir para a manutenção dos serviços ecossistêmicos oferecidos por essas áreas, essa avaliação também demonstra o cumprimento das obrigações legais para a preservação da reserva legal.

No contexto da avaliação realizada, imóveis rurais que receberam notas menores que 4 no critério de porcentagem de vegetação nativa estão em desconformidade com as exigências do Código Florestal. Já aqueles que receberam notas 4 e 5 estão em conformidade, cumprindo as obrigações legais de preservação da reserva legal (BRASIL, 2012). Essa conformidade reflete o compromisso desses imóveis rurais com a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade ambiental, contribuindo para a manutenção dos serviços ecossistêmicos de suporte.

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que 31% dos imóveis rurais do município de Lavras estão em conformidade com a área de reserva legal (RL) mínima exigida pelo Código Florestal, ou seja, possuem mais de 20% de seu território destinado à vegetação nativa. No entanto, ao avaliar a soma das áreas de vegetação nativa e os limites dos Cadastros Ambientais Rurais (CARs), constatou-se que apenas 18% da área total dos imóveis está coberta por vegetação nativa, resultando em um déficit de 2% de vegetação nativa, correspondendo a aproximadamente 908 hectares. Diante dessa análise, observa-se que a implementação de medidas de reflorestamento e restauração em 908 hectares, direcionadas aos imóveis com déficit de vegetação, seria capaz de alcançar a conformidade total em relação à área de reserva legal mínima exigida pelo Código Florestal.

Essa abordagem estratégica para a restauração e o aumento da vegetação nativa nas propriedades rurais é fundamental para a conservação da biodiversidade, a proteção dos recursos hídricos e a preservação das funções ecossistêmicas. Além disso, contribui para a mitigação das mudanças climáticas e para a promoção da sustentabilidade ambiental na região.

A avaliação da presença ou contribuição de corredores ecológicos é também um critério relevante na análise dos serviços ecossistêmicos de suporte. Os corredores ecológicos são áreas de conexão que permitem o deslocamento de espécies e a troca de materiais genéticos entre fragmentos de habitats naturais. Essas conexões são fundamentais para a conservação da biodiversidade e para o funcionamento saudável dos ecossistemas (PEREIRA et al., 2007; SEONE et al., 2010; MORANDI et al., 2020).

Ao avaliar a presença ou contribuição de corredores ecológicos em um imóvel rural, é possível identificar a sua importância na promoção da conectividade entre diferentes áreas de vegetação nativa, facilitando o fluxo de espécies, a dispersão de sementes e o equilíbrio dos ecossistemas. Além disso, os corredores ecológicos também podem proporcionar serviços ecossistêmicos, como a regulação do clima local, a melhoria da qualidade da água e a redução de processos erosivos. Portanto, a consideração dos corredores ecológicos na avaliação dos serviços ecossistêmicos de suporte é fundamental para promover a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas, pois valoriza a importância da conectividade entre os fragmentos de habitats naturais e contribui para a preservação dos serviços ambientais essenciais para a sociedade (ARAÚJO; BASTOS, 2019).

De acordo com os procedimentos adotados na metodologia, constatou-se que o maior fragmento de vegetação nativa do município de Lavras está localizado na porção sul, na região popularmente conhecida como Serrinha, denominada Serra da Bocaina, abrangendo uma área de 1.889,7 hectares. Esse fragmento apresenta grande importância para a conservação da biodiversidade local, sendo uma área de potencial significativo para a prestação de serviços ecossistêmicos (CARTOLANO et al., 2022). A preservação e o manejo adequado desse fragmento são fundamentais para a manutenção dos serviços ambientais fornecidos pela região e devem ser considerados em futuras estratégias de gestão e tomada de decisão ambiental.

Outro aspecto relevante na avaliação dos serviços ecossistêmicos de suporte é a análise do deslocamento de abelhas e sua contribuição para a polinização. As abelhas desempenham um papel fundamental na reprodução de diversas espécies vegetais, sendo responsáveis por transferir o pólen entre as flores, viabilizando a formação de frutos e sementes. O deslocamento das abelhas é facilitado quando existem áreas de vegetação nativa e corredores ecológicos, que fornecem abrigo, alimento e condições favoráveis para a sua sobrevivência. A presença de abelhas e a polinização por elas realizada têm impactos diretos na produção agrícola, contribuindo para o aumento da produtividade e a qualidade dos cultivos. Além disso, a polinização também desempenha um papel crucial na manutenção da diversidade de espécies vegetais, promovendo a regeneração de ecossistemas naturais e a conservação da flora. Portanto, ao considerar o deslocamento de abelhas e a importância da polinização na avaliação dos serviços ecossistêmicos de suporte, é possível destacar a necessidade de promover a preservação de áreas com vegetação nativa e a conectividade entre elas, visando garantir a presença desses polinizadores vitais para o funcionamento dos ecossistemas e a sustentabilidade da produção de alimentos (FERRAZ et al., 2014; MACHADO et al., 2020; REQUIER et al., 2023).

A avaliação do critério de Biodiversidade nos serviços ecossistêmicos de suporte é fundamental para compreender a riqueza e a importância dos ecossistemas na promoção da vida e no fornecimento de benefícios para a sociedade (LEHTINIEMI et al., 2023; MADON et al., 2023; QUEIROZ-STEIN; SIEGEL, 2023). Nesse contexto, o mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade, desempenha um papel relevante, fornecendo informações valiosas sobre a distribuição das espécies e dos ecossistemas presentes no estado. Através deste atlas, é possível identificar áreas de maior diversidade biológica, como *hotspots* de biodiversidade, que merecem atenção especial para sua conservação (DRUMMOND et al., 2005). A consideração desse mapa na avaliação dos serviços ecossistêmicos de suporte permite uma abordagem mais abrangente e embasada cientificamente, contribuindo para a tomada de decisões mais conscientes e efetivas na gestão e na conservação dos recursos naturais. Além disso, a avaliação da biodiversidade também permite identificar possíveis lacunas de conhecimento e áreas prioritárias para estudos e ações de conservação. Dessa forma, ao incorporar essa camada como referência na avaliação dos serviços ecossistêmicos de suporte, é possível ampliar a compreensão sobre a importância da biodiversidade e sua relação intrínseca com a prestação de serviços essenciais para o bem-estar humano e para a sustentabilidade dos ecossistemas.

Resultados do estudo "Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para sua Conservação" destacam a riqueza e a ameaça à biodiversidade no estado. Com 178 espécies de animais e 538 espécies de plantas ameaçadas, Minas Gerais desempenha um papel fundamental na conservação da fauna e da flora. Esses resultados destacam a necessidade de políticas de conservação e ações prioritárias para proteger a biodiversidade única do estado, contribuindo para a manutenção dos serviços ecossistêmicos de suporte e para o equilíbrio dos ecossistemas como um (DRUMMOND et al., 2005).

De acordo com a metodologia e a camada de informação utilizada para mensurar o critério Biodiversidade, uma das áreas indicadas como prioritárias para a conservação da biodiversidade no município de Lavras, foi a da Região de Itumirim, que engloba parte da porção sudeste do município, sua inclusão no atlas se deu por conta da alta riqueza de espécies da flora típicas de campos rupestres e foram identificadas como principais pressões antrópicas as atividades de barramento, agropecuária e pecuária, turismo desordenado e mineração. No estudo, para a Região de Itumirim, foi recomendado atividades de recuperação e criação de unidades de conservação (DRUMMOND et al., 2005). Ainda na porção sudeste do município, de acordo com o mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade, há uma porção do limite de Lavras que compreende a região de alta prioridade para conservação, na

região do rio das Mortes e Capivari, marcada pela alta riqueza de peixes e provável presença de espécies raras. Suas principais pressões antrópicas são espécies exóticas invasoras e a agricultura (DRUMMOND et al., 2005).

Na porção oeste do município, se encontra uma terceira região de alta prioridade, a da Bacia do Rio do Cervo, que engloba todo o limite oeste de Lavras, a área foi definida devido ao maior remanescente lótico entre a represa de Furnas e a barragem do Funil. No mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade não foram definidos nenhuma pressão antrópica na área, mas foram recomendadas ações de recuperação, monitoramento e de promoção da conectividade (DRUMMOND et al., 2005).

Além do estudo mencionado e utilizado no estudo de caso (DRUMMOND et al., 2005), há uma série de iniciativas nacionais e internacionais que estão contribuindo para o avanço do conhecimento sobre a biodiversidade e facilitando o acesso a informações geoespaciais. O *SpeciesLink* e o *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), por exemplo, são plataformas que reúnem dados e informações sobre a biodiversidade de diferentes regiões do mundo. Essas iniciativas fornecem camadas de informações geoespaciais valiosas, como registros de ocorrência de espécies, que podem ser incorporadas na metodologia de avaliação dos serviços ecossistêmicos de suporte. A integração dessas fontes de dados e a colaboração com outras instituições e pesquisadores podem enriquecer ainda mais a análise da biodiversidade em áreas específicas, ampliando a compreensão dos serviços ecossistêmicos prestados pela natureza e fortalecendo estratégias de conservação (SPECIESLINK, 2023; GBIF, 2023).

6.3.1 Implicações do IIE de Suporte

O Índice de Importância Ecológica de Suporte - IIE Suporte, agrega diversos critérios para avaliar os serviços ecossistêmicos de suporte em determinada área. Os critérios utilizados nesse índice abrangem a presença de vegetação nativa, a existência de corredores ecológicos e a biodiversidade. A avaliação da porcentagem de áreas de vegetação nativa no imóvel rural permite mensurar a conservação dos ecossistemas naturais e sua capacidade de prover serviços como regulação climática, conservação do solo e ciclagem de nutrientes. A consideração dos corredores ecológicos avalia a conectividade entre os fragmentos de vegetação, possibilitando a circulação de espécies e a manutenção dos processos ecológicos. Já a análise da biodiversidade, permite identificar áreas de grande importância biológica e a presença de espécies ameaçadas, fornecendo subsídios para ações de conservação. A compreensão das implicações do índice de Suporte possibilita uma visão mais abrangente dos

serviços ecossistêmicos fornecidos pela natureza, auxiliando na tomada de decisões para a conservação e uso sustentável dos recursos naturais.

O IIE Suporte apresenta um potencial significativo para apoiar iniciativas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e ser uma ferramenta útil no processo de gestão ambiental e planejamento. Estudos científicos demonstram a importância de considerar critérios como vegetação nativa, corredores ecológicos e biodiversidade na avaliação dos serviços ecossistêmicos de suporte (VAISSIERE et al., 2020; PHAM et al., 2021; GARRETT et al., 2022). Isso pode ser especialmente relevante em programas de PSA, nos quais os proprietários rurais recebem incentivos financeiros para preservar ou para a manutenção de serviços ecossistêmicos.

