



**INTEGRANDO AGRICULTORES FAMILIARES  
À PROMOÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS**

**VIVIANE EVANGELISTA DOS SANTOS ABREU**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**INTEGRANDO AGRICULTORES FAMILIARES  
À PROMOÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS**

**VIVIANE EVANGELISTA DOS SANTOS ABREU**

**ORIENTADOR: DR. ALDICIR OSNI SCARIOT**

**COORIENTADOR: PROF. DR HEITOR MANCINI TEIXEIRA**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM**

**BRASÍLIA/ DF: AGOSTO - 2024**

**Brasília/DF: Agosto de 2024**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**INTEGRANDO AGRICULTORES FAMILIARES  
À PROMOÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS**

**VIVIANE EVANGELISTA DOS SANTOS ABREU**

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA NA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

APROVADA POR:

---

Dr. Aldicir Osni Scariot (Embrapa CENARGEN) (Orientador)

---

Prof. Dr. Heitor Mancini Teixeira (University Utrecht, Holanda) (Co-Orientador)

---

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi (Departamento de Engenharia Florestal – UnB)

---

Prof. Dr (a). Isa Lúcia de Moraes (Universidade Estadual de Goiás)

---

Dr. Marcelo Brilhante de Medeiros (Embrapa CENARGEN)

**Brasília/DF: agosto de 2024**

Ei Evangelista dos Santos Abreu , Viviane  
INTEGRANDO AGRICULTORES FAMILIARES À PROMOÇÃO DE  
SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS / Viviane Evangelista dos Santos  
Abreu ; orientador Aldicir Osni Scariot ; co-orientador  
Heitor Mancini Teixeira. -- Brasília, 2024.  
78 p.

Tese(Doutorado em Ciências Florestais) -- Universidade de  
Brasília, 2024.

1. Bioma Cerrado. 2. Assentamentos da reforma agrária. 3.  
Zona de amortecimento de Unidades de Conservação. 4.  
Sistemas socioecológicos. 5. Saberes locais. I. Osni Scariot  
, Aldicir, orient. II. Mancini Teixeira, Heitor , co-orient.  
III. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

EVANGELISTA, V. (2023). **Integrando agricultores familiares à promoção de serviços ecossistêmicos**  
Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação. Departamento de Engenharia  
Florestal, Universidade de Brasília (UNB), Brasília/DF, 78 f.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Viviane Evangelista dos Santos Abreu

TÍTULO: Integrando agricultores familiares à promoção de serviços ecossistêmicos

GRAU: Doutora / ANO: 2024

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Tese de  
Doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e  
científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação  
de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito da autora.

---

Viviane Evangelista dos Santos Abreu  
Departamento de Engenharia Florestal (EFL)-FT Universidade de Brasília (UnB)Campus  
Darcy Ribeiro  
CEP 70919-970  
Brasília - DF- Brasil

## **DEDICÁTORIA**

Às famílias agricultoras dos assentamentos da reforma agrária seguras de sua luta, resistentes à história e esperançosas por boas colheitas da vida.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu companheiro Tarcísio Lyra dos Santos Abreu, a minha filha Elis, ao meu filho Marcelo e ao meu filho Kyan pelo amor, respeito, parceria e por sonharem e batalharem junto comigo.

À toda minha família, em especial à minha mãe Rosana, meu pai Japir, meus irmãos Felipe e Thiago, minha enteada Carolina e netinho Nicolas, pela eterna torcida, pois sempre me incentivaram e, por serem minha maravilhosa rede de afeto e apoio.

Ao meus orientadores Aldicir Osni Scariot e Heitor Mancini Teixeira, pela orientação, ensinamentos, incentivos, cuidado e compreensão.

Aos membros da banca examinadora, pelas correções, sugestões e seu tempo dedicado a fim de enriquecer o trabalho.

A todos os amigos que contribuíram para o desenvolvimento dessa tese e para meu crescimento profissional e pessoal, em especial, Ilvan Medeiros, Paula Balduino, Paula Lima, Bárbara Pacheco, Cintia Isla, Hallefy De Souza, Jorge Reategui-Betancourt, Terezinha Dias, Beatriz Farias, Deildes Marçal, Maxmillier Ferreira, Ícaro Abreu, Jéssica Chamusca, Ligiane Bessa, Jonas Alex, Bianca Bendito, Renan Matias, Jair Farias, Juarez Amaral, Ismael Gomes, Wdson Oliveira, Marcos Ataíde, André Freire, Gustavina Alves, Acácio Alves, Raíssa Felipe, Ingrid Mutinelli, João Bringel.

À Universidade de Brasília (UnB), à Embrapa Cenargen e à Universidade de Utrecht na Holanda pela oportunidade de usufruir de toda a estrutura institucional e por ter me proporcionado grandes oportunidades.

Agradeço ao Instituto Federal de Brasília, instituição na qual sou servidora pública, pela concessão do período de dedicação exclusiva ao curso de doutorado e pelo financiamento do intercâmbio, que proporcionou interações enriquecedoras com a Universidade de Utrecht, na Holanda, ao longo do processo de doutoramento.

**De coração, meu muito obrigada!**

*"A terra é tudo o que temos. É nela que plantamos o nosso sustento, é dela que tiramos a vida. Não é só um pedaço de chão; é história, é a raiz de quem somos. E é por isso que a defendemos, porque sem ela não somos nada."*

Itamar Vieira Junior  
(Torto Arado)

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	xi
RESUMO GERAL.....	12
GENERAL ABSTRACT .....	14
<b>I. ASPECTOS GERAIS DA TESE.....</b>	<b>16</b>
<b>II. APRESENTAÇÃO DO TEMA .....</b>	<b>17</b>
<b>III. OBJETIVOS DA TESE .....</b>	<b>19</b>
<b>IV. QUESTÕES DE PESQUISA .....</b>	<b>20</b>
<b>V. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA TESE.....</b>	<b>76</b>

### **CAPÍTULO I - CONHECIMENTO ECOLÓGICO LOCAL E PERCEPÇÃO COMO ESTRATÉGIA NA GESTÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS:**

HIGHLIGHTS.....	24
PALAVRAS-CHAVE.....	24
RESUMO.....	24
INTRODUÇÃO.....	26
MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
RESULTADOS.....	33
DISCUSSÃO.....	38
CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS .....	44

### **CAPÍTULO II - SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS NO CERRADO SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE USO DO SOLO**

HIGHLIGHTS.....	52
PALAVRAS-CHAVE.....	52
RESUMO.....	52
INTRODUÇÃO.....	53
MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
RESULTADOS.....	58
DISCUSSÃO.....	68
CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS .....	72



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

**Figura 1.** Mapa com a localização dos assentamentos agrários adjacentes ou próximos às Unidades de Conservação. As unidades de conservação estão marcadas em verde e a zona de amortecimento em marrom. Os assentamentos estão representados com um alfinete amarelo: 1-Chapadinha; 2-Pequeno Willian; 3-Esusa; 4-Silvio Rodrigues..... 29

**Figura 2.** Percepção de diferentes tipos de agricultores com relação a mudanças na paisagem e ameaças futuras. Relação entre tipos de agroecossistemas (primeira coluna), mudanças positivas, neutras ou negativas na paisagem da fazenda (segunda coluna), tipos de mudanças percebidas (terceira coluna) e principais ameaças futuras à fazenda (última coluna). As categorias de agroecossistema incluem agroecologia vegetal, criação de animais, ecoturismo, monocultura e autossuficiência. As mudanças percebidas na paisagem variam de melhor, sem mudanças, a pior. As ameaças futuras incluem mudanças climáticas, incêndios, segurança financeira, espécies invasoras, situação da terra e cultivo de soja..... 35

**Figura 3.** Modelo Random Forest com variáveis de influência na variável-alvo (a) LEK e na variável-alvo (b) percepção. "%IncMSE" é a porcentagem do erro quadrático médio, que determina a importância da variável individual para o modelo..... 36

**Figura 4.** Importância das variáveis no LEK (a-d) e percepção (e). (a) Contato com iniciativas de conservação e restauração da natureza relativas ao LEK; (b) Uso do cerrado em relação ao LEK; (c) - Educação em relação ao LEK; (d) Vínculo com a unidade de conservação vizinha ao assentamento em relação ao LEK; (e) Variação na estrutura interna com base no tipo de agroecossistema em relação à percepção. A caixa indica o intervalo entre os quartis 1 e 3, a linha horizontal indica a mediana, as hastes indicam a extensão dos dados e os pontos individuais os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ; teste de Tukey)..... 37

**Figura 5.** Estratégia para melhorar a gestão dos serviços ecossistêmicos: (1) compreender que os sistemas socioecológicos dependem do conhecimento ecológico local (LEK) e das percepções, (2) compreender quais variáveis socioecológicas influenciam o LEK e as percepções e (3) derivar a análise das variáveis em fatores que, por sua vez, podem melhorar as estratégias de gestão..... 38