Além disso, o índice de Suporte pode auxiliar no processo de gestão ambiental, subsidiando a tomada de decisões informadas sobre a alocação de recursos, a definição de áreas de proteção ambiental e a implementação de práticas sustentáveis de uso da terra. Também pode ser um indicador valioso no planejamento territorial, permitindo identificar áreas estratégicas para a conservação e estabelecer diretrizes para o desenvolvimento sustentável, conciliando as necessidades socioeconômicas com a proteção dos serviços ecossistêmicos. Assim, o IIE Suporte pode contribuir para a promoção de uma gestão ambiental mais eficaz e um planejamento territorial sustentável, visando a conservação dos ecossistemas e o bem-estar humano a longo prazo.

O IIE Suporte está estreitamente conectado com a iniciativa brasileira de Corredores Ecológicos, conforme destacado no documento "Corredores Ecológicos: Iniciativa Brasileira no contexto continental" (BRASIL, 2016). Essa iniciativa, coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente, busca promover a proteção das florestas e da sociobiodiversidade nas Américas do Sul e Central, enfrentando desafios globais e cumprindo compromissos internacionais assumidos pelo Brasil. O Programa Corredores Ecológicos, contribui para a ampliação da base de dados e informações sobre o tema, bem como para a atualização e o envolvimento social com as questões ambientais.

Nesse contexto, o índice de Suporte desempenha um papel relevante, fornecendo subsídios técnicos para a identificação e a priorização das áreas estratégicas para a conservação e a conectividade entre os ecossistemas. Dessa forma, o IIE Suporte contribui para a implementação efetiva do Programa Corredores Ecológicos, auxiliando na proteção da biodiversidade, na gestão dos recursos naturais e no fortalecimento das ações de conservação em escala continental.

O IIE Suporte, se analisado de forma isolada, possui um maior potencial de apoiar iniciativas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) voltadas para a conservação. Nesses casos, para obtenção do IIE Final, a metodologia permite atribuir maior peso ao IIE Suporte, tornando-o mais aderente às iniciativas de PSA de conservação. Por exemplo, o trabalho desenvolvido por Alarcon (2014), que visa analisar as limitações e oportunidades do pagamento por serviços ambientais como instrumento de conservação de recursos florestais no corredor ecológico Chapecó, no estado de Santa Catarina, conclui que a baixa percepção dos serviços ambientais de suporte era esperada, pois exigem conhecimento sobre os ciclos biogeoquímicos e outras relações menos perceptíveis. Nessas situações, o IIE Suporte pode ser um indicador valioso para priorizar áreas estratégicas de conservação e direcionar recursos do PSA de forma mais eficiente. Portanto, ao considerar a aplicação de PSA em iniciativas de conservação, é essencial adotar abordagens que valorizem tanto os serviços ambientais perceptíveis quanto aqueles mais técnicos, como os serviços de suporte, a fim de alcançar resultados mais efetivos na conservação de recursos florestais.

6.4 Serviços ecossistêmicos de Regulação

A avaliação dos serviços ecossistêmicos de regulação é fundamental para compreender e gerenciar os benefícios proporcionados pelos ecossistemas. Nesse contexto, o presente estudo adotou critérios específicos para avaliar os serviços ecossistêmicos de regulação, incluindo o status da Área de Preservação Permanente (APP), o status da Reserva Legal (RL), o estoque de carbono e o risco de erosão. Esses critérios foram selecionados com base em sua importância para a manutenção dos processos ecológicos e seu reconhecimento na literatura científica.

As APPs são definidas pela Lei 12.651/12 (BRASIL, 2012) como áreas protegidas que têm a função de preservar recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, além de proteger o solo e garantir o bem-estar das populações humanas. Estudos científicos demonstram que essas áreas desempenham um papel crucial na manutenção dos ecossistemas, pois atuam como corredores ecológicos ao longo dos cursos d'água, auxiliam na proteção de áreas mais vulneráveis à erosão, como as APPs de topo de morro e áreas inclinadas, e funcionam como filtros para manter a qualidade da água, evitando a chegada de sedimentos e processos erosivos aos corpos d'água (SANTOS et al., 2021; CARTOLANO et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2022;). No trabalho desenvolvido por Cartolano et al., (2022), na definição de áreas prioritárias para restauração ecológica, as APPs

se mostraram como áreas de elevada prioridade, o que corrobora a avaliação dos serviços ecossistêmicos de regulação, por meio do status das APPs.

O critério *Status* da APP, adotado na metodologia, busca avaliar a propriedade por meio de indicadores que indicam a porcentagem da APP coberta por vegetação nativa. É importante ressaltar que esses valores não necessariamente indicam não conformidades legais, uma vez que o Código Florestal não estabelece uma obrigatoriedade de recomposição em áreas acima de 1.800 metros de altitude, encostas, topos de morro, montes, montanhas e serras, bordas de tabuleiros ou chapadas, mangues, restingas e no entorno de reservatórios. Para essas áreas, é necessário aderir aos Programas de Regularização Ambiental (PRA) estaduais, que estabelecerão os limites e requisitos mínimos. Por outro lado, as matas ciliares seguem a chamada "regra da escadinha" do Código Florestal, que determina a dimensão a ser recomposta de acordo com o tamanho da propriedade rural, o que justifica um maior passivo nessas áreas em propriedades menores (BORGES et al., 2017; SANTOS et al., 2021).

Portanto, o critério *status* da APP tem como objetivo avaliar exclusivamente a porcentagem de vegetação nativa nas APPs, atribuindo pontuações mais altas às propriedades que possuem uma maior cobertura vegetal nessas áreas. Essa abordagem busca reconhecer e valorizar os imóveis que prestam serviços ecossistêmicos significativos, pois mantêm uma vegetação nativa em áreas de extrema importância para os ecossistemas.

A Reserva Legal (RL) é uma área prevista no Código Florestal brasileiro que deve ser mantida com vegetação nativa em propriedades rurais, com o objetivo de promover a conservação da biodiversidade e a proteção dos recursos naturais (BRASIL, 2012). O *status* da RL também foi considerado como um critério relevante para avaliar os serviços ecossistêmicos de regulação, pois a presença de vegetação nativa nessa área está relacionada à capacidade do ecossistema em fornecer serviços ambientais, como a regulação climática, a manutenção da qualidade da água e a conservação da biodiversidade (MARCO et al., 2023). Estudos têm mostrado que a presença de áreas de reserva legal está associada a um maior estoque de carbono e a uma maior diversidade de espécies (MATOS et al., 2019).

No entanto, é importante considerar que existem programas e metodologias de geração de créditos de carbono ou Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) voltados para áreas de excedente de vegetação nativa. Essas iniciativas incentivam a proteção e a manutenção de áreas que excedem os requisitos legais de RL, reconhecendo o valor desses estoques de carbono e a importância da conservação dessas áreas para a mitigação das mudanças climáticas e outros serviços ecossistêmicos (ROSENDO; ROSA, 2012; FERREIRA et al., 2014; CHAVE et al., 2014).

O critério *status* da RL adotado na metodologia tem o potencial de identificar imóveis rurais com passivo de vegetação nativa, ou seja, áreas em que a quantidade de vegetação nativa presentes é inferior ao requerido pela legislação. Essas áreas podem ser consideradas como potenciais para ações de restauração, visando à recomposição da vegetação nativa e, conseqüentemente, ao aumento dos serviços ecossistêmicos de regulação (IPBES, 2019; NISHIZIMA; HILÁRIO, 2019).

Estudos demonstram que áreas destinadas à restauração desempenham um papel de destaque em programas de PSA. A restauração florestal contribui para a conservação da biodiversidade, a regulação climática, a proteção de recursos hídricos e a promoção do bem-estar humano (CHAZDON et al., 2016; NISHIZIMA; HILÁRIO, 2019; BUSTAMANTE et al., 2019). Além disso, programas de PSA têm sido amplamente adotados em diferentes regiões do Brasil como uma estratégia eficaz para incentivar a restauração de áreas degradadas e a conservação dos serviços ecossistêmicos (PARRON et al., 2019; PEREVOCHTCHIKOVA et al., 2021).

O Estoque de Carbono foi escolhido como um critério importante devido ao seu papel na regulação do clima e na mitigação das mudanças climáticas. Florestas e outros ecossistemas naturais têm a capacidade de armazenar grandes quantidades de carbono, contribuindo assim para a redução das emissões de gases de efeito estufa (BONAN, 2008; PAN et al., 2011). Estudos têm mostrado que a conservação e a restauração de florestas podem ser estratégias eficazes para a mitigação das mudanças climáticas (GRISCOM et al., 2017; BRANCALION et al., 2018).

O critério Estoque de Carbono, está diretamente relacionado ao critério "Vegetação Nativa" e aos serviços ecossistêmicos de suporte, uma vez que a presença de vegetação nativa contribui significativamente para a captura e o armazenamento de carbono. Quanto maior a porcentagem de vegetação nativa em uma propriedade rural, maior será sua pontuação no critério "Estoque de Carbono".

A metodologia adotada neste estudo para mensurar o critério de estoque de carbono considerou a importância de evitar viés e promover uma análise mais justa. Se apenas os valores de carbono estocado na vegetação nativa de cada imóvel rural fossem considerados, o resultado poderia ser tendencioso, favorecendo imóveis rurais com maiores áreas, mas com menores proporções de vegetação nativa, potencialmente até abaixo do mínimo exigido pelo código florestal. Isso resultaria em notas mais altas para imóveis maiores, mesmo que possuíssem uma proporção menor de vegetação nativa em relação à área total. Portanto, o valor do carbono estocado nas áreas de vegetação nativa foi dividido pela área total do imóvel rural, visando

obter uma análise mais justa e equitativa. Essa abordagem permitiu avaliar a proporção de carbono estocado, em vez de beneficiar exclusivamente os imóveis de maior tamanho. Com base nos valores resultantes de carbono estocado por hectare para cada propriedade, esses valores foram distribuídos em 5 classes iguais e atribuídas notas de 1 a 5, sendo atribuída a nota 0 para propriedades que possuíam menos de 1 tonelada de carbono estocado por hectare (tC/ha).

Além disso, o critério "Estoque de Carbono" tem o potencial de identificar imóveis rurais que possuam um maior estoque de carbono em suas áreas de vegetação nativa. Essa identificação é importante, pois auxilia no direcionamento de metodologias e iniciativas que visam mensurar o carbono estocado e promover uma transição para uma economia de baixo carbono. O conhecimento do estoque de carbono nas áreas de vegetação nativa permite que os proprietários rurais identifiquem seu potencial de contribuição para a mitigação das mudanças climáticas e adotem práticas de manejo que favoreçam a conservação e a ampliação desse estoque (IPCC, 2018).