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Mapa com localização dos assentamentos agrários adjacentes ou próximos às Unidades de Conservação. As unidades de conservação estão marcadas em verde e as zonas de amortecimento em marrom. Os assentamentos estão representados com o alfinete amarelo: 1- Pequeno Willian; 2-Esusa; 3-Sílvio Rodrigues..... 55
- Figura 2.** Diferenças nos estoques de carbono acima do solo em diferentes usos da terra em cerrado típico, teste de Kruskal-Wallis, teste post-hoc de Dunn..... 59
- Figura 3.** O valor de importância (IV) das espécies indicadas para as cinco formas de uso do solo. Densidade relativa (RD; vermelho). Dominância relativa (RDo ; verde) e frequência relativa (RF; azul)..... 60
- Figura 4.** Ranking de espécies hiperdominantes, com cinco espécies mais abundantes e percentual de dominância na comunidade..... 61
- Figura 5.** Cobertura Absoluta (%) de diferentes tipos de vegetação (altura  $\leq 2$  metros) (a) arbórea, (b) solo exposto, (c) herbácea, (d) palmeira, (e) arbustiva (f) subarbustiva sob diferentes usos da terra (agroextrativismo, criação de gado, extrativismo intenso, lazer e trilhas, e não uso do cerrado. Boxplots incorporados com a mediana e quartis. Análise de Kruskal- Wallis ( $p < 0,05$ ) indicando diferenças significativas. Rotulagem de letras (post-hoc:Test Dun) indicando grupos significativamente diferentes entre si (letras diferentes)..... 62
- Figura 6.** Cobertura Absoluta (%) de diferentes tipos de vegetação (altura  $> 2$  metros) (a) arbórea, (b) arbustiva (c) subarbustiva sob diferentes usos do solo (agroextrativismo, criação de gado, extrativismo intenso, lazer e trilhas e não utilização do cerrado. Boxplots incorporados com mediana e análise de quartis ( $p < 0,05$ ) indicando diferenças significativas (teste post-hoc Dun) indicando grupos significativamente diferentes..... 63
- Figura 7.** Diagrama de Venn com espécies compartilhadas entre tipos de uso do solo. Tons mais escuros têm números de participação mais elevados. Tons claros, menos espécies compartilhadas..... 64
- Figura 8.** Curva de rarefação, com riqueza de espécies e número de amostras em cinco tipos de uso do solo. Método interpolado (linha completa, dados coletados) e extrapolado (linha tracejada, dados estimados)..... 65
- Figura 9.** Medidas de Abundância (a) e Riqueza (b) em diferentes usos da terra, teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para diferenças significativas e teste post hoc de Wilcoxon Mann-Whitney para determinar diferenças entre subgrupos..... 66
- Figura 10.** Correlações entre diferentes tipos de uso do solo e métricas ecológicas: AGC (estoque de carbono acima do solo), abundância, riqueza e índice de Shannon. Os valores de correlação são acompanhados de indicadores de significância estatística: \*\*\* ( $p < 0,001$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ), e \* ( $p < 0,05$ )..... 67
- Figura 11.** Relação entre estoques de carbono, abundância e diversidade de espécies. AGC (estoque de carbono acima do solo), abundância, riqueza e índice de Shannon. AIC (Critério de Informação Akaike)..... 68

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1.</b> Medidas por uso do solo: Abundância (média), Riqueza (média), Desvio Padrão (DP) e Índice de Shannon, Tukey.....	65
---	----

# INTEGRANDO AGRICULTORES FAMILIARES À PROMOÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

## RESUMO GERAL

Serviço ecossistêmico é um conceito consagrado para determinar relações dos ecossistemas com a sociedade. É por meio dessa abordagem que os principais painéis intergovernamentais para a conservação da natureza Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmico (IPBES) vêm alertando sobre a importância de se inserir informações de comunidades locais e tradicionais em sinergia com dados ecológicos científicos. As abordagens para tomadas de decisão para a gestão de serviços ecossistêmicos se apresentam carentes de informações que validem o viés abrangente para análises de sistemas socioecológicos. Atualmente, há uma considerável proporção de estudos que abordam percepção sobre serviços ecossistêmicos, conhecimento ecológico local, bem como a diversidade de tipos de agricultura familiar. Mas, há lacunas científicas sobre como variáveis socioecológicas podem influenciar saberes locais. Ou ainda, como a diversidade da agricultura familiar reflete em diferentes dados ecológicos e de estimativa para serviços ecossistêmicos. Diante da necessidade de alcance de metas da conservação da biodiversidade e adição de serviços ecossistêmicos no bioma Cerrado, torna-se urgente identificar áreas de sistemas socioecológicos que possibilitem a implementação de ações de gestão de serviços ecossistêmicos. Esse estudo propôs analisar agricultores familiares em territórios da reforma agrária, contíguos à Unidades de Conservação de Proteção Integral como uma oportunidade à observação de sistemas socioecológico para a conservação e gestão de serviços ecossistêmicos. No Capítulo 1 objetivou-se identificar a influência de variáveis socioecológicas na constituição de conhecimento ecológico local e na percepção sobre serviços ecossistêmicos de famílias agricultoras com intuito de fornecer apontamentos estratégicos para melhorar a gestão de serviços ecossistêmicos. No Capítulo 2, buscou-se analisar a diversidade de vegetação nativa, além de três serviços ecossistêmicos, armazenamento de carbono em árvores, provisão de frutos nativos e fornecimento de habitats em diferentes usos da terra, em áreas naturais de cerrado típico, manejada por agricultores familiares. As amostragens de campo foram realizadas em 80 propriedades onde realizou-se entrevistas e inspeções técnicas. 15 propriedades foram selecionadas para a realização de inventários florísticos para análise dos serviços ecossistêmicos. Para análise de dados no capítulo 1, utilizou-se modelagem por *Random Forest* (RF) que combina árvores de decisão para a compreensão de quais variáveis são mais influentes ao conhecimento ecológico local e a percepção. No capítulo 2 determinou-se abundância, riqueza, índice de diversidade, armazenamento de carbono, provisão de frutos nativos e fornecimento de habitat por meio de pacotes específicos em Programação “R”. Descobriu-se que o engajamento em iniciativas de conservação e restauração da natureza, juntamente com o uso de áreas nativas, influenciam significativamente os níveis de Conhecimento Ecológico Local (LEK- Local Ecological Knowledge) nas comunidades de agricultores. Agricultores com participação completa, desde a concepção até a implementação e avaliação das iniciativas, apresentaram um nível de LEK significativamente mais alto ( $28,5 \pm 13,0$ ) em comparação com agricultores sem participação nessas iniciativas ( $11,4 \pm 5,9$ ). Agricultores que utilizavam o cerrado para lazer e educação ( $28,2 \pm 21,2$ ) tinham níveis de LEK significativamente mais altos em comparação com agricultores que não frequentavam ou usavam as áreas de cerrado ( $13,5 \pm 8,9$ ) e aqueles que usavam áreas de vegetação nativa para a criação de gado ( $12,8 \pm 6,8$ ). Esses resultados destacam que, além da participação dos agricultores em iniciativas de conservação e restauração, o uso sustentável das áreas naturais é fundamental para fortalecer seu conhecimento local sobre o funcionamento dos ecossistemas. Além disso, os resultados relatam que o tipo de agroecossistema presente nas fazendas influencia fortemente as percepções dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos. Os agricultores percebem diferentes serviços ecossistêmicos dependendo do uso do solo, indicando a necessidade de intervenções personalizadas para o planejamento e a gestão de áreas

de conservação. Agricultores que praticam monocultura de soja tinham escores de percepção significativamente mais baixos sobre serviços ecossistêmicos ( $-5,1 \pm 3,8$ ) em comparação com os outros quatro grupos avaliados. As maiores estimativas para serviços ecossistêmicos estão em áreas nativas destinadas a propósitos agroextrativos. Foi encontrada uma forte correlação positiva entre o índice de diversidade e o armazenamento de carbono, indicando que áreas mais diversas geralmente são mais eficazes na captura e armazenamento de carbono. Esse estudo destaca o papel crítico de incorporar o conhecimento e as percepções locais para o design de estratégias de gestão eficazes, visando aumentar a provisão de serviços ecossistêmicos e a conservação da biodiversidade em áreas adjacentes a áreas protegidas. Além de, compreender importância dos benefícios ecológicos de diferentes usos da terra para apoiar estratégias de manejo, informar políticas públicas e fornecer incentivos financeiros aos agricultores familiares.

**Palavras-chave:** Bioma Cerrado; zona de amortecimento de UC; assentamentos da reforma agrária; sistemas socioecológicos; saberes locais; armazenamento de carbono; fornecimento de frutos nativos; provisão de habitat; diversidade de plantas.

# LINKING FAMILY FARMERS TO THE PROMOTION OF ECOSYSTEM SERVICES

## GENERAL ABSTRACT

Ecosystem service is a well-established concept for determining the relationships between ecosystems and society. This approach is used by major intergovernmental panels for nature conservation, such as the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), to emphasize the importance of integrating information from local and traditional communities with scientific ecological data. Decision-making approaches for the management of ecosystem services often lack comprehensive information for analyzing socio-ecological systems. Currently, a considerable proportion of studies address perceptions of ecosystem services, local ecological knowledge, and the diversity of family farming types. However, there are scientific gaps regarding how socio-ecological variables can influence local knowledge, or how the diversity of family farming reflects different ecological data and estimates for ecosystem services. Given the need to achieve biodiversity conservation goals and enhance ecosystem services in the Cerrado biome, it is urgent to identify socio-ecological system areas that enable the implementation of ecosystem service management actions. This study aimed to analyze family farmers in agrarian reform territories, contiguous to Integral Conservation Units, as an opportunity to observe socio-ecological systems for the conservation and management of ecosystem services. In Chapter 1, the objective was to identify the influence of socio-ecological variables on the constitution of local ecological knowledge and the perception of ecosystem services among farming families to provide strategic recommendations for improving the management of ecosystem services. In Chapter 2, the study aimed to analyze the diversity of native vegetation, as well as three ecosystem services—carbon storage in trees, provision of native fruits, and habitat provision—in different land uses in natural areas of typical Cerrado managed by family farmers. Field sampling was conducted on 80 properties, where interviews and technical inspections were carried out. Fifteen properties were selected for floristic inventories to analyze ecosystem services. In Chapter 1, data analysis was performed using Random Forest (RF) modeling, which combines decision trees to understand which variables most influence local ecological knowledge and perception. In Chapter 2, abundance, richness, diversity index, carbon storage, provision of native fruits, and habitat provision were determined using specific packages in R Programming. It was found that engagement in nature conservation and restoration initiatives, along with the use of native areas, significantly influences the levels of Local Ecological Knowledge (LEK) in farming communities. Farmers with full participation, from conception to implementation and evaluation of the initiatives, had significantly higher LEK levels ( $28.5 \pm 13.0$ ) compared to farmers without participation in these initiatives ( $11.4 \pm 5.9$ ). Farmers who used the cerrado for leisure and education ( $28.2 \pm 21.2$ ) had significantly higher LEK levels compared to farmers who did not attend or use cerrado areas ( $13.5 \pm 8.9$ ) and those using native vegetation areas for cattle raising ( $12.8 \pm 6.8$ ). These results highlight that, in addition to farmers' participation in conservation and restoration initiatives, the sustainable use of natural areas is fundamental for strengthening their local knowledge of ecosystem functioning. Furthermore, the results report that the type of agroecosystem present on farms strongly influences farmers' perceptions of ecosystem services. Farmers perceive different ecosystem services depending on land use, indicating the need for tailored interventions for the planning and management of conservation areas. Farmers practicing soybean monoculture had significantly lower perception scores on ecosystem services ( $-5.1 \pm 3.8$ )

compared to the other four evaluated groups. The highest estimates for ecosystem services are in native areas destined for agroextractive purposes. A strong positive correlation was found between the diversity index and carbon storage, indicating that more diverse areas are generally more effective at capturing and storing carbon. This study highlights the critical role of incorporating local knowledge and perceptions for designing effective management strategies to enhance ecosystem service provision and biodiversity conservation in areas adjacent to protected areas. Additionally, it emphasizes the importance of understanding the ecological benefits of different land uses to support management strategies, inform public policies, and provide financial incentives to family farmers.

**Keywords:** Cerrado Biome; Buffer Zone of Protected Areas; Agrarian Settlements; Socioecological Systems; Local Knowledge; Carbon Storage; Provision of Native Fruits; Habitat Provision; Plant Diversity.

## **I. ASPECTOS GERAIS DESTA TESE**

Esta tese é financiada pelo Fundo de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP/DF nº 09/2022) por meio do projeto "Interações Socioecológicas em Ambientes de Restauração de Serviços Ecossistêmicos". Ela também se insere no contexto do projeto da Embrapa-Cenargen "Improving the Sustainable Management of the Brazilian Cerrado through Quantifying and Valorizing Ecosystem Services of Autochthonous Silvopastoral Systems (EcoSiPaS)". Adicionalmente, conta com recursos do PROAP-CAPES da Universidade de Brasília para a coleta de dados em campo.

A tese começa com aspectos gerais, incluindo a apresentação do tema, objetivos e questões norteadoras da pesquisa, com intenção de determinar o cenário em que este estudo se insere, proporcionando uma fundamentação para a apresentação dos resultados e discussões nos capítulos seguintes. Por último, apresenta-se considerações finais da tese, revisando as questões de pesquisa.

**CAPÍTULO I – CONHECIMENTO ECOLÓGICO LOCAL E PERCEPÇÃO COMO ESTRATÉGIA NA GESTÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS:** Neste capítulo determinou-se a variável socioecológica mais relevante aos saberes locais, com intuito de discutir estratégias para melhorar a gestão de serviços ecossistêmicos em sistemas socioecológicos.

**CAPÍTULO II – SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE USO DO SOLO MANEJADOS POR AGRICULTORES FAMILIARES:** Neste capítulo estimou-se três serviços ecossistêmicos: armazenamento de carbono em árvores, provisão de frutos nativos e fornecimentos de habitats, em diferentes tipos de uso do cerrado típico feito por agricultores familiares. Além de estimar dados de biodiversidade. Isto com o intuito de melhorar a compreensão e a identificação onde a adição e manutenção de serviços ecossistêmicos pode apoiar ganhos.



## II. APRESENTAÇÃO DO TEMA

As sociedades estão integradas aos ecossistemas, dependendo e influenciando os serviços ecossistêmicos (SE) que estes fornecem (Balvanera et al., 2017). Os SE são coproduzidos pelas interações entre ecossistemas e sociedades, sendo classificados em provisão, regulação, culturais e de suporte (MEA, 2005).

A promoção dos SE deve ser analisada a partir de abordagens que considerem os benefícios obtidos tanto em contextos sociais quanto ecológicos, envolvendo uma ampla diversidade de sistemas de conhecimento e partes interessadas (Kadykalo et al., 2019). A integração entre o social e o ecológico, então, é mediada pelos SE, que servem como conectores para o entendimento integrado dos sistemas socioecológicos (Collins et al., 2011).

A abordagem socioecológica propõe uma perspectiva que considera as preferências das comunidades que lidam diretamente com o meio natural e reconhecem a importância da manutenção dos serviços ecossistêmicos (Marques, 2020). As interações entre comunidade e natureza, em áreas moldadas ao longo do tempo, ajudam a compreender espaços naturais e rurais como paisagens multifuncionais com dinâmicas socioecológicas (Gu e Subramanian, 2014).

No Brasil central, devido à importância ecológica do bioma Cerrado, foram criadas Unidades de Conservação (UCs) para proteger as paisagens, conservar a biodiversidade e manter os serviços ecossistêmicos (Brasil, 2000). No entanto, nas áreas limítrofes às UCs, atividades humanas frequentemente não contribuem para a conservação e restauração da diversidade de ecossistemas (Almeida-Rocha e Peres, 2021). Essas áreas necessitam de ações para aumentar a proteção das UCs, visto que a eficácia das áreas protegidas é fortemente influenciada pela gestão da terra circundante (Kremen e Merenlender, 2018).

O gerenciamento sustentável de terras coletivas no entorno de UCs possibilita a organização da paisagem em mosaicos integrados de usos da terra, sustentando a biodiversidade (Carmona et al., 2014). Há, ainda, uma estreita relação entre a reconstrução das paisagens sob uma ótica de sustentabilidade e o reconhecimento do papel dos camponeses no desenvolvimento territorial (Val et al., 2019). O campesinato é composto por uma diversidade de povos e comunidades, incluindo-se os agricultores familiares (Wanderley, 2014).

No Brasil, uma em cada cinco famílias agricultoras vive em Assentamentos da Reforma Agrária, instituídos pela Lei 8.629 de 1993 (Medina et al., 2015), o que ressalta a importância de entender como essas famílias podem se integrar às ações de conservação da biodiversidade e manutenção de serviços ecossistêmicos em seus territórios. Destaca-se ainda que os assentamentos da reforma agrária são áreas rurais que necessitam de adequações ambientais, com mecanismos para superar passivos ambientais e determinar áreas para a conservação e restauração de ambientes degradados, como a criação de reservas legais (Brasil, 1993; Brasil, 2012).

As paisagens formadas por assentamentos agrários próximos às UCs podem então ser mais bem geridas para apoiar atividades de promoção dos SE por meio de ações permanentes que incluam

ativamente as comunidades locais. Essas ações podem fornecer referências temporais, espaciais e de conhecimento local para restaurar paisagens e ambientes, promovendo a conservação (Ballé, 2006). Além disso, contribuem para a segurança alimentar e atendem às necessidades sociais, culturais e de preservação desses territórios (Dudley et al., 2020).

O estudo do ecossistema exclusivamente sob uma perspectiva biofísica está sendo gradualmente substituído por abordagens de avaliação integrada e participativa (Stephen et al., 2011). Nos últimos anos, pesquisas e ações com abordagem integradora têm ganhado foco em integrar dados socioecológicos às metas de conservação (Fischer et al., 2021), além do gerenciamento de SE vinculado à estratégias que possam acomodar as múltiplas necessidades e a diversidade de atores locais (Hartman e Cleveland, 2018).

É fundamental valorizar os modos de vida tradicionais e locais, que promovem relações mutuamente benéficas entre as pessoas e o meio ambiente. Sendo crucial levar em conta tanto o processo quanto os resultados para aprimorar diversos serviços ecossistêmicos (SE), garantindo a autonomia das comunidades e reconhecendo a diversidade dos grupos minoritários ou marginalizados (Garcia-Polo et al., 2021), bem como incentivando o senso de conservação dos atores locais. Por exemplo, os agricultores familiares muitas vezes demonstram maior preocupação com a biodiversidade e se dedicam mais a aumentar os SE em suas áreas do que os agricultores de média e grande escala (Teixeira et al., 2018).