O artigo desenvolvido por Benício et al., 2023, apresenta uma iniciativa voltada para o pagamento por serviços ambientais (PSA) relacionados ao estoque de carbono em um refúgio de Floresta Úmida de Bacia Sedimentar na região semiárida brasileira. Essa iniciativa demonstra a viabilidade e os benefícios tanto ambientais quanto financeiros dos programas de PSA voltados para o estoque de carbono, incentivando a conservação da biodiversidade e promovendo a mitigação das mudanças climáticas.

É importante ressaltar que o mercado de carbono tem crescido e está sendo cada vez mais adotado pelo setor do agronegócio. O interesse em conhecer e quantificar os ativos ambientais, incluindo o carbono estocado nas áreas rurais, tem levado as empresas a buscarem uma pegada de carbono mais baixa e a se adaptarem às exigências internacionais e nacionais relacionadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (MILHORANCE et al., 2021; VIOLA; MENDES, 2022; FRANCHINI et al., 2023). Programas e iniciativas já estão monitorando a pegada de carbono dos produtos agrícolas, como é o caso do programa de certificação "Carne Carbono Neutro (CCN)" para a produção de carne bovina no Brasil (ALVES et al., 2015).

Portanto, o critério "Estoque de Carbono" na avaliação dos serviços ecossistêmicos de regulação é fundamental para identificar imóveis rurais com um maior estoque de carbono em suas áreas de vegetação nativa, apoiando ações voltadas para a mensuração e o monitoramento do carbono estocado. Além disso, incentiva setores da economia a adotar práticas sustentáveis e buscar uma economia de baixo carbono, agregando valor aos produtos e respondendo às demandas socioambientais globais.

O risco de erosão foi incluído como critério devido à sua importância na conservação do solo e na manutenção da produtividade agrícola. A erosão do solo é um processo natural, mas pode ser acelerada pelo desmatamento e pela remoção da vegetação nativa. A perda de solo por erosão pode levar à degradação dos ecossistemas, à redução da fertilidade do solo e ao assoreamento e contaminação dos recursos hídricos (MONTGOMERY, 2007). Avaliar o risco de erosão permite identificar áreas que requerem medidas de conservação do solo, como a implementação de práticas agrícolas sustentáveis e a recuperação de áreas degradadas (LACERDA et al., 2021).

A camada de risco à erosão do ZEE-MG, ao identificar as áreas mais suscetíveis à erosão, permite direcionar ações de conservação, preservação e recuperação do solo, bem como orientar um desenvolvimento sustentável que minimize a pressão sobre essas áreas fragilizadas. Essa abordagem é fundamental para garantir a integridade dos serviços ecossistêmicos de regulação.

6.4.1 Implicações do IIE de Regulação

O índice de importância ecossistêmica de Regulação (IIE Regulação) é uma ferramenta que permite a avaliação e quantificação dos serviços ecossistêmicos de regulação com base em critérios como o *Status* da APP, *Status* da RL, Estoque de Carbono e Risco à Erosão. Esses critérios foram selecionados devido à sua relevância na manutenção dos processos regulatórios dos ecossistemas. O IIE Regulação desempenha um papel fundamental no planejamento e gestão ambiental, fornecendo informações valiosas para a tomada de decisões relacionadas à conservação, preservação e recuperação de áreas naturais.

Os critérios avaliados no IIE Regulação têm sido amplamente aplicados em estudos e programas que visam avaliar e gerenciar os serviços ecossistêmicos de regulação. Por exemplo, o programa Conexão Mata Atlântica é uma iniciativa que reconhece e beneficia os proprietários rurais que adotam ações de conservação de floresta nativa, recuperação de áreas degradadas e implementação de práticas produtivas sustentáveis. Os serviços ecossistêmicos de regulação são utilizados como indicador para avaliação e monitoramento dos resultados. O objetivo do programa é aumentar os estoques de carbono, promover a conservação da biodiversidade e fortalecer as capacidades institucionais dos participantes. O Conexão Mata Atlântica já reconheceu e recompensou diversos produtores rurais prestadores de serviços ambientais, impactando a conservação de milhares de hectares de Mata Atlântica nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (MCTI, 2023).

O mercado de carbono tem ganhado crescente importância no contexto global, impulsionado pelos esforços para mitigar as mudanças climáticas. Nesse sentido, o IIE Regulação, com seu critério de Estoque de Carbono, desempenha um papel relevante, uma vez que permite identificar imóveis rurais com um maior estoque de carbono em suas áreas de vegetação nativa. Essa informação pode ser utilizada no direcionamento de metodologias e iniciativas que visam mensurar o carbono estocado e promover uma economia de baixo carbono.

Como a metodologia consegue analisar e identificar propriedades rurais que não estão em conformidade com suas RL e que estão com ausência de vegetação nativa em suas APPs, além de possuir o potencial de identificar aquelas propriedades com a maior prestação de serviços ecossistêmicos, a metodologia também possui a capacidade de identificar aqueles imóveis com maiores necessidades de recuperação, que irão causar um maior impacto positivo aos ecossistemas, caso sejam recuperados, e também indicar propriedades que necessitam de ações para que sejam regularizadas de acordo com o código florestal. Com isso, a metodologia se mostra como um ótimo instrumento para direcionamento e otimização de ações, programas ou políticas que visam fomentar a reversão dessas áreas degradadas ou com déficit de vegetação, seja por meio de doação de materiais, mudas, empréstimos de maquinários, incentivos financeiros ou até mesmo a recuperação ou restauração em si.

6.5 Serviços ecossistêmicos culturais

A avaliação dos serviços ecossistêmicos culturais desempenha um papel fundamental no planejamento e gestão ambiental, pois considera a importância das interações entre a natureza e a sociedade (MACEDO et al., 2016). No presente estudo, foram adotados quatro critérios para avaliar os serviços ecossistêmicos culturais: Tipo do imóvel rural, proximidade de áreas protegidas, patrimônio cultural e sítios arqueológicos.

O critério Tipo do imóvel rural, baseado no Cadastro Ambiental Rural (CAR), permite identificar a categoria do imóvel e compreender o contexto socioeconômico em que se insere. Existem diferentes tipos de imóveis rurais que são classificados de acordo com suas características e finalidades. Entre os tipos de imóveis estão os imóveis rurais de Assentamentos da Reforma Agrária (AST), imóveis rurais de Propriedade Coletiva de Terras Indígenas (PCT) e imóveis rurais de propriedade privada (IRU) (SICAR, 2023).

Os imóveis rurais de AST são aqueles destinados à reforma agrária, visando a redistribuição de terras para fins de reforma agrária, buscando promover a justiça social e a

agricultura familiar. Esses imóveis são caracterizados por serem ocupados por agricultores familiares que utilizam a terra para sua subsistência e para a produção de alimentos. Já os imóveis rurais de PCT são aqueles localizados em terras indígenas e são destinados à preservação da cultura e dos modos de vida tradicionais das comunidades indígenas (SICAR, 2023).

Na metodologia adotada neste estudo, os imóveis rurais de PCT e AST receberam maior nota devido às suas particularidades relacionadas à preservação e promoção de serviços ecossistêmicos culturais. Os imóveis rurais de PCT são reconhecidos pela sua relevância na manutenção de práticas culturais tradicionais, como a agricultura de subsistência, o uso sustentável dos recursos naturais e a conexão com a biodiversidade local. Essas práticas estão associadas a uma valorização significativa dos serviços ecossistêmicos culturais, como a transmissão de conhecimentos ancestrais, a proteção do patrimônio cultural e o fortalecimento da identidade indígena.

O artigo "Pagamentos por Serviços Ambientais, Comunidades Tradicionais e Sistemas Socioecológicos" (TUPIASSU et al., 2019), oferece uma perspectiva relevante sobre a importância de considerar as comunidades tradicionais na implementação de programas de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) e na valoração dos serviços ecossistêmicos. O estudo destaca a necessidade de adotar uma abordagem baseada em sistemas socioecológicos, que reconheça a relação simbiótica milenar entre as comunidades tradicionais e os ecossistemas.

Nesse contexto, a abordagem dos sistemas socioecológicos oferece uma estrutura dinâmica que permite a adaptação do modelo tradicional de PSA, levando em consideração a resiliência e a relação simbiótica das comunidades tradicionais com os ecossistemas. Essa abordagem promove o aprimoramento das estratégias de PSA, valorizando os serviços ambientais fornecidos naturalmente pelo modo de vida tradicional das comunidades. Ao considerar as comunidades tradicionais como os reais provedores e mantenedores dos ecossistemas, é possível garantir uma abordagem mais justa e inclusiva nos programas de PSA (TUPIASSU et al., 2019).

Por sua vez, os imóveis rurais de AST têm como destaque a agricultura familiar, que é reconhecida pela sua importância na manutenção da segurança alimentar, na conservação da agrobiodiversidade e na promoção de práticas agroecológicas. Essas características estão diretamente relacionadas aos serviços ecossistêmicos culturais, como a preservação de saberes tradicionais, a promoção da diversidade cultural e a valorização dos modos de vida rurais (WIENKE, 2016).

Portanto, a maior nota atribuída aos imóveis rurais de PCT e AST na metodologia, reflete a relevância desses tipos de imóveis na promoção e preservação dos serviços ecossistêmicos culturais, considerando suas particularidades relacionadas à valorização da cultura, do conhecimento tradicional e da sustentabilidade no meio rural. No entanto, é importante ressaltar que, no estudo de caso para o município de Lavras, todos os imóveis rurais cadastrados no CAR são do tipo IRU (Imóveis Rurais não classificados como PCT ou AST), resultando na atribuição da mesma nota para todos os imóveis nesse critério.

A Proximidade de Áreas Protegidas é um critério relevante para a avaliação dos serviços ecossistêmicos culturais, pois considera a conexão entre os imóveis rurais e áreas de proteção, como Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Quilombolas ou Áreas de Amortecimento. Estudos demonstram que a proximidade de áreas protegidas influencia positivamente a valorização e a percepção dos serviços ecossistêmicos culturais, pois essas áreas podem abrigar sítios culturais, promover a conectividade ecológica e possibilitar o contato com tradições e conhecimentos ancestrais (PLIENINGER et al., 2015).

O estudo "Como a perda de unidades de conservação de proteção integral e terras indígenas influenciam a provisão de serviços ecossistêmicos" (SOARES, 2021), ressalta a importância das unidades de conservação e terras indígenas na preservação dos recursos naturais e na produção de benefícios ao bem-estar humano. Nesse contexto, a proximidade dos imóveis rurais com áreas protegidas ganha ainda mais importância, uma vez que essas áreas desempenham um papel essencial na manutenção dos recursos naturais e na conservação da biodiversidade. A presença de áreas protegidas próximas aos imóveis rurais pode contribuir para a promoção dos serviços ecossistêmicos culturais, possibilitando o contato com a natureza, a valorização das tradições culturais e o conhecimento tradicional associado aos recursos naturais. Portanto, a inclusão do critério de proximidade com áreas protegidas na metodologia adotada neste estudo busca ressaltar a importância desse aspecto na avaliação e valorização dos serviços ecossistêmicos culturais (SOARES, 2021).