Ao incorporar nos planejamentos de SE o conhecimento ecológico local, considerar suas percepções e diversidade de famílias agricultoras assentadas da reforma agrária, é possível fortalecer sistemas socioecológicos capazes de promover a manutenção e adição de SE nos territórios. A gestão dos SE pode trazer benefícios baseados em dados provenientes das comunidades envolvidas, possibilitando que terras compartilhadas de conservação e produção apoiem altos níveis de conservação da biodiversidade enquanto satisfazem as necessidades das comunidades de forma sustentável (Kremen e Merenlender, 2018). Portanto, é necessário identificar regiões socialmente ótimas ao longo das fronteiras de conservação e produção, como parte do planejamento colaborativo para a adição de SE (Anger et al., 2016).

Embora existam diretrizes para a promoção e pagamento de SE a agricultores familiares, especialmente para comunidades em áreas de amortecimento de áreas protegidas, conforme assegurado pela Lei 14.119 (Brasil, 2021), compreender com utilizar saberes locais e características variadas dos agricultores familiares associados ao planejamento, ainda é um desafio a ser melhor compreendido.

Nesse contexto, é estratégico utilizar os assentamentos agrários próximos às UCs de proteção integral como áreas focais para estabelecer mecanismos de gestão de dados e informações necessários à implementação e monitoramento de ações para a promoção de SE. Elementos socioecológicos, incluindo dados de biodiversidade vegetal, e informações de como se determina variações e influências à percepções e conhecimento ecológico local de famílias agricultoras, podem ajudar a entender os fatores que aprimoram a gestão para SE.

Essa tese visa demonstrar como a justaposição de cenários ecológicos da agricultura familiar, juntamente com dados socioecológicos geram sinergias importantes, especialmente na proteção comunitária de áreas de conservação e na disposição para apoiar atividades de promoção de SE.

## **II. OBJETIVOS DA TESE**

Objetivos gerais:

Este estudo teve como intuito de analisar a relação entre dados socioecológicos à saberes locais, bem como identificar a diversidade de uso do solo feita por agricultores familiares, ambos associados à promoção de serviços ecossistêmicos. À vista das informações adquiridas, objetivou-se:

- Avaliar aspectos socioecológicos relevantes o conhecimento ecológico local e percepções sobre serviços ecossistêmicos, com intuito de melhorar a compreensão para gestão dos serviços ecossistêmicos.
- Analisar serviços ecossistêmicos e dados da biodiversidade de acordo com o uso do cerrado típico entre diferentes tipos de manejo feito por agricultores familiares, com o propósito de melhorar a compreensão de decisores a identificar onde a adição e manutenção de serviços ecossistêmicos pode apoiar ganhos.

Objetivos específicos:

- Avaliar dentre treze variáveis socioecológicas a mais relevante ao conhecimento ecológico local e a percepção. A saber: renda, idade, gênero, escolaridade, tamanho do lote, tempo no lote, bioma de origem, contato com iniciativas de conservação e restauração da natureza, forma de aprendizagem sobre recursos naturais, interações com a Unidade de Conservação, interações com a Reserva legal (RL), tipo de agroecossistema e forma de uso de áreas naturais de cerrado.
- Analisar descritivamente a percepção e conhecimento ecológico de agricultores familiares em territórios de reforma agrária
- Fornecer estratégias para melhorar a gestão de serviços ecossistêmicos a partir de abordagem sobre saberes locais.
- Avaliar serviços ecossistêmicos (armazenamento de carbono, provisão de frutas nativas e fornecimento de habitat) e dados de biodiversidade de plantas no cerrado sobre diferentes tipos de usos de ecossistemas feita por agricultores familiares.
- Analisar relações entre o serviço ecossistêmico, armazenamento de carbono entre os diferentes tipos de uso do solo e dados da biodiversidade de plantas.
- Fornecer dados para melhorar a compreensão da gestão de serviços ecossistêmicos ao identificar tipos de uso do solo onde a adição e manutenção de serviços ecossistêmicos pode apoiar ganhos.

### **III. QUESTÕES DE PESQUISA**

As seguintes questões de pesquisa nortearam o presente estudo:

- 1) Quais variáveis socioecológicas medidas são relevantes ao conhecimento ecológico local e a percepção para apoiar estratégias de gestão de serviços ecossistêmicos e conservação da biodiversidade?
- 2) Como as variáveis de alta influência variam internamente em relação aos níveis de conhecimento ecológico local e a percepção sobre serviços ecossistêmicos?
- 3) Quais tipos de uso do solo manejados por agricultores familiares apresentam maiores serviços ecossistêmicos (armazenamento de carbono, provisão de frutos, fornecimento de habitats) e dados de biodiversidade (abundância, riqueza, índice de diversidade) medidos em campo?
- 4) Quais as relações dos dados de biodiversidade de plantas com armazenamento de carbono acima do solo em diferentes usos da terra em áreas de cerrado típico?

## Referências

- Ager, A., Day, M. and Vogler, K. 2016. Production Possibility Frontiers and Socioecological Tradeoffs for Restoration of Fire Adapted Forests. *Journal of Environmental Management* 176:157-68
- Almeida-Rocha, J. and Peres, C. 2021. Nominally Protected Buffer Zones around Tropical Protected Areas Are as Highly Degraded as the Wider Unprotected Countryside. *Biological Conservation*- 256
- Ballé, W. 2006. The Research Program of Historical Ecology. *Annu. Rev. Anthropol.* 35, p. 75-98.
- Balvanera, P. Quijas, S., Mwampamba, T. et al. 2017 M. Ecosystem Services. 39-78. *The GEO Handbook on Biodiversity*. Observation Networks, DOI 10.1007/978-3-319-27288-7\_3
- Brasil, lei Nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Presidência da República, Brasília-DF.
- Brasil, lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre Proteção da Vegetação Nativa. Presidência da República, Brasília-DF.
- Brasil, lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Presidência da República, Brasília-DF.
- Brasil, lei Nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma, previstos no capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Presidência da República, Brasília-DF.
- Carmona, E.N., Hart, A. K., De Clerck, F., Harvey, C., Milder, J. 2014. Integrated landscape management for agriculture, rural livelihoods, and ecosystem conservation: An assessment of experience from Latin America and the Caribbean. *Landsc. Urban Plan.* 129, 1–11
- Collins S L et al. 2011. An integrated conceptual framework for long-term social–ecological research *Front. Ecol. Environ.* 9 351–7.
- Dudley, N., Eufemia, L., Fleckenstein, M., Periago, M. E., Petersen, I., & Timmers, J. F. 2020. Grasslands and savannahs in the UN decade on ecosystem restoration. *Restoration Ecology*, 28, 1313–1317.
- Fischer, J., Riechers, M., Loos, J., Martin-Lopez, B., & Temperton, V. M. 2021. Making the UN decade on ecosystem restoration a Social Ecological Endeavour. *Trends in Ecology & Evolution*, 36, 20–28.
- Garcia-Polo, J., Falkowski, Mokashi, T., Law, E Fix, A. and Stewart, A. 2021. Restoring Ecosystems and Eating Them Too: Guidance from Agroecology for Sustainability. *Restoration Ecology* 29.8.
- Gu, H. and Subramanian, S. 2014. Drivers of change in socio-ecological production landscapes: Implications for better management. *Ecol. Soc.* 19, 41.
- Hartman, D, Cleveland, A. 2018. The socioeconomic factors that facilitate or constrain restoration management: Watershed rehabilitation and wet meadow (bofedal) restoration in the Bolivian Andes. *Journal of Environmental Management*. p 93-104.
- Kadykalo, N., López-Rodríguez, M., Ainscough, J., Droste, N., Ryu, H., Ávila-Flores, G., Le Clec'h, S., Muñoz, M., Nilsson, L., Rana, S., Sarkar, P., Katharina J. Sevecke, K., and Harmáčková, Z., 2019. Disentangling 'ecosystem Services' and 'nature's Contributions to People. *Ecosystems and People* (Abingdon, England) 15.1: 269-87. Web.

- Kremen, C. & Merelender, A. 2020. Landscapes that work for biodiversity and people.
- Marques, A. 2020. Water governance in vale Paraíba Paulista: Network of actors and socioecological systems. *Ambiente & Sociedade* [online] V. 23.
- MEA- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington D.C.
- Medina, G., Almeida, C., Novaes, E., Godar, J., & Pokorny, B. 2015. Development conditions for family farming: Lessons from Brazil. *World Development*, 74, 386–396.
- Stephen, W., Geist, H., and Loris, A. 2011. Deliberative Assessment in Complex Socioecological Systems: Recommendations for Environmental Assessment in Drylands. *Environmental Monitoring and Assessment* 183.1-4 465-83.
- Teixeira, H., Vermue, A., Cardoso, I., Claros, M., Bianchi, F. 2018. Farmers show complex and contrasting perceptions on ecosystem services and their management. *Ecosystem Services*. Volume 33, Part A, Pages 44-58.
- Val, V. Rosset, P. M. Lomeli, C. Z. Giraldo, O. F. Rocheleau, D. 2019. Agroecology and La Via Campesina I. The symbolic and material construction of agroecology through the dispositive of “peasant to peasant” processes. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. v. 43, n. 7-8, p. 872- 894.
- Wanderley, M. 2014. O Campesinato Brasileiro: uma história de resistência. *RESR, Piracicaba - SP*, v. 52, Supl. 1, p. S025-S044.