Analisando a proximidade de áreas protegidas, foi constatado que as unidades de conservação federais mais próximas do município de Lavras são a Floresta Nacional de Ritópolis (63,2 km), a Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira (63,3 km) e o Parque Nacional da Serra da Canastra (122 km), conforme dados da base oficial do ICMBio. Essa constatação evidencia a ausência de unidades de conservação diretamente adjacentes ao município, o que pode representar uma lacuna em termos de proteção e conservação da biodiversidade local. É importante ressaltar que, embora não haja unidades de conservação próximas, é amplamente conhecido que existem áreas nas proximidades do município com alta

fragilidade ambiental. Essas áreas frágeis, que possuem importantes ecossistemas e recursos naturais, podem estar suscetíveis a pressões e ameaças decorrentes de atividades humanas e requerem uma atenção especial no contexto do planejamento e gestão ambiental.

Uma área com elevada fragilidade e importância ecossistêmica no município de Lavras, é o popularmente conhecido Parque Ecológico Quedas do Rio Bonito, porém, a falta de informações geoespaciais do parque, é um exemplo relevante para a discussão sobre a influência da proximidade de áreas protegidas na avaliação dos serviços ecossistêmicos culturais. Embora seja reconhecido pela população como um parque municipal, não foi possível encontrar o seu limite geoespacial em nenhuma base de dados oficiais do Brasil, o que impediu a sua inclusão na análise realizada neste estudo. Como resultado, todos os imóveis rurais do município receberam a mesma nota neste critério, uma vez que não foram identificadas áreas protegidas no limite do município.

Portanto, destaca-se que a necessidade de maior disponibilidade e acessibilidade de dados geoespaciais de áreas protegidas, incluindo parques municipais, para uma análise mais precisa e abrangente dos serviços ecossistêmicos culturais. A proximidade com áreas protegidas, quando existentes, pode trazer benefícios significativos para a valorização das tradições culturais, o contato com a natureza e a conservação dos recursos naturais. Portanto, é fundamental que os esforços sejam direcionados para a identificação e o mapeamento adequado dessas áreas, a fim de subsidiar políticas e ações voltadas à preservação e ao reconhecimento dos serviços ecossistêmicos culturais.

O critério Patrimônio Cultural considera as áreas de influência no patrimônio cultural, utilizando informações disponibilizadas pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico (IEPHA). O IEPHA-MG é uma fundação vinculada à Secretaria de Estado de Cultura que atua no campo das políticas públicas de patrimônio cultural em Minas Gerais. Sua trajetória envolve a pesquisa, proteção e promoção dos bens culturais materiais e imateriais do estado, em colaboração com os órgãos municipais e federais. O IEPHA-MG incorporou a abordagem do patrimônio cultural por meio de ações de registro do patrimônio imaterial e da implementação de práticas de inventário participativo em parceria com as comunidades locais. Busca-se ampliar essa prática fortalecendo a articulação sistêmica com as administrações locais e o papel do Conselho Estadual do Patrimônio como instância participativa e legitimadora da política estadual.

No município de Lavras, foram identificadas áreas de influência no patrimônio cultural relacionadas aos saberes, linguagens e expressões musicais da viola em Minas Gerais, bem como as folias de Minas. Estudos indicam que a presença de patrimônio cultural está

relacionada à valorização dos serviços ecossistêmicos culturais, proporcionando experiências imersivas e promovendo o sentimento de pertencimento e conexão com o ambiente (MILCU et al., 2013; PLIENINGER et al., 2013).

O critério Sítios Arqueológicos utiliza informações cadastradas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) para identificar a presença de sítios e bens arqueológicos nos imóveis rurais. O IPHAN é uma autarquia federal vinculada ao Ministério do Turismo responsável pela preservação do Patrimônio Cultural Brasileiro, protegendo e promovendo os bens culturais do país para assegurar sua permanência e usufruto pelas gerações presentes e futuras.

No município de Lavras, de acordo com a camada geoespacial do IPHAN, foram identificados quatro sítios arqueológicos, sendo três localizados no extremo norte e um no extremo nordeste. Para representar melhor a influência dos sítios na região, foi realizado um buffer de 1 km nos pontos dos sítios.

A preservação dos sítios arqueológicos é fundamental para a compreensão da história e das culturas passadas, além de contribuir para a valorização dos serviços ecossistêmicos culturais. Estudos destacam a importância da conservação dos sítios arqueológicos como forma de preservar a memória coletiva e promover o turismo cultural (GOMEZ-BAGGETHUN et al., 2010; MOORE et al., 2020). Esses estudos evidenciam a conexão entre os sítios arqueológicos e os serviços ecossistêmicos culturais, como a educação ambiental, a valorização da identidade cultural, a geração de renda e a promoção do desenvolvimento local sustentável. Pesquisa realizada por Gomez-Baggethun et al. (2010) no Parque Nacional de Guadarrama, na Espanha, identificou que a preservação dos sítios arqueológicos contribui para o fortalecimento da identidade cultural local e para o aumento do turismo, gerando benefícios econômicos e sociais para a região. Da mesma forma, um estudo conduzido por Moore et al. (2020) no Canadá evidenciou a importância dos sítios arqueológicos na promoção do turismo cultural e na valorização da herança cultural, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das comunidades locais.

Esses exemplos demonstram a relevância dos sítios arqueológicos como elementos integrantes dos serviços ecossistêmicos culturais, destacando a necessidade de sua conservação e proteção como forma de preservar a memória coletiva, promover o turismo cultural e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico sustentável das comunidades.

6.5.1 Implicações do IIE Cultural

O índice de importância ecossistêmica cultural (IIE Cultural) é uma ferramenta de avaliação que busca mensurar a relevância dos serviços ecossistêmicos culturais em determinada área. O IIE Cultural utiliza critérios como Tipo do Imóvel, Áreas Protegidas, Patrimônio Cultural e Sítios Arqueológicos para sua avaliação, proporcionando uma análise mais abrangente e integrada dos aspectos culturais dentro do contexto dos serviços ecossistêmicos. O índice, portanto, desempenha um papel fundamental no planejamento e gestão ambiental, fornecendo subsídios para a tomada de decisões que visem à conservação e valorização dos serviços ecossistêmicos culturais.

Crítérios socioambientais e culturais têm sido utilizados em diversos estudos e programas para avaliar os serviços ecossistêmicos culturais como indicadores de sustentabilidade e bem-estar humano (PARACCHINI et al., 2014). Por exemplo, estudo conduzido por Plieninger et al. (2013) utilizou critérios socioambientais e culturais para avaliar a importância dos serviços ecossistêmicos culturais em paisagens rurais da Europa. Os resultados mostraram que a valorização dos serviços culturais, como a beleza cênica e os sítios culturais, desempenha um papel crucial na promoção da qualidade de vida e na manutenção da biodiversidade nessas paisagens.

Apesar das aplicações práticas e dos avanços na avaliação dos serviços ecossistêmicos culturais por meio do IIE Cultural, é importante destacar que essa modalidade de serviço tem enfrentado desafios significativos na obtenção de dados e informações para sua mensuração (PARACCHINI et al., 2014). Diferentemente dos serviços ecossistêmicos relacionados à provisão de recursos naturais, como a água e a madeira, a mensuração dos serviços culturais envolve uma dimensão subjetiva e socialmente construída, tornando-se mais complexa.

Essa lacuna no conhecimento sobre os serviços ecossistêmicos culturais e seus critérios socioambientais reflete a necessidade de um maior investimento em pesquisas e coleta de dados relacionados a essa temática. É fundamental que sejam desenvolvidos mais estudos e programas que busquem compreender e mensurar os serviços culturais, identificando suas conexões com o meio ambiente e as sociedades, a fim de subsidiar a tomada de decisões informadas e promover a conservação e valorização desses serviços.

6.6 Constatações e implicações do Índice Final

O índice de importância ecossistêmica Final (IIE Final) é formado pela combinação dos quatro índices específicos - provisão, suporte, regulação e cultural - e fornece um valor que

representa o potencial de prestação dos serviços ecossistêmicos pelo imóvel rural. Esse índice desempenha um papel crucial no direcionamento de programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), tornando o processo de alocação de recursos mais técnico e embasado cientificamente. Ao avaliar e integrar diferentes modalidades de serviços ecossistêmicos, o IIE Final permite uma abordagem abrangente para a gestão ambiental, considerando tanto aspectos socioeconômicos quanto ecológicos.

Uma das principais vantagens do IIE Final é sua adaptabilidade, pois os pesos atribuídos aos critérios e modalidades de serviços ecossistêmicos podem ser ajustados de acordo com os objetivos específicos do programa de PSA. Isso confere flexibilidade à metodologia e a torna aplicável a diferentes contextos e necessidades. Por exemplo, um programa de PSA que valoriza principalmente a conservação da biodiversidade pode atribuir um peso maior ao índice de suporte, enquanto um programa voltado para a conservação e melhoria dos recursos hídricos, pode enfatizar o índice de provisão e regulação. Essa capacidade de personalização do índice aumenta sua utilidade prática e sua relevância para a tomada de decisões.

Diversos programas de PSA já foram implementados em diferentes partes do mundo, beneficiando tanto os proprietários rurais quanto a conservação do meio ambiente (WUNDER, 2007). O IIE Final pode aprimorar e apoiar ainda mais esses programas, fornecendo uma ferramenta objetiva e baseada em evidências para a alocação de recursos. Por exemplo, o Programa Bolsa Floresta, desenvolvido no estado do Amazonas, Brasil, utiliza critérios socioambientais para identificar as áreas prioritárias para a compensação financeira aos proprietários rurais que contribuem para a conservação da floresta (VIANA et al., 2021). O IIE Final poderia ser incorporado a um programa como este, melhorando a seleção e a priorização das áreas participantes.

Outro exemplo prático de programa de PSA que pode, eventualmente, se beneficiar do índice de importância ecossistêmica Final (IIE Final) é o Plano Conservador da Mantiqueira (PCM). O PCM é uma iniciativa coletiva que busca a restauração de 1,5 milhões de hectares em mais de 425 municípios na região da Serra da Mantiqueira, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O programa reúne entidades governamentais, iniciativas privadas, comitês de bacias hidrográficas, unidades de conservação, ONGs e universidades, destacando a importância da colaboração para a implementação de medidas efetivas de combate às mudanças climáticas e a conservação da biodiversidade (PCM, 2016).