# CAPÍTULO 1 – CONHECIMENTO ECOLÓGICO LOCAL E PERCEPÇÃO COMO ESTRATÉGIA NA GESTÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

## LOCAL ECOLOGICAL KNOWLEDGE AND PERCEPTION AS A STRATEGY IN THE MANAGEMENT OF ECOSYSTEM SERVICES

Artigo publicado em “Journal of Environmental Management”

Journal of Environmental Management 366 (2024) 122095



### Research article

### Local ecological knowledge and perception as a strategy in the management of ecosystem services

Viviane Evangelista<sup>a,b,\*</sup>, Aldcir Scariot<sup>c,b,2</sup>, Heitor Mancini Teixeira<sup>d,2</sup>, Ivan Medeiros Lustosa Júnior<sup>a,c,2</sup>

<sup>a</sup> Federal Institute of Education, Science and Technology of Brasília (FEB), Prédio Tecnologia em Agroecologia, Campus Planaltina, Rodovia DF - 120, km 21, Zona Rural de Planaltina, CEP: 73350-900, Brasília, DF, Brazil  
<sup>b</sup> Graduate Program in Forest Sciences, University of Brasília (UnB), Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP: 70910-900, Caixa Postal: 4357, Brasília, DF, Brazil  
<sup>c</sup> Empresa Genética Recursos e Biotecnologia (Cenargen/Embrapa), Parque Estação Biológica, Avenida W3 Norte Asa Norte CEP: 70770-917, Caixa Postal: 02372, Brasília, DF, Brazil  
<sup>d</sup> University Utrecht, Copernicus Institute of Sustainable Development, Utrecht University, Vening Meubiusdreef 4, Princetonlaan 5a, 3504 CR, Utrecht, Netherlands  
<sup>\*</sup> Ministry of Agrarian Development of Brazil (MDA), Esplanado das Ministérios, Bloco D, CEP: 70050-000, Brasília, DF, Brazil

### ARTICLE INFO

**Keywords:**  
Family farmers  
Agrarian settlements  
Buffer areas  
Random forest modelling

### ABSTRACT

In designing and implementing initiatives to conserve biodiversity and ensure the flow of ecosystem services, it is crucial to understand the perspectives of communities living near protected areas. Improving conservation efforts may depend on analyzing socio-ecological factors and their impact on Local Ecological Knowledge (LEK) and perceptions of ecosystem services. We employed participatory methodologies with 80 farmers from agrarian settlements adjacent to protected areas in the Cerrado biome, Brazil, we quantified LEK and assessed perceptions of ecosystem services using an adaptation of the Q-methodology. We collected data on thirteen socio-ecological variables, including age, gender, farm size, education, engagement with conservation initiatives, and interactions with protected areas and Legal Reserves. Using artificial intelligence in a Random Forest (RF) modelling approach, we identified the most influential variables on LEK and perception. Our findings demonstrate that engagement in nature conservation and restoration initiatives, along with the use of native areas (protected and managed areas) significantly influence LEK levels within the farmers' communities. Farmers with full participation, from conception to implementation and evaluation of the initiatives, had a significantly higher LEK level ( $28.5 \pm 13.0$ ) compared to farmers without participation in those initiatives ( $11.4 \pm 5.9$ ). Farmers who used the cerrado for leisure and education ( $28.2 \pm 21.2$ ) had significantly higher LEK levels compared to farmers who do not attend or use the cerrado areas ( $13.5 \pm 9.9$ ) and those using areas of native vegetation for cattle raising ( $12.9 \pm 6.0$ ). These results highlight that, in addition to farmers' participation in conservation and restoration initiatives, the sustainable use of natural areas is fundamental to strengthen their local knowledge of ecosystem functioning. Furthermore, we found that the type of agroecosystem present on farms strongly shapes farmers' perceptions of ecosystem services. Farmers perceive different ecosystem services depending on land use, indicating the need for tailored interventions for the planning and management of conservation areas. Farmers practicing soybean monoculture had significantly lower perception scores on ecosystem services ( $-5.1 \pm 3.6$ ) than to the other four evaluated groups. Overall, the study highlights the critical role of incorporating local knowledge and perceptions for the design of effective management strategies to increase ecosystem services provision and biodiversity conservation in areas adjacent to protected areas.

## Highlights

- Investigamos as influências potenciais das variáveis socioecológicas no Conhecimento Ecológico Local (LEK) e na Percepção dos agricultores em relação aos serviços ecossistêmicos utilizando máquina de aprendizagem, com inteligência artificial.
- A participação em iniciativas de conservação e restauração e o uso de áreas nativas foram as variáveis que mais influenciaram o LEK dos agricultores familiares.
- O uso predominante e o propósito principal das propriedades estão fortemente associados às percepções dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos.
- Agricultores envolvidos na produção baseada em monocultura de soja apresentam percepções significativamente diferentes sobre os serviços ecossistêmicos em comparação com outros grupos de agricultores.
- Incluir o LEK e as percepções dos agricultores, considerando a estrutura socioecológica, é crucial para o sucesso da gestão dos serviços ecossistêmicos adjacentes a áreas protegidas.

## Palavras-chave

- Agricultores familiares
- Assentamentos agrários
- Áreas de amortecimento
- Modelagem Random Forest

## Resumo

Ao projetar e implementar iniciativas para conservar a biodiversidade e garantir o fluxo de serviços ecossistêmicos, é fundamental entender as perspectivas das comunidades que vivem perto de áreas protegidas. O aprimoramento dos esforços de conservação pode depender da análise dos fatores socioecológicos e de seu impacto sobre o Conhecimento Ecológico Local (LEK) e as percepções dos serviços ecossistêmicos. Empregamos metodologias participativas com 80 agricultores de assentamentos agrários adjacentes a áreas protegidas no bioma Cerrado, Brasil. Quantificamos o LEK e avaliamos as percepções dos serviços ecossistêmicos usando uma adaptação da metodologia Q. Coletamos dados sobre treze variáveis socioecológicas, incluindo idade, gênero, tamanho da fazenda, educação, envolvimento com iniciativas de conservação e interações com áreas protegidas e Reservas Legais. Usando inteligência artificial em uma abordagem de modelagem Random Forest (RF), identificamos as variáveis mais influentes no LEK e nas percepções. Nossas descobertas demonstram que o envolvimento em iniciativas de conservação e restauração da natureza, juntamente com o uso de áreas nativas, influenciam significativamente os níveis de LEK nas comunidades de agricultores. Os agricultores com participação total, desde a concepção até a implementação e avaliação das iniciativas, apresentaram um nível de LEK significativamente maior ( $28,5 \pm 13,0$ ) em comparação com os agricultores sem participação nessas iniciativas ( $11,4 \pm 5,9$ ). Os agricultores que utilizaram o cerrado para lazer e educação ( $28,2 \pm 21,2$ ) apresentaram níveis de LEK significativamente mais



altos em comparação com os agricultores que não frequentam ou utilizam as áreas de cerrado ( $13,5 \pm 8,9$ ) e aqueles que utilizam áreas de vegetação nativa para a criação de gado ( $12,8 \pm 6,8$ ). Esses resultados destacam que, além da participação dos agricultores em iniciativas de conservação e restauração, o uso sustentável das áreas naturais é fundamental para fortalecer seu conhecimento local sobre o funcionamento do ecossistema. Além disso, descobrimos que o tipo de agroecossistema presente nas fazendas molda fortemente as percepções dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos. Os agricultores percebem diferentes serviços ecossistêmicos dependendo do uso do solo, indicando a necessidade de intervenções personalizadas para o planejamento e a gestão de áreas de conservação. Os agricultores que praticam a monocultura de soja tiveram escores de percepção significativamente mais baixos sobre os serviços ecossistêmicos ( $-5,1 \pm 3,8$ ) do que os outros quatro grupos avaliados. De modo geral, o estudo destaca o papel fundamental da incorporação do conhecimento e das percepções locais para a elaboração de estratégias de gestão eficazes para aumentar o fornecimento de serviços ecossistêmicos e a conservação da biodiversidade em áreas adjacentes a áreas protegidas.

## 1. Introdução

As áreas protegidas são vitais para a conservação da biodiversidade e o fornecimento de serviços ecossistêmicos em todo o mundo. No entanto, muitas áreas protegidas são gerenciadas como ilhas isoladas, desconectadas das paisagens e das comunidades vizinhas. Essa desconexão entre as áreas protegidas e a sociedade afeta tanto a natureza quanto o bem-estar humano (Hoffmann, 2021). Reconhecer e incorporar as necessidades das comunidades que vivem próximas às áreas protegidas é essencial para aumentar a eficácia e a sustentabilidade dos esforços de conservação (Fromont et al., 2024). Para atingir esse objetivo, os esforços colaborativos de conservação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos exigem uma compreensão profunda de como as questões sociais, o conhecimento ecológico local (LEK), as percepções e a tomada de decisões da comunidade influenciam o gerenciamento dos recursos naturais (Lima e Bastos, 2020; De Snoo et al., 2013; Lokhorst et al., 2011). Estudos sobre serviços ecossistêmicos e biodiversidade reconhecem cada vez mais a importância de diversos sistemas de conhecimento e das percepções das pessoas (IPBES, 2019; Noble et al., 2014). Portanto, a integração do LEK e das percepções da comunidade sobre a natureza é crucial para o gerenciamento eficaz dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade (MEA, 2005; Tagliari et al., 2023; Texeira et al., 2018; Lescouret et al., 2015). LEK e percepção são conceitos complementares e intimamente relacionados, fundamentais para a conservação, o gerenciamento e o uso da biodiversidade. LEK é o sistema de conhecimento adquirido por meio da experiência e do entendimento implícito, acumulado ao longo de gerações, ancorado na vida cotidiana (Berkes et al., 2000). Por outro lado, a percepção envolve a interpretação do que é observado e a importância atribuída a um determinado recurso (Tan et al., 2024). A percepção molda comportamentos e ações, refletindo como os indivíduos percebem, pensam e reagem às paisagens, construindo, assim, narrativas significativas sobre elas (Stephenson, 2008). As percepções estabelecidas, e não apenas as evidências científicas objetivas, são cruciais para garantir o apoio das comunidades locais e, portanto, o sucesso da conservação de longo prazo (Bennet, 2017).