No âmbito do PCM, a utilização do IIE Final poderia ser uma ferramenta auxiliar para direcionar os recursos de PSA de forma mais técnica e embasada cientificamente. Ao considerar os critérios e indicadores específicos dos serviços ecossistêmicos, o IIE Final poderia auxiliar

na priorização das áreas para restauração e compensação financeira aos proprietários rurais que contribuem para a conservação da região. Essa abordagem direcionada e baseada em evidências aumentaria a eficiência do programa, maximizando os benefícios socioeconômicos e ambientais alcançados.

Outro exemplo é o Programa Produtor de Águas (PPA), lançado pela Agência Nacional de Águas (ANA), é um programa de PSA voltado para o controle dos impactos negativos das propriedades rurais em bacias hidrográficas estratégicas no Brasil (ANA, 2012). Ao aplicar o IIE Final no contexto do PPA, os critérios e indicadores específicos relacionados à provisão, suporte, regulação e serviços culturais poderiam ser ponderados e utilizados para identificar áreas prioritárias de investimento em práticas de conservação e restauração, visando a proteção dos recursos hídricos e a promoção da sustentabilidade socioeconômica e ambiental.

Outro exemplo relevante é o Programa Conservador de Águas do município de Extrema (MG), que atua em parceria com o PPA desde 2005 (PEREIRA et al., 2016). Esse programa tem como objetivo principal aumentar a cobertura vegetal, implantar corredores ecológicos e reduzir a poluição rural, garantindo a sustentabilidade socioeconômica e ambiental por meio de incentivos financeiros aos proprietários rurais (JARDIM; BURSZTYN, 2015). Com a aplicação do IIE Final, seria possível direcionar os recursos do programa de forma mais eficiente, considerando a importância dos serviços ecossistêmicos específicos na região, como a regulação hídrica e a valorização cultural da paisagem. Essa abordagem direcionada permitiria maximizar os resultados positivos em termos de conservação dos recursos naturais e bem-estar humano.

De maneira geral, a metodologia e os índices apresentados neste estudo possuem o potencial de apoiar processos de tomada de decisão em gestão ambiental. Ao considerar a provisão, o suporte, a regulação e os serviços ecossistêmicos culturais, o IIE Final oferece uma abordagem integrada para avaliar e valorizar o papel dos imóveis rurais na provisão de serviços ecossistêmicos. Isso pode resultar em uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos naturais, considerando tanto os benefícios socioeconômicos quanto a conservação ambiental (FISCHER et al., 2012).

Através da observação do mapa indicativo dos imóveis classificados como Classe V no IIE Final (Figura 20), foi possível notar que a maior concentração desses imóveis se encontra na porção sul do município, próxima à Serra da Bocaina, também conhecida como Serrinha (Figura 20D) e (Figura 20C). Essa constatação está em consonância com um estudo recente realizado por Cartolano et al. (2022), que definiu áreas prioritárias para a restauração ecológica no município de Lavras. O estudo concluiu que a porção sul do município, especialmente as áreas

próximas à Serra da Bocaina, apresentam áreas prioritárias para a restauração ecológica, possivelmente com maiores taxas de fragilidade ambiental, o que demanda uma maior atenção relacionada às políticas públicas e incentivos à conservação.

Além disso, outro ponto observado na porção sul do município (Figura 20D) é a presença de imóveis rurais que se sobrepõem e circundam o Parque Quedas do Rio Bonito, também classificados com as maiores notas (classe V), o que fortalece ainda mais os resultados obtidos com a metodologia utilizada neste estudo, visto que já são áreas protegidas e que estão sendo contempladas atividades de turismo sustentável.

A análise do mapa final também revela a presença de um grupo de imóveis classificados com a classe V na porção nordeste do município (Figura 20B). Ao examinar esses imóveis de forma mais detalhada, pode-se concluir que eles apresentam notas elevadas em relação aos serviços de suporte, sendo que todos receberam uma pontuação superior a 80 nessa modalidade. Além disso, esses imóveis estão localizados em uma região que abriga um sítio arqueológico, o que contribuiu para uma pontuação mais alta no IIE Final. Esses resultados corroboram a metodologia utilizada neste estudo e destacam a importância de considerar não apenas os aspectos naturais, mas também os aspectos culturais e arqueológicos na avaliação da integridade ecológica de uma região. Essas informações são relevantes para orientar estratégias de conservação e gestão ambiental nessa área específica do município de Lavras.

Além disso, ainda baseado na análise do mapa da Figura 20, os resultados revelam a presença de uma mancha de imóveis classificados como classe V na parte noroeste do município (Figura 20A). Ao examinar esses imóveis, observou-se que todos eles possuem mais de 20% de suas áreas cobertas por vegetação nativa, atendendo aos requisitos mínimos de Reserva Legal, e ainda apresentam excedente de vegetação nativa. Essa característica é de grande relevância para a integridade ecológica da região, contribuindo para a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. Outro ponto, é que essa região está próxima ao Rio Grande, importante manancial de abastecimento do município de Lavras, e todos esses imóveis possuem trechos de drenagem em seu interior, além de muitos deles abrigam nascentes, representando uma provisão direta de recursos hídricos. Além disso, é importante mencionar que esses imóveis estão em uma área de influência do patrimônio cultural, conforme mapeamento realizado pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico (IEPHA), o que também contribuiu para sua destacada pontuação no Índice de Integridade Ecológica (IIE) Final. Esses resultados reforçam a importância desses imóveis na conservação da biodiversidade, na proteção dos recursos hídricos e na valorização do patrimônio cultural local.

O Rio Grande desempenha um papel fundamental no abastecimento do município de Lavras. Como uma importante fonte de água, o rio é responsável pelo fornecimento de recursos hídricos para a população, a agricultura, produção hidroelétrica e outras atividades econômicas da região. Portanto, a preservação e conservação do Rio Grande são essenciais para garantir a disponibilidade contínua e a qualidade da água fornecida à população de Lavras.

Na porção sudoeste do município de Lavras, alguns imóveis também foram classificados como V (Figura 20C). Esses imóveis se destacam, de forma geral, pela presença de nascentes em seu interior, o que contribui para uma nota na provisão de recursos hídricos. Além disso, essas propriedades apresentam um percentual de vegetação nativa acima do mínimo exigido de 20%, demonstrando a conservação da cobertura vegetal. Também se observa a conexão desses imóveis com fragmentos florestais maiores que 1 hectare, indicando a importância dessas áreas para a conectividade da paisagem e a conservação da biodiversidade. Na avaliação do IIE Regulação, os imóveis obtiveram boas notas, com excedente de vegetação em relação à Reserva Legal e preservação adequada das Áreas de Preservação Permanente (APPs). Alguns desses imóveis estão localizados em áreas mais suscetíveis à erosão, o que ressalta a importância de medidas de conservação do solo. No entanto, esses imóveis apresentaram uma pontuação mais baixa no critério de estoque de carbono, esse fator pode estar diretamente relacionado à predominância de vegetação típica dos campos das vertentes, caracterizada por pastagens naturais com menor estoque de carbono. Vale ressaltar que, exceto pelos imóveis mais centrais, essa região não é relevante para os serviços ecossistêmicos culturais, de acordo com a metodologia e as bases de dados utilizadas.

Diante de todo o exposto, ressalta-se que no contexto da gestão ambiental, os Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) são instrumentos econômicos estratégicos para reconhecer e recompensar os proprietários rurais ou comunidades locais que adotam práticas de conservação de ecossistemas e restauração ambiental. Nesse contexto, a utilização de informações geoespaciais, aliada a indicadores técnicos e científicos, pode contribuir de forma substancial para aprimorar a análise e seleção dos imóveis que serão beneficiados pelos programas de PSA. A mensuração dos serviços ecossistêmicos com base em dados espaciais permite uma abordagem mais objetiva e transparente, considerando a localização geográfica, as características do ecossistema e a distribuição dos serviços ao longo do território. Essa abordagem mais técnico-científica promove uma melhor alocação dos recursos, garantindo que sejam direcionados para áreas de maior relevância em termos de serviços ecossistêmicos, maximizando os benefícios socioambientais e a sustentabilidade dos ecossistemas.

Em suma, a incorporação dessas abordagens nos programas de PSA pode potencializar sua eficácia e contribuir para a conservação dos ecossistemas, promovendo o desenvolvimento socioeconômico em harmonia com a preservação ambiental.

7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

- A metodologia proposta resultou em quatro índices de importância ecossistêmica específicos (IIE Provisão, IIE Suporte, IIE Regulação e IIE Cultural), que permitiram a avaliação individual dos imóveis em relação a cada uma das modalidades de serviços ecossistêmicos. Esses índices específicos serviram de parâmetros para calcular o IIE Final, que representa o serviço ecossistêmico total prestado no imóvel rural, com base na avaliação e ponderação de todos os critérios e indicadores do estudo.
- Ao aplicar a metodologia proposta no município de Lavras, foi possível realizar o zoneamento das propriedades rurais. Identificamos que 187 imóveis rurais estão classificados na classe V de IIE Final, representando propriedades com maior potencial na prestação de serviços ecossistêmicos. Esses imóveis emergem como candidatos prioritários para o recebimento de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA).
- O potencial dos imóveis rurais no município de Lavras para a prestação de serviços ecossistêmicos foi evidenciado por meio dos resultados obtidos com a metodologia proposta. Esses resultados fornecem subsídios importantes para auxiliar em processos de tomada de decisão em gestão ambiental, direcionamento de políticas públicas e ações que visam à conservação e uso sustentável dos recursos naturais, contribuindo para a promoção da sustentabilidade ambiental em âmbito local e regional.
- A obtenção e o ordenamento das bases de dados geoespaciais foram etapas fundamentais para o desenvolvimento do trabalho. Por meio do processamento dessas bases, foi possível analisá-las e qualificá-las de acordo com a metodologia proposta, contribuindo para a obtenção de informações geoespaciais relevantes e confiáveis. Assim, obtendo um banco de dados geoespacial com informações chave para o planejamento e gestão ambiental do município de Lavras-MG. É importante destacar que todas as bases de dados utilizadas neste estudo são de fontes secundárias e públicas, disponíveis gratuitamente. Essa abordagem permite que a metodologia seja replicada de forma efetiva em outros contextos.
- A metodologia desenvolvida neste estudo apresenta um elevado potencial para apoiar diferentes iniciativas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Sua flexibilidade

em relação à ponderação das modalidades de serviços ecossistêmicos e dos diversos critérios estabelecidos permite sua adaptação às diferentes demandas e objetivos das iniciativas de PSA. Essa capacidade de ajuste torna a metodologia aplicável não apenas no âmbito do município de Lavras, mas também em outros municípios, em nível estadual, em bacias hidrográficas ou em regiões estratégicas.

- A metodologia proposta fortalece a gestão ambiental e a tomada de decisão por meio de informações geoespaciais. A integração de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a análise de dados permitem identificar áreas estratégicas e alocar recursos de forma eficiente, ampliando o impacto das ações de PSA.
- A metodologia desenvolvida neste estudo apresenta um potencial adicional quando combinada com outras ferramentas tecnológicas e de *Business Intelligence*. A partir das bases de dados adquiridas e processadas, é possível criar aplicações webGIS interativas. Essas aplicações permitem uma análise mais ágil e prática, fornecendo suporte valioso para iniciativas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e outras tomadas de decisão ambiental.
- A aplicação da metodologia permitiu avaliar de forma assertiva e integrada os potenciais serviços ecossistêmicos fornecidos por essas propriedades, fornecendo informações essenciais para programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e estratégias de implementação da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA).

REFERÊNCIAS

- ALARCON, G. G. É pagando que se preserva?: Limitações e oportunidades do pagamento por serviços ambientais como instrumento de conservação de recursos florestais no corredor ecológico chapecó, Santa Catarina. 2014. 244 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728, 2013.
- ALVES, F. V. et al. Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. *Embrapa Gado de Corte*, jun. 2015.
- ALVES, W. S. et al. Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do ribeirão Douradinho, no sudoeste de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 1093, 2 jun. 2019.
- ANA - Agência Nacional de Águas. Manual Operativo: Programa Produtor de Água. 2ª edição, Brasília/DF, 2012.
- ANJOS, M. P. et al. Pagamento por serviços ambientais (PSA) como indutor de governança ambiental local: o plano conservador da mantiqueira, minas gerais. *Caminhos de Geografia*, [S.L.], v. 23, n. 87, p. 103-123, 1 jun. 2022.
- ARAÚJO, T. M. S.; BASTOS, F. H. Corredores ecológicos e conservação da biodiversidade: aportes teóricos e conceituais. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (Rcgs)*, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 716-729, 30 set. 2019.
- BARBOZA, E. N. et al. Caracterização hidrológica de uma microbacia por sistema de informações geográficas (sig) objetivando identificar parâmetros pluviométricos. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 11, n. 2, 29 jan. 2022.
- BASKENT, E. Z. et al. A Design for Addressing Multiple Ecosystem Services in Forest Management Planning. *Forests*, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 1108, 19 out. 2020.

BENÍCIO, R. M. A. et al. Carbon stock and sequestration as a form of payment for environmental services in a sedimentary basin humid forest refuge in Brazilian semiarid. *Environmental Development*, [S.L.], v. 45, p. 100796, mar. 2023.

BONAN, G. B. Forests and Climate Change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, [S.L.], v. 320, n. 5882, p. 1444-1449, 13 jun. 2008.

BONO, J. A. M. et al. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. *Pasturas Tropicales*, Cali, v. 18, n. 2, p. 2-8, ago. 1996.

BORGES, L. A. C. et al. A influência do tamanho do imóvel rural sobre as áreas de preservação permanente de corpos d'água. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 18, n. 64, p. 444-453, 2017.

BRANCALION, P. H. S. et al. Maximizing biodiversity conservation and carbon stocking in restored tropical forests. *Conservation Letters*, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 1-10, 16 abr. 2018.

BRASIL (Estado). Decreto nº 43.029, de 15 de junho de 2011. Regulamenta o programa estadual de conservação e revitalização de recursos hídricos - PROHIDRO, previsto nos artigos 5º e 11 da lei nº 3.239, de 02 de agosto de 1999, que instituiu a política estadual de recursos hídricos, e dá outras providências. *Atos do Poder Executivo*, Rio de Janeiro, 16 jun. 2011. Disponível em: <<http://www.pesquisaatosdoexecutivo.rj.gov.br/Home/Detalhe/85094>>. Acesso em: 22 de jun. de 2022.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 22 de jun. de 2022.

BRASIL. Corredores Ecológicos: iniciativa brasileira no contexto continental. Brasília: República Federativa do Brasil, Documento de Trabalho, 2016. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/areas-protegidas/instrumentos-de-gestao/corredores-ecologicos/item/download/1013_e6d1732ce3f3267573152c2808806f69.html. Acesso em: 22 de jun. de 2022.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 de maio de 2012. Disponível

em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 22 de jun. de 2022.

BRASIL. Lei nº 13.465, de 11 de julho de 2017. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal; institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União (...). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 de julho de 2017. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113465.htm>. Acesso em: 22 de jun. de 2022.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Dispõe sobre a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais - PSA, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 de janeiro de 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394>>. Acesso em: 01/08/2022.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 de setembro de 1965. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14771.htm>. Acesso em: 22 de jun. de 2022.

BRASIL. Lei nº 6.746, de 10 de dezembro de 1979. Altera o disposto nos arts. 49 e 50 da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 (Estatuto da Terra), e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 de dezembro de 1979. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1970-1979/16746.htm. Acesso em: 22 de jun. de 2023.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 de agosto de 1981. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm>. Acesso em: 22 de jun. de 2022.

BRASIL. Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de fevereiro de 1993. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18629.htm>. Acesso em: 22 de jun. de 2023.

BRUIJNZEEL, L.A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [S.L.], v. 104, n. 1, p. 185-228, set. 2004.

BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. *Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change*, [S.L.], v. 24, n. 7, p. 1249-1270, 25 abr. 2019.

CARNEIRO, J. P.; SOUSA, J. Pagamento de serviços ambientais: uma análise sobre sua implantação. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, [S.L.], v. 9, n. 18, p. 1-12, 28 jul. 2020.

CARTOLANO, R. T. et al. Definição de áreas prioritárias para restauração ecológica: análise de decisão multicritério como instrumento para o planejamento ambiental. Nova Xavantina-MT: Pantanal Editora, 2022. E-book, Disponível em: <https://doi.org/10.46420/9786581460600>. Acesso em: 01 de ago. de 2022.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. Inventário florestal de Minas Gerais: Monitoramento da Flora Nativa. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 357p, 2008.

CAVALLARI, R. L.; TAMAE, R. Y.; ROSA, A. J. A importância de um sistema de informações geográficas no estudo de microbacias hidrográficas. *Revista Científica Eletônica de Agronomia, Garça/ Sp*, n. 11, jun. 2007.

CHAN, S. W. et al. A systematic review of the flood vulnerability using geographic information system. *Heliyon*, [S.L.], v. 8, n. 3, mar. 2022.

CHAVE, J. et al. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, [S.L.], v. 20, n. 10, p. 3177-3190, 21 jun. 2014.

CHAZDON, R. L. et al. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Science Advances*, [S.L.], v. 2, n. 5, p. 1-10, 6 maio 2016.

CHIODI, R. E.; MARQUES, P. E. M. Políticas públicas de pagamento por serviços ambientais para a conservação dos recursos hídricos: origens, atores, interesses e resultados da ação institucional. *Desenvolv. Meio Ambiente*, v. 45, p. 81-104, 2018.

CHIODI, R. E.; SARCINELLE, O.; UEZU, A. Gestão dos recursos hídricos na área do Sistema Produtor de Água Cantareira: um olhar para o contexto rural. *Ambiente e Água*, [S.L.], v. 8, n. 3 2013.

CHRISMAN, N. R. Geographic Information Systems, History of. *International Encyclopedia Of Human Geography*, [S.L.], p. 43-47, 2020.

MACEDO, F.; ANTONIAZZI, L. Pagamento por Serviços Ambientais: incentivos financeiros para a conservação da natureza. *Conservação Internacional Brasil*. Brasília/Df: GGP, 2021. Disponível em: <https://www.conservation.org/docs/default-source/brasil/ggp_genero_cartilha_9_pt_web.pdf>. Acesso em: 22 de jan. 2023.

COELHO, N. R. et al. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 409-415, jun. 2021.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, [S.L.], v. 387, n. 6630, p. 253-260, maio 1997.

CRUZ, C. L. Z.; CRUZ, C. B. M. Avaliação da exatidão temática da cobertura e uso da terra representada através do mapbiomas no Rio de Janeiro. *Geographia*, [S.L.], v. 23, n. 50, 1 mar. 2021.

DANTAS, A. A. A. et al. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(6): 1862-1866, 2007.

DE CASTRO, B.S.; YOUNG, C.E.F.; SOUZA, P.V. An Overview of State-level Initiatives of Payment for Ecosystem Services in Brazil. In: NAMIREMBE, S.; LEIMONA, B.; VAN NOORDWIJK, M.; MINANG P. (org.). *Coinvestment in ecosystem services: global lessons from payment and incentive schemes*. Nairóbi: World Agroforestry Centre (ICRAF), 2017. p. 1-11.

DÉMURGER, S.; PELLETIER, A. Volunteer and satisfied? Rural households' participation in a payments for environmental services programme in Inner Mongolia. *Ecological Economics*, [S.L.], v. 116, p. 25-33, ago. 2015.

DRUMMOND, G. M. et al. *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

EMATER - Empresa de assistência técnica e extensão rural do estado de MG. Programa Produtor de Água. 2018.

FAO. Land evaluation: Towards a revised framework. Land and water discussion paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 2007.

FARIAS, T.; RÉGIS, A. A. A Lei da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Revista Consultor Jurídico, 27 fev. 2021.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. Mapa de solos do estado de Minas Gerais, 2010. Disponível em: <<http://www.feam.br/banco-de-noticias/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>>. Acesso em: 05 fev. 2022.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. Revista Geografias, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 70–81, 2013.

FERRAZ, S. F. B. et al. How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning? Landscape Ecology, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 187-200, fev. 2014.

FERREIRA, J. et al. Brazil's environmental leadership at risk. Science, [S.L.], v. 346, n. 6210, p. 706-707, 7 nov. 2014.

FERREIRA, Z. R. et al. Cotas de reserva ambiental: um estudo por meio dos critérios de avaliação de política pública ambiental. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 10, n. 3, p. 219-246, set. 2021.

FIDALGO, E. C. C. et al. Manual para pagamento por serviços ambientais hídricos: seleção de áreas e monitoramento. Embrapa Solos, 2017.

FISCHER, J. et al. Conservation policy in traditional farming landscapes. Conservation Letters, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 167-175, 8 mar. 2012.

FRANÇA, L. C. J. et al. AHP approach applied to multi-criteria decisions in environmental fragility mapping. Revista Floresta, 50(3): 1623-1632, 2020.

FRANCHINI, M. A. et al. Brazilian Agriculture and the International Political Economy of Climate Change. Environment & Policy, [S.L.], p. 67-84, 2023.

GARRETT, R. D. et al. Should payments for environmental services be used to implement zero-deforestation supply chain policies? The case of soy in the Brazilian Cerrado. *World Development*, [S.L.], v. 152, p. 105814, abr. 2022.

GBIF - The Global Biodiversity Information Facility. What is GBIF? Disponível em: <<https://www.gbif.org/what-is-gbif>>. Acesso em: 22 jun. de 2023.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E. et al. The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, [S.L.], v. 69, n. 6, p. 1209-1218, abr. 2010.

GOODCHILD, M. Geographical information science: fifteen years later. *Classics From Ijgis: Twenty years of the International Journal of Geographical Information Science and Systems*. N.I, jan. 2006.