Conectar a gestão de serviços ecossistêmicos às necessidades, ao conhecimento e às expectativas das comunidades locais aumenta a probabilidade de sucesso na conservação da biodiversidade e no fornecimento de serviços ecossistêmicos. Essa conexão pode promover maior motivação e participação dos membros da comunidade (Jellinek et al., 2019), levando ao reconhecimento e à priorização de serviços ecossistêmicos específicos e sistemas de biodiversidade a serem conservados (Cáceres et al., 2015). Além disso, válida a relação recíproca entre os seres humanos e os ecossistemas, com serviços ecossistêmicos derivados da biodiversidade e do meio ambiente e promovidos pelas comunidades (Comberti et al., 2015). Integrar o conhecimento e as percepções dos agricultores que vivem perto de áreas protegidas sobre a gestão de serviços ecossistêmicos e a conservação da biodiversidade é um desafio devido à dupla funcionalidade dessas áreas. Por um lado, há áreas totalmente protegidas dedicadas à conservação da biodiversidade e à preservação de processos ecológicos essenciais, onde o uso da biodiversidade é proibido ou limitado (Brasil, 2000).

Por outro lado, assentamentos agrários foram estabelecidos próximos ou adjacentes a essas áreas protegidas. Esses assentamentos se originaram da reforma agrária (Brasil, 1993). São espaços rurais compostos por unidades agrícolas independentes que se dedicam a atividades agrícolas e/ou pecuárias, contando principalmente com mão de obra familiar (Incra, 2023). Nesse contexto, a gestão compartilhada é fundamental para criar paisagens que funcionem tanto para a natureza quanto para as pessoas (Kremen e Merenlender, 2018). Essa abordagem cria, de fato, preocupações com questões humanas e, ao mesmo tempo, aumenta a conectividade entre as unidades de conservação, o que pode impactar mais do que as novas áreas protegidas (Brennan et al., 2022). A inclusão do LEK na gestão não apenas ressalta a função dos atores locais como provedores de conhecimento, mas também aumenta a probabilidade de esses atores utilizarem os resultados da pesquisa para melhorar o fornecimento de serviços ecossistêmicos (ES) e a modelagem da paisagem (Messina et al., 2023).

O LEK tem sido amplamente utilizado em pesquisas sobre ecologia, conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos, desde a orientação sobre a restauração ecológica de áreas sensíveis propensas à degradação (Long et al., 2003) até a gestão de recursos em áreas protegidas (Ban et al., 2009), monitoramento da abundância e riqueza de espécies (Afriyei e Assare, 2020), proteção da biodiversidade e prestação de serviços ecossistêmicos (Cebrián-Piqueras et al., 2020). Da mesma forma, a percepção local tem contribuído significativamente, especialmente em estudos sobre a dinâmica da paisagem (Davidson-Hunt e Berkes, 2003), percepções dos elementos da biodiversidade e análise da manutenção dos serviços ecossistêmicos (Cáceres et al., 2015). A abordagem que envolve LEK e percepções tem sido valiosa para complementar a pesquisa ecológica convencional, acelerando processos que geralmente são caros e demorados (Moller et al., 2004), incorporando percepções de indivíduos com ampla experiência e familiaridade diária com as áreas, beneficiando pesquisadores, gerentes e formuladores de políticas (Halme e Bodmer, 2007). A extensa literatura se concentra em determinar como o LEK e as percepções moldam as comunidades, revelando percepções sobre recursos naturais e conflitos (Texeira et al., 2019), preferências (Lima e Bastos, 2020) e descrições de manejo (Tomasini e Theilade, 2019; Mashamaite et al., 2023). Entender como o conhecimento ecológico local (LEK) e as percepções das populações locais podem contribuir para as metas de conservação representa uma lacuna significativa na compreensão científica atual (Afriyei e Assare, 2020; Cebrián-Piqueras et al., 2020). 2022). Esses esforços de pesquisa podem fornecer uma perspectiva abrangente para a formulação de propostas, o aprimoramento de modelos de gestão e a abordagem eficaz de conflitos socioambientais (Coelho-Júnior et al., 2021).

Sabemos que muitos fatores influenciam a comunidade local na definição e percepção de seu ambiente (Loring et al., 2014). As variações no LEK e nas percepções são complexas e diversas devido às diferenças socioecológicas (Verweij et al., 2010). Por exemplo, o LEK e a percepção variam entre pessoas de diferentes idades, gêneros, tempo de residência e formas de contato com áreas naturais (Hitomi e Loring, 2018). É necessário otimizar a aplicação do LEK e da percepção, considerando os fatores complexos que influenciam suas variações (Quintas-Soriano et al., 2016). Nesse contexto, o aprendizado de máquina pode contribuir significativamente ao analisar dados

complexos com diversas variáveis, reduzir problemas de multicolinearidade e identificar padrões e relações não lineares (Speiser et al., 2019; Rios et al., 2022).

O objetivo deste estudo é determinar como diversas variáveis socioecológicas, incluindo o uso e a conservação da biodiversidade, e o sistema de produção da fazenda influenciam o desenvolvimento e a manutenção de valores locais por meio do teste de aprendizado de máquina, além de elucidar as características das famílias de agricultores, para explorar as ligações entre LEK, percepções e o gerenciamento de serviços ecossistêmicos. Para isso, estruturamos esta pesquisa para responder à seguinte pergunta: Quais variáveis socioecológicas influenciam o LEK sobre a biodiversidade e a percepção dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos? E, complementarmente, como essas variáveis socioecológicas variam com o LEK e a percepção dos serviços ecossistêmicos?

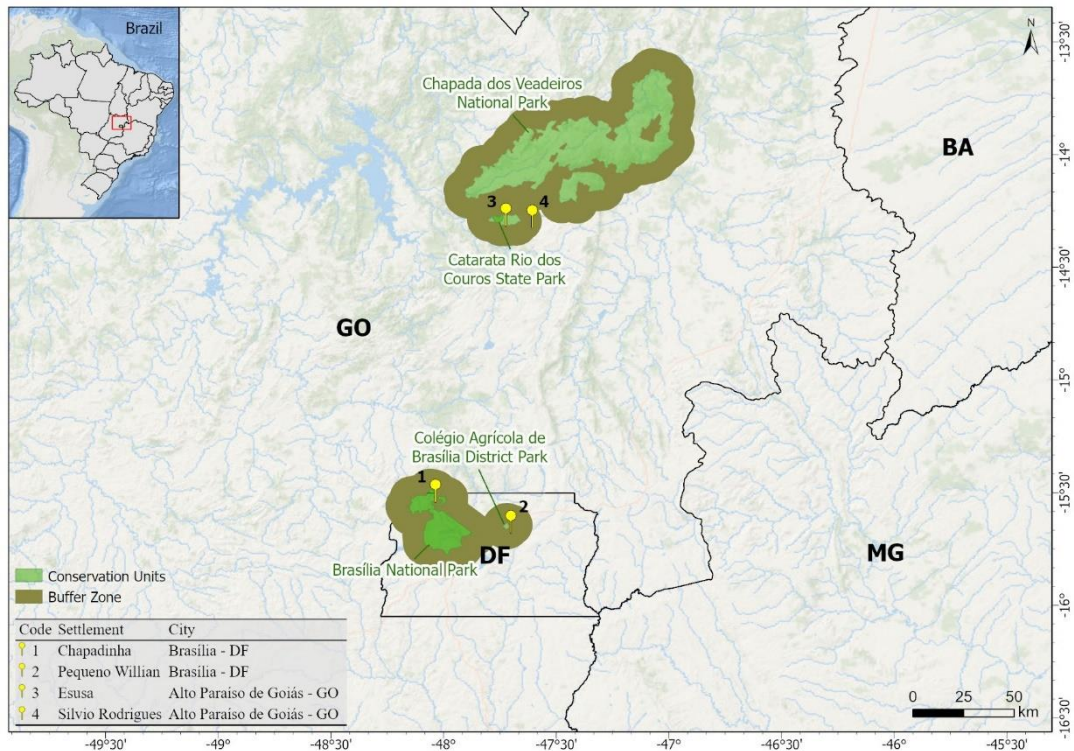
Realizamos essa pesquisa usando entrevistas e metodologias participativas para avaliar as variáveis socioecológicas, as percepções dos agricultores e o conhecimento ecológico local. Empregamos técnicas de aprendizado de máquina de inteligência artificial para identificar as principais variáveis socioecológicas que influenciam o LEK e a percepção dos serviços ecossistêmicos. Posteriormente, estimamos a variabilidade das variáveis mais importantes empregando estatística descritiva, testes inferenciais e análises de fluxo de dados. Por fim, exploramos os fatores que influenciam o conhecimento local, a percepção e os elementos propostos para aprimorar a gestão dos serviços ecossistêmicos.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1. Áreas de estudo**