GRISCOM, B. W. et al. Natural climate solutions. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, [S.L.], v. 114, n. 44, p. 11645-11650, 16 out. 2017.

GROOT, R. S. de et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 260-272, set. 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades e Estados*, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/lavras/panorama>. Acesso em: 05 jul. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal*. 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 05 fev. 2022.

IMPROTA, F. M. et al. Geotecnologia aplicada à gestão de programas de pagamento de serviços ambientais: o caso de Rio Claro, Rio de Janeiro. *Revista Tamoios*, [S.L.], v. 16, n. 2, 3 jul. 2020.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Governança Fundiária: Módulo Fiscal*, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/modulo-fiscal/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

IPBES. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany, 2019.

IPCC, 2013. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas inventories: Wetlands. [Hiraishi, T., T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda, and T.G. Troxler (eds).]. IPCC, Switzerland, 2013.

IPCC. Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. 2018. 32p. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>. Acesso em: 27 fev. 2020.

ITO, J. Program design and heterogeneous treatment effects of payments for environmental services. *Ecological Economics*, [S.L.], v. 191, 2022.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). *Eng Sanit Ambient*. v.20 n.3, 2015.

JETZ, W. et al. Projected Impacts of Climate and Land-Use Change on the Global Diversity of Birds. *Plos Biology*, [S.L.], v. 5, n. 6, p. 1-10, 5 jun. 2007.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, [S.L.], v. 76, n. 1, p. 1-10, 7 abr. 2009.

LACERDA, H. C. et al. Estudo da Susceptibilidade à Erosão Laminar em Bacia Hidrográfica da Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*. [S.L.], v. 14, n. 03, p. 1707-1723, 2021.

LAWLER, J. J. et al. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the United States. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, [S.L.], v. 111, n. 20, p. 7492-7497, 5 maio 2014.

LEAL, M. S. et al. Caracterização hidroambiental de nascentes. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 12, n. 1, 1 jan. 2017.

LEHTINIEMI, H. et al. Pulling biodiversity offsetting in different directions – Stakeholder frames in the preparation of the Finnish nature conservation act. *Biological Conservation*, [S.L.], v. 283, p. 110137, jul. 2023.

LI, Z. et al. Future Impacts of Land Use Change on Ecosystem Services under Different Scenarios in the Ecological Conservation Area, Beijing, China. *Forests*, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 584, 22 maio 2020.

LIMA, G. C. et al. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S.L.], v. 18, n. 5, p. 517-526, maio 2014.

LIMA, L. A. de; MARTINS, K. O marco legal do pagamento por serviços ambientais para o avanço de iniciativas agrosustentáveis. *Brazilian Journal Of Development*, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 45720-45738, 13 jun. 2022.

MACEDO, R. C. et al. Valoração ambiental e geotecnologias: integração entre ciências sociais e geociências. *Revista Brasileira de Cartografia*, [S.L.], v. 68, n. 20 fev. 2016.

MACHADO, A. C. P. et al. Does a coffee plantation host potential pollinators when it is not flowering? Bee distribution in an agricultural landscape with high biological diversity in the Brazilian Campo Rupestre. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, [S.L.], v. 101, n. 6, p. 2345-2354, 17 out. 2020.

MADON, B. et al. A review of biodiversity research in ports: let's not overlook everyday nature!. *Ocean & Coastal Management*, [S.L.], v. 242, p. 106623, ago. 2023.

MAMEDES, I. et al. Brazilian payment for environmental services programs emphasize water-related services. *International Soil And Water Conservation Research*, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 276-289, jun. 2023.

MARCO, P. de et al. The value of private properties for the conservation of biodiversity in the Brazilian Cerrado. *Science*, [S.L.], v. 380, n. 6642, p. 298-301, 21 abr. 2023.

MARQUES, T. B. G. *Business Intelligence Mobile: Telecommunications Dashboards*. NOVA, Lisboa, 2015.

MATOS, E. da S. et al. Estoques de carbono do solo em sistemas de recomposição florestal na região de transição Amazônia/Cerrado. Brasília: Embrapa, 2019.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Conexão Mata Atlântica. 2023. Disponível em: <<https://conexaomataatlantica.mctic.gov.br/>>. Acesso em: 12 de junho de 2023.

MENEZES GOMES, H. Pagamento por serviços ambientais: um instrumento de incentivo à Gestão Ambiental. Guia Universitário de Informações Ambientais, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 59–60, 2021.

MERRY, K. et al. Geographic information systems. Geographic Information System Skills For Foresters And Natural Resource Managers, [S.L.], p. 1-23, 2023.

METZGER, J. P. et al. Why Brazil needs its Legal Reserves. Perspectives In Ecology And Conservation, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 91-103, jul. 2019.

MILCU, A. I. et al. Cultural Ecosystem Services: A Literature Review and Prospects for Future Research. Ecology and Society, vol. 18, no. 3, 2013.

MILHORANCE, C. et al. The politics of climate change adaptation in Brazil: framings and policy outcomes for the rural sector. Environmental Politics, [S.L.], v. 31, n. 2, p. 183-204, 11 abr. 2021.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington, DC: Island, 2003. 245 p. Disponível em: <<http://www.millenniumassessment.org/en/Framework.html>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

MONTERO-DE-OLIVEIRA, F. E.; BLUNDO-CANTO, G.; EZZINE-DE-BLAS, D. Under what conditions do payments for environmental services enable forest conservation in the Amazon? A realist synthesis. Ecological Economics, [S.L.], v. 205, p. 107697, mar. 2023.

MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. Proceedings Of The National Academy Of Sciences, [S.L.], v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 14 ago. 2007.

MOORE, T. et al. The place of archaeology in integrated cultural landscape management. Journal Of European Landscapes, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 9-28, 1 maio 2020.

MORANDI, D. T. et al. Delimitation of ecological corridors between conservation units in the Brazilian Cerrado using a GIS and AHP approach. *Ecological Indicators*, [S.L.], v. 115, p. 106440, ago. 2020.

MORTIMER, R. et al. Supporting and regulating ecosystem services in cacao agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, [S.L.], v. 92, n. 6, p. 1639-1657, 5 ago. 2017.

MURADIAN, R. et al. Reconciling theory and practice: an alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecological Economics*, [S.L.], v. 69, n. 6, p. 1202-1208, abr. 2010.

NISHIZIMA, M. L.; HILÁRIO, G. P. Restauração ecológica de Áreas de Preservação Permanente e pagamentos por serviços ambientais. *Geografia em Atos (Online)*, [S.L.], v. 1, n. 9, p. 66-77, 21 mar. 2019.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. et al (ed.). *Serviços ecossistêmicos e pagamento por serviços ambientais: aspectos teóricos e estudo de caso*. Brasília, Df: Embrapa, 2022. 135 p.

OLIVEIRA, A. G. de et al. Utilização do Sistema de Informação Geográfica–SIG na análise estrutural da vegetação: o exemplo de Salvador, Bahia – Brasil. *Brazilian Applied Science Review*, 3(2), 1253–1279, 2019.

OLIVEIRA, C. M. M. et al. Delimitação de Áreas de Preservação Permanente em diferentes resoluções espaciais. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 43(1): 171-180, 2020.

OLIVEIRA, P. J. L. de et al. Regulation ecosystem services in a watershed in the sem-arid of Brazil. *Mercator*, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 1-18, 15 dez. 2022.

PACHECO, B. de O. S. et al. O Projeto Conservador das Águas: análise de uma política pública em extrema/mg. *Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional*, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 159, 30 jun. 2017.

PAN, Y. et al. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, [S.L.], v. 333, n. 6045, p. 988-993, 19 ago. 2011.

PARACCHINI, M. L. et al. Mapping cultural ecosystem services: a framework to assess the potential for outdoor recreation across the eu. *Ecological Indicators*, [S.L.], v. 45, p. 371-385, out. 2014.

PARRON, L. M. et al. Research on ecosystem services in Brazil: a systematic review. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 1, 6 maio 2019.

PEREIRA et al. Projeto Conservador das Águas. Prefeitura Municipal de Extrema, Minas Gerais/MG, 2016.

PEREIRA, M. A. S. et al. Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. *GEOGRAFIA (Londrina)*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 5–24, 2010.

PEREVOCHTCHIKOVA, M. et al. A systematic review of scientific publications on the effects of payments for ecosystem services in Latin America, 2000–2020. *Ecosystem Services*, v.49, 2021.

PHAM, V. T. et al. Can payments for forest environmental services help improve income and attitudes toward forest conservation? Household-level evaluation in the Central Highlands of Vietnam. *Forest Policy And Economics*, [S.L.], v. 132, p. 102578, nov. 2021.

PINHEIRO et al. Instrumentos econômicos aliados à gestão dos recursos hídricos: estudo comparativo de experiências brasileiras. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n.1, p. 9530-9549, 2021.

PLIENINGER, T. et al. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy*, [S.L.], v. 33, p. 118-129, jul. 2013.

POCIDONIO, E. A. L.; TURETTA, A. P. D. Programas de Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos, 2012.

PRADO, R. B. et al. Evolução das iniciativas de pagamentos por serviços ambientais hídricos no Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 26444, 15 jul. 2019.

QUEIROZ-STEIN, G. de; SIEGEL, K. M. Possibilities for mainstreaming biodiversity? Two perspectives on the concept of bioeconomy. *Earth System Governance*, [S.L.], v. 17, p. 100181, ago. 2023.

REIS, H. et al. Análise da composição florística, diversidade e similaridade de fragmentos de mata atlântica em minas gerais. *Cerne*, Lavras, v. 13, n. 3, p. 280-290, jul. 2007.

REQUIER, F. et al. Bee and non-bee pollinator importance for local food security. *Trends In Ecology & Evolution*, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 196-205, fev. 2023.

RODRÍGUEZ, L. C et al. Towards a unified scheme for environmental and social protection: learning from pes and cct experiences in developing countries. *Ecological Economics*, [S.L.], v. 70, n. 11, p. 2163-2174, set. 2011.

ROSENDO, J. dos S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. *Sociedade & Natureza*, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 359-376, ago. 2012.

SANTIAGO, D. G.; SALADINO, A. Os tempos e suas sentenças: motivações, critérios e diretrizes no tombamento de sítios arqueológicos pelo iphan. *Revista Memorare*, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 178, 19 dez. 2016.

SANTOS, P. et al (org.). *Marco Regulatório sobre Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil*. Belém, Pa: Imazon, Fundação Getúlio Vargas – FGV, 2012.

SANTOS, R. D. et al. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5ª ed. revisada e ampliada. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 92p, 2005.

SANTOS, S. D. et al. Análise espacial da vegetação nativa em áreas de preservação permanente e de reserva legal e suas implicações legais, na bacia do rio Buranhém, nos estados de Minas Gerais e Bahia. *Caminhos de Geografia*, [S.L.], v. 22, n. 84, p. 200-214, 15 dez. 2021.