Realizamos este estudo no bioma Cerrado, na região central do Brasil, onde há uma diversidade de paisagens de savanas, campos e florestas (Ribeiro e Walter, 2008). O Cerrado é a savana mais biodiversa do planeta, abrigando um terço da biodiversidade do Brasil e apresentando um alto nível de endemismo (Klink e Machado, 2005). Apesar de sua biodiversidade, apenas 3% do bioma é estritamente protegido (Françoso et al., 2015), o que o torna uma das áreas críticas para a conservação da biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos no planeta (Silveira et al., 2016). Selecionamos quatro assentamentos de reforma agrária na zona de amortecimento de áreas estritamente protegidas, três deles fazendo fronteira com as áreas protegidas e um não. Consideramos uma zona de amortecimento de 10 km, uma distância comumente usada em torno de áreas protegidas no Brasil. Desses, dois estão no Distrito Federal, o pré-assentamento Chapadinha, adjacente ao Parque Nacional de Brasília (42.355 ha), e o Assentamento Pequeno Willian, adjacente ao Parque Distrital do Colégio Agrícola de Brasília (527 ha), e dois no Estado de Goiás, o pré-assentamento Esusa, adjacente ao Parque Estadual Catarata Rio dos Couros (5.000 ha), e o Assentamento Silvio Rodrigues, na zona de amortecimento do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (24.611 ha) (Costa et al., 2022) (Figura 1). De agora em diante, vamos nos referir a esses assentamentos como Chapadinha, Pequeno Willian, Esusa e Silvio Rodrigues. Essas áreas são importantes para os agricultores familiares que receberam documentos oficiais como proprietários, reduzindo a

especulação imobiliária e contribuindo potencialmente para a produção de alimentos essenciais para a população. Há 45, 50, 22 e 119 agricultores familiares em Chapadinha, Esusa, Pequeno Willian e Silvio Rodrigues, respectivamente (INCRA, 2023).



**Figura 1.** Localização dos assentamentos agrários adjacentes ou próximos às Unidades de Conservação. As unidades de conservação estão marcadas em verde e a zona de amortecimento em marrom. Os assentamentos estão representados com um alfinete amarelo: 1-Chapadinha; 2-Pequeno Willian; 3-Esusa; 4-Silvio Rodrigues.

## 2.2. Seleção de agricultores

Selecionamos aleatoriamente 142 agricultores dos quatro assentamentos agrários e, em seguida, por telefone ou pessoalmente, os convidamos a participar. Para selecionar os agricultores, usamos os seguintes critérios: viver na fazenda por mais de 5 anos, idade maior que 18 anos e ter um sistema agrícola produtivo na fazenda para autoconsumo, comercialização ou para fornecer outros serviços ecossistêmicos. Com base nos critérios acima, 80 agricultores participaram, representando 35% das fazendas ocupadas em cada assentamento.

## 2.3. Dados socioecológicos

A conservação, que depende da compreensão das interações humanas com a natureza, enfatiza o papel crucial das entrevistas pessoais com as partes interessadas locais (Aglissi et al., 2024). O conhecimento e a percepção ecológicas locais devem ser obtidos por meio de entrevistas auxiliadas por questionários (Jew e Bonnington, 2011; Luiselli, 2024). Para coletar as variáveis socioecológicas, realizamos 80 entrevistas, após o consentimento prévio de cada participante. As entrevistas e o questionário de 54 perguntas foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade de Brasília

(CAAE: 3057462000005540) e aplicados ao principal membro da família. Seleccionamos 13 variáveis socioecológicas, que já tiveram sua importância testada para LEK e percepção (Vuillot et al., 2016; Hitomi e Loring, 2018; Texeira et al., 2018; Cebrián-Piqueras et al., 2020; Lima e Bartos, 2020): renda, idade, gênero, escolaridade, tamanho da propriedade, tempo de moradia na propriedade, bioma de origem, contato com iniciativas de conservação e restauração, forma de aprender sobre biodiversidade, interações com Unidades de Conservação (UCs) e Reserva Legal (RL) (determinadas como áreas protegidas para a conservação da biodiversidade), tipo de agroecossistema na propriedade e uso de áreas naturais de cerrado na propriedade.

#### **2.4. Conhecimento ecológico local (LEK)**

A interação com os 80 participantes foi dialógica e imersiva, incorporando imagens para ilustrar espécies, paisagens e descrições de conceitos. Para avaliar o nível de LEK sobre biodiversidade, usamos categorias de conhecimento predefinidas com escalas (Cebrián-Piqueras et al., 2020). Categorizamos quatro tipos distintos de LEK: 1 - ecossistemas (fisionomias vegetais do Cerrado, conservação e degradação); 2 - espécies (nativas, exóticas, endêmicas, invasoras e ameaçadas); 3 - uso de recursos vegetais nativos; e 4 - práticas (manejo) para conservação e restauração de SE. Solicitamos aos entrevistados seu conhecimento sobre "Ecossistemas" para abordar características distintas de ambientes e fisionomias vegetais do bioma Cerrado. Para a variável "espécie", solicitamos conceitos e significados atribuídos a espécies nativas, exóticas, endêmicas, invasoras e ameaçadas. Para avaliar o uso dos recursos vegetais, perguntamos sobre as plantas nativas do Cerrado, o número de espécies utilizadas diariamente, a identificação dessas espécies e seu uso pelo agricultor. Com relação à variável práticas de conservação e restauração, registramos quais práticas foram implementadas nas fazendas.

Os participantes que não forneceram informações relacionadas às categorias LEK receberam zero pontos. Os agricultores que apresentaram informações detalhadas sobre espécies, ecossistemas e paisagens naturais, usaram recursos vegetais nativos e implementaram ações de conservação e restauração para serviços ecossistêmicos receberam pontuação máxima. As pontuações foram atribuídas em unidades, por exemplo, uma unidade para o reconhecimento e a descrição das funções de uma fisionomia vegetal, duas unidades para o reconhecimento e a descrição das funções de duas fisionomias vegetais e assim por diante. A pontuação total (0-60) indicou a pontuação final do LEK dos participantes. Essa pontuação final do LEK foi composta pela soma das quatro pontuações das categorias do LEK, cada uma variando de 0 a 15. Outros autores (Cebrián-Piqueras et al., 2020) optaram por usar uma escala ponderada. A escala linear nos permitiu fazer comparações diretas sem atribuir pesos diferentes a cada categoria com base em sua importância. Os participantes que demonstrassem detalhes excepcionais e fornecessem uma variedade de exemplos poderiam ganhar dois pontos adicionais, potencialmente marcando 62 pontos.

## **2.5. Percepções dos serviços ecossistêmicos**

Examinamos as percepções de 80 agricultores em relação aos serviços ecossistêmicos que operam em suas fazendas. Determinamos quais classes e serviços ecossistêmicos seriam avaliados com base na classificação internacional CICES 5.2 (Haines-Young e Potschin, 2018). Seleccionamos e nomeamos 13 serviços ecossistêmicos das classes de regulação, provisão e cultural (IPBES, 2019). Avaliamos seis SE de regulação (qualidade da água doce subterrânea; moderação e controle de incêndios; regulação de temperatura e umidade; formação e proteção do solo; potencial de polinização e dispersão; e controle biológico), quatro de provisão (plantas nativas; criação de animais; produção de alimentos; e abastecimento de água) e três serviços culturais (capacidade das áreas naturais dentro da fazenda de oferecer ambientes de recreação e lazer e desestressar; apelo estético com relevante beleza cênica da fazenda; e relação de pertencimento e identidade do entrevistado com as áreas naturais de sua fazenda).

Usamos o método de entrevista para coletar dados inspirados na metodologia Q, que converte percepções subjetivas em dados quantitativos (Ha, 2014). Realizamos um processo de classificação com uma tabela de classificação Q bipolar (projetada no formulário de coleta de dados) que variava de -5 para eventos de importância extremamente negativa a 5 para eventos de importância extremamente positiva. As pontuações foram atribuídas como 0 (SE não notado por minha família); 5 (o agricultor reconhece a presença e a eficiência desse SE operando em sua fazenda com extrema importância); -5 (o agricultor reconhece a deficiência desse SE em sua fazenda e, portanto, não se beneficia dele). Nos casos em que o agricultor não tinha certeza sobre a pontuação ou mesmo tinha dúvidas sobre o valor numérico a ser atribuído à sua observação, fornecemos um roteiro de interpretação com pontuações atribuídas de 1 a 5 pontos.

Para entender as percepções dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos e visualizar a intensidade, a direção e o grupo de origem dessas percepções, incluímos perguntas abertas na entrevista (Cebrián-Piqueras et al. 2017; Texeira et al. 2018;): (1) Os agricultores percebem mudanças para melhor, pior ou nenhuma mudança ao longo dos anos e especificamente neste ano na paisagem? (2) Qual é a mudança percebida? E (3) Existem fatores que poderiam mudar a prestação de serviços ecossistêmicos na paisagem no futuro?