SEOANE, C. E. S. et al. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, [S. l.], v. 30, n. 63, p. 207, 2010.

SERVIDONI, L. E. et al. Avaliação de risco a enchentes e inundações por krigagem ordinária em sistemas de informação geográfica. *Caderno de Geografia*, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 126-143, 27 jun. 2019.

SICAR - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. Módulo de consulta pública, 2022. Disponível em: <<https://www.car.gov.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

SILVA, E. Mapeamento de solos e uso de algoritmos de aprendizagem em Lavras (MG). Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Tese de Doutorado, 194 p, 2018.

SILVA, R. R. da et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], v. 34, n. 5, p. 1584-1592, out. 2010.

SOARES, M. R. S. Como a perda de unidades de conservação de proteção integral e terras indígenas influenciam a provisão de serviços ecossistêmicos. 2021. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

SOARES, P. et al. Mapa de infiltração do alto e médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos do meio físico e na precipitação. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 26-42, abr. 2008.

SOKOLOSKI, L. J. F. et al. Estudo da vulnerabilidade natural da sub-bacia do Rio Piracicaba/MG utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 211-222, 20 jun. 2019.

SOUZA, A. R. P. O que há em comum entre o PSA, os créditos de carbono, a CPR verde e afins? *Agroanalysis: Fundação Getulio Vargas, São Paulo*, v. 42, n. 12, dez. 2022.

SOUZA, J. S. et al. Análise das variações florísticas e estruturais da comunidade arbórea de um fragmento de floresta semidecídua às margens do rio Capivari, Lavras-MG. *R. Árvore, Viçosa-Mg*, v. 27, n. 2, p. 185-206, 2003.

SPECIESLINK. Rede SpeciesLink. 2023. Disponível em: <<https://specieslink.net/>>. Acesso em: 22 jun. de 2023.

TAVARES, P. A. et al. Unfolding additional massive cutback effects of the Native Vegetation Protection Law on Legal Reserves, Brazil. *Biota Neotropica*, [S.L.], v. 19, n. 4, 2019.

TÔSTO, S. G. et al. Serviços ecossistêmicos e serviços ambientais: conceitos e importância. *EcoDebate*, 2012.

TUPIASSU, L. et al. Pagamentos por serviços ambientais, comunidades tradicionais e sistemas socioecológicos. In: DIAS, J. C.; BRITO FILHO, J. C. M. de; ARAÚJO, J. H. M. (comp.).

Direito e Desenvolvimento na Amazônia: estudos interdisciplinares e interinstitucionais. Santa Catarina: Qualis, 2019. p. 220.

UTHERS, S. et al. Spatial Targeting of Agri-Environmental Measures: cost-effectiveness and distributional consequences. *Environmental Management*, [S.L.], v. 46, n. 3, p. 494-509, 8 jul. 2010.

VAISSIÈRE, A. C. et al. Biodiversity offsets and payments for environmental services: clarifying the family ties. *Ecological Economics*, [S.L.], v. 169, p. 106428, mar. 2020.

VIANA, V. et al. Programa Bolsa Floresta: Trajetória, lições e desafios de uma política pública inovadora para a Amazônia. Manaus, AM: Fundação Amazônia Sustentável, 2021.

VIOLA, E.; MENDES, V. Agriculture 4.0 and climate change in Brazil. *Ambiente & Sociedade*, [S.L.], v. 25, p. 1-10, 2022.

VÖRÖSMARTY, C. J. et al. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, [S.L.], v. 467, n. 7315, p. 555-561, 29 set. 2010.7

WIENK, F. F. O pagamento por serviços ambientais como instrumento para a transição agroecológica na agricultura familiar: desafios no cenário brasileiro. 2016. 340 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Direito, Faculdade de Direito, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Ufrgs, Porto Alegre, 2016.

WUNDER, S. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. *Conservation Biology*, v. 21, n. 1, p. 48-58, 2007.

ANEXO A - Descrição das informações da tabela de atributos do arquivo final.

Nome	Tipo	Fonte	Descrição
COD_IMOVEL	Text	CAR	Código do CAR
NUM_AREA	Double	CAR	Área do imóvel
NUM_MODULO	Double	CAR	Módulos fiscais
TIPO_IMOVEL	Text	CAR	Tipo de imóvel do CAR
Formacao_Florestal	Double	FBDS	Área da classe formação florestal
Formacao_nao_Florestal	Double	FBDS	Área da classe formação não florestal
Vegetacao_Nativa	Double	Processamento	Soma das classes Formação Florestal e Formação não Florestal
Area_Antropizada	Double	FBDS	Área da classe Área Antropizada
Pastagem	Double	Map Biomas	Área da classe de Pastagem do Map Biomas
Agricultura	Double	Map Biomas	Área da classe de Agricultura do Map Biomas
Silvicultura	Double	FBDS	Área da classe Silvicultura
Area_Edificada	Double	FBDS	Área da classe Área Edificada
Agua	Double	FBDS	Área da classe Água
Nascentes	Long	FBDS	Número de nascentes
Hidrografia	Text	FBDS	Campo booleano que indica se o imóvel possui presença ou intersecção com hidrografias do FBDS
Veg_porcent	Double	Processamento	Porcentagem de vegetação nativa no imóvel rural
A_APP	Double	FBDS	Área de APP
A_APP_com_Veg	Double	Processamento	Área de APP com vegetação, resultado do cruzamento entre a camada de vegetação com a camada de APP
A_APP_sem_Veg	Double	Processamento	Área de APP sem vegetação, resultado da diferença entre A_APP com A_APP_com_Veg
APP_porcent	Double	Processamento	Porcentagem das áreas de APP que estão cobertas por vegetação
RL_Min	Double	Processamento	Área de RL mínima exigida pelo código florestal, cálculo realizado de acordo com a área do imóvel
Excedente	Double	Processamento	Área de excedente de vegetação em relação ao mínimo exigido pelo código florestal (Vegetação nativa - RL_Min) (Apenas valores positivos)
Déficit	Double	Processamento	Área de déficit de vegetação em relação ao mínimo exigido pelo código florestal (RL_Min - Vegetação) (Apenas valores positivos)
RL_porcent	Double	Processamento	Porcentagem de vegetação nativa em relação à RL_Min
Conectividade	Text	FBDS	Campo booleano que indica a presença ou intersecção de

			fragmentos de vegetação maiores que 1 ha.
Conserv_Biodiv	Text	Biodiversitas	Classe predominante do mapa de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade
Carbono_Total	Double	IV Inventário	Soma do carbono estocado na biomassa viva da vegetação acima e abaixo do solo
Carbono_Med	Double	Processamento	Valor médio de carbono estocado no imóvel rural (Carbono_Total / NUM_AREA)
Risco_Erosao	Text	ZEE/MG	Classe predominante do mapa de Risco à Erosão

Fonte: Do autor (2023).

ANEXO B - Lista dos imóveis rurais com maior estoque de carbono (tC).

COD_IMOVEL	Área (ha)	Vegetação Nativa (ha)	Vegetação (%)	Carbono Estocado na Vegetação Nativa (tC)
MG-3138203-BDF2A4128E9049F8AFD6CFFA7D14F305	667,70	106,53	15,95	9.534,79
MG-3138203-E5798F5FEB7F4091A66DB59B5CB843C6	220,27	70,19	31,87	6.462,17
MG-3138203-FFFD0F088B924B3FAB3BFC7FBBF28534	302,14	66,96	22,16	6.210,16
MG-3138203-84B3D81BB1444E97BBCA71C685A3CFF7	231,39	60,44	26,12	5.540,71
MG-3138203-CA95C2437BCC41458C00C31EC7BC5FE1	271,13	55,90	20,62	5.184,65
MG-3138203-4791111C79BB4CC29560DD80D55F4B14	448,78	136,09	30,32	4.851,33
MG-3138203-8354EA7F87814A249CEAFB39ABF87982	200,71	51,66	25,74	4.791,50
MG-3138203-F9C460F1834D4C958877C4FECBDDDC59	201,52	48,39	24,01	4.487,97
MG-3138203-8B6039CFD8DC4D32B30B509DDB5C6291	313,08	126,51	40,41	4.429,75
MG-3138203-F05F17F7A7DD4FA9883B899AFBAAAA5A	350,88	46,13	13,15	4.278,47
MG-3138203-BB6A7927A89A4F588127A622505BE3EB	690,40	372,76	53,99	4.164,16
MG-3138203-57BFA87BF6474E479AFF27DCDAB09FFE	158,66	41,77	26,32	3.873,88
MG-3138203-D3974F5296264006978835EDD2806CDD	240,10	41,56	17,31	3.854,45
MG-3138203-9CF8E36098CA45F29E99157C31B9B91D	344,40	78,21	22,71	3.648,26
MG-3138203-EB0D8AE30E8E4305B80D75F78CA1686D	94,04	38,91	41,38	3.609,26
MG-3138203-6BA4205BE7AC43C1BA341F105E60A8BE	118,25	37,82	31,99	3.508,13
MG-3138203-31BBF2A64BB04FD89F8EC20F0DDFB59A	202,22	35,66	17,64	3.307,75
MG-3138203-02B9BF4104FA4014B7BB1CF51C34DA94	237,11	35,01	14,77	3.247,21
MG-3138203-33C17ADD300F430193F4B4C3EB03CCF9	139,61	34,47	24,69	3.197,52
MG-3138203-0492162FD75543CF85F33C9728407082	125,03	33,72	26,97	3.127,71
MG-3138203-D7AF3679699A43EF8D04AC6E035004E0	147,00	32,65	22,21	3.028,00
MG-3138203-CC56F65BB7E543EB92CF4EE05EEAEC98	134,20	31,85	23,74	2.954,50
MG-3138203-2279154E203B45F4B54AE9EF5A845C1D	149,48	31,56	21,11	2.927,00
MG-3138203-C5887078F56C4471BF33B5F470762445	114,04	31,50	27,62	2.921,20
MG-3138203-85440A48F77F4CB9A9F300212C75F2A9	64,55	31,31	48,50	2.904,07
MG-3138203-6D8AE3FF833A4A90B863F6FB77F955A7	55,65	29,68	53,32	2.752,37
MG-3138203-9C0E9F97A4114861A1FD946910C92335	170,03	29,33	17,25	2.720,36
MG-3138203-046B5B6D3B0D48CF98D8EEE54796CEB0	276,01	221,44	80,23	2.599,66
MG-3138203-8152EC69BBF7435585B6DCEDF5F7C9C4	168,59	27,96	16,59	2.593,73
MG-3138203-92DB7C8D28C347C09B941FAAC4040B04	123,56	27,75	22,46	2.573,70

Fonte: Do autor (2023).