## **2.6. Tipos de agroecossistemas**

Para classificar os agroecossistemas de acordo com o uso predominante da terra, fizemos as seguintes perguntas aos agricultores: (1) Há produção de alimentos em sua fazenda? (2) Você vende produtos ou presta serviços em sua fazenda? (3) A produção em sua fazenda é de base orgânica, agroecológica ou convencional? (4) A principal renda da propriedade provém de produtos de origem vegetal ou animal, ambos, ou de serviços no local ou fora dele? Além disso, realizamos expedições técnicas no terreno para observar vários elementos, como a presença de maquinário, tipos de insumos agrícolas utilizados, área de produção e área de serviços utilizados. Essas observações nos ajudaram a definir o uso predominante da terra e a finalidade principal de cada fazenda e, em seguida, a definir os tipos

de fazendas. Após o questionário e nossas visitas in loco às propriedades, classificamos as fazendas usando uma chave dicotômica (material suplementar) em: (1) autoconsumo; 2) monocultura de soja; (3) ecoturismo; (4) produção animal em sistema silvipastoril, com foco na comercialização de produtos animais; e (5) agroecológica, que produz produtos vegetais para comercialização, como sementes, frutas e legumes.

## **2.7 Análise de dados**

Para responder à pergunta: "Quais variáveis socioecológicas influenciam o LEK e a percepção dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos em assentamentos próximos a unidades de conservação?", empregamos técnicas de aprendizado de máquina de inteligência artificial, especificamente a modelagem Random Forest. Escolhemos o Random Forest devido à sua alta precisão de classificação, robustez contra ruídos e outliers, bem como à sua capacidade de lidar com grandes quantidades de dados simultaneamente sem excesso de ajuste (Zhao et al., 2022). Analisamos a influência de 13 variáveis explicativas socioecológicas no LEK e na percepção (variáveis de resposta). Com o processo "Importância do recurso", avaliamos a contribuição de cada variável na redução da impureza em árvores de decisão individuais. Quanto mais uma variável é usada para fazer divisões nas árvores que melhoram a pureza, mais importante é a variável. A importância relativa de cada variável para o modelo é indicada por "%IncMSE", com valores superiores a 30 indicando alta influência (Genuer et al., 2010). Em seguida, avaliamos a variabilidade das variáveis socioecológicas mais importantes associadas ao LEK e à percepção. Para isso, realizamos a ANOVA (Análise de Variância) para captar variações significativas da variável explicativa em relação à variável de resposta. O teste post-hoc de Tukey foi usado para analisar diferenças significativas entre os subgrupos das variáveis. Para dados não paramétricos, usamos o teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunn para indicar quais pares de grupos diferem significativamente.

## **3. Resultados**

### **3.1. Aspectos socioecológicos**

Foram entrevistados 44 homens (55%) e 36 mulheres (45%). A idade dos agricultores dos quatro assentamentos agrários variava de 18 a 79 anos, sendo que a maioria (73,7%) tinha menos de 60 anos. A maioria (77,7%) tem uma renda mensal inferior a US\$ 545. Embora 81,2% dos entrevistados tenham frequentado a escola, apenas 15% concluíram o ensino superior. Mais da metade (55%) dos agricultores nasceu no bioma Cerrado, e a grande maioria (84%) vive em suas fazendas entre 5 e 20 anos. A maioria das fazendas (91,2%) tem mais de seis hectares, sendo 31,5% menores que 10 ha. Entre os entrevistados, 60% haviam visitado as unidades de conservação próximas a seus assentamentos e 73,7% exploraram as áreas de Reserva Legal pelo menos uma vez (Material Suplementar). Mais da metade dos agricultores (53,7%) relatou contato com iniciativas de conservação e restauração da natureza. A maioria dos agricultores (75%) utiliza áreas naturais de



cerrado típico, seja para produtos não madeireiros (72,5%) ou recursos madeireiros (2,5%). Entre os agricultores que utilizam produtos não madeireiros, 33,7% coletam apenas frutas, enquanto 15% coletam uma variedade de itens, incluindo frutas, cascas, resinas, palhas, fibras, raízes, plantas medicinais, sementes e folhas. Além disso, 17,5% dos agricultores usam as áreas de vegetação típica do cerrado para a criação de gado, e apenas 6,25% usam essas áreas principalmente para lazer, recreação, atividades educacionais e alívio do estresse. (Material suplementar)

A maioria das propriedades (72,5%) concentra-se na produção de produtos e serviços para comercialização. Entre elas, quase a metade (33,7%) tem como base a produção agroecológica de vegetais para comercialização (15% têm certificação orgânica); produção animal (12,5%), monocultura de soja (18,7%) e ecoturismo (7,5%). As demais fazendas (27,5%) concentram-se na produção voltada para o autoconsumo familiar dos agricultores.

### **3.2. Conhecimento Ecológico Local (LEK)**

Perguntamos aos agricultores qual era sua principal fonte de aquisição de Conhecimento Ecológico Local (LEK). A maioria dos agricultores (70%) relatou ter adquirido conhecimento por meio do uso de ambientes naturais do cerrado. Apenas uma pequena porcentagem (13,7%) mencionou a transmissão geracional como fonte de conhecimento, enquanto um número ainda menor (7,5%) citou o contato com iniciativas de conservação e restauração. Notavelmente, uma proporção muito pequena de agricultores atribuiu importância a sites, televisão, vídeos (3,75%), contato com vizinhos e amigos (3,75%) e educação formal (1,25%) como seus principais métodos de aprendizagem.

Os níveis de LEK variaram consideravelmente entre os agricultores. A maioria dos agricultores (81,2%) reconheceu pelo menos uma fisionomia vegetal do bioma Cerrado, sendo o cerrado típico a vegetação mais conhecida (61,2%). Apenas 12,5% dos agricultores reconheceram e diferenciaram todas as cinco fisionomias vegetais apresentadas nas fotos (cerrado típico, cerrado rupestre, cerrado aberto, veredas e florestas). Da mesma forma, apenas 12,5% dos agricultores conheciam todos os cinco tipos de espécies: nativas, ameaçadas, exóticas, invasoras e endêmicas. Aproximadamente dois terços (66,2%) descreveram corretamente as espécies nativas com seus conceitos e significados. A maioria (73,7%) apresentou conhecimento sobre plantas nativas e confirmou o uso frequente, principalmente para fins alimentícios e medicinais. No entanto, por outro lado, uma parcela considerável (62,5%) dos agricultores relatou não ter se envolvido em práticas de conservação de áreas naturais e restauração de serviços ecossistêmicos em suas fazendas. (Material suplementar)

### **3.3. Percepção sobre os serviços ecossistêmicos**

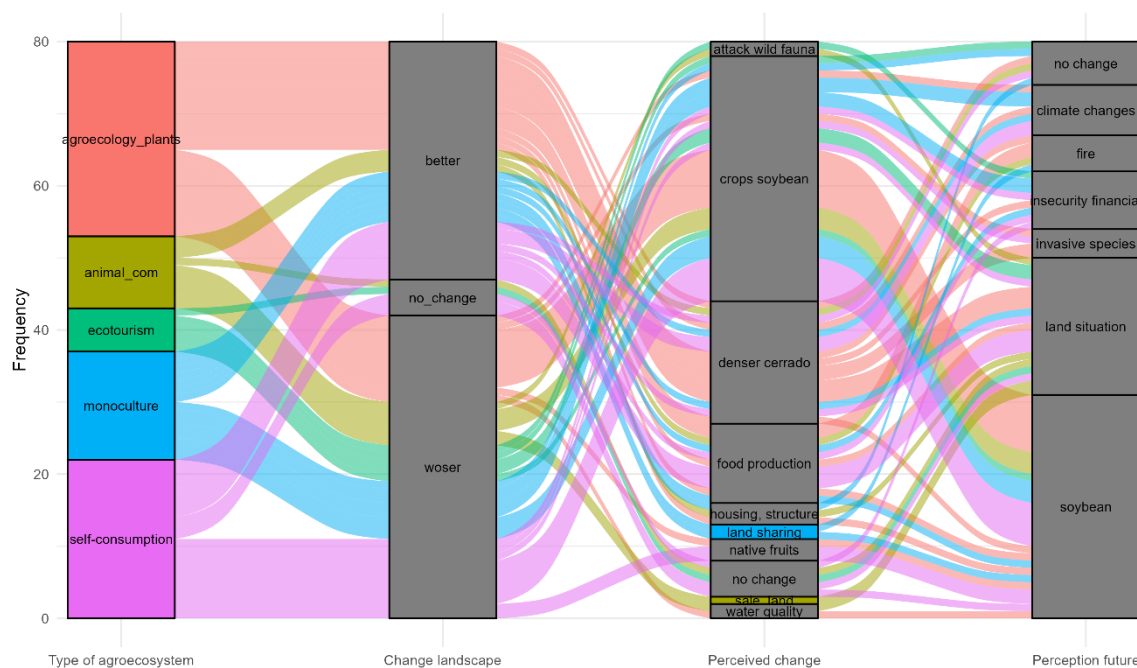
As mudanças negativas que afetaram a prestação de serviços ecossistêmicos nos últimos cinco anos no assentamento foram mencionadas por mais da metade (52,5%) dos agricultores, que destacaram as mudanças na paisagem que afetaram suas fazendas. A maioria (42,5%) atribuiu essas variações negativas às monoculturas de soja no assentamento. Os demais agricultores relataram uma

diminuição na produtividade das árvores frutíferas nativas (3,75%), diminuição da qualidade e da quantidade de água (2,5%), redução do gado devido a ataques de animais selvagens (2,5%) e desmatamento dentro das fazendas devido a mudanças de proprietários (1,25%).

Dos que têm percepções positivas (41,2%) de que há melhorias, a maioria (21,2%) atribuiu a melhoria ao cerrado mais denso, com mais árvores, o que melhorou o clima, a quantidade de água e outros serviços. Além disso, 13,75% dos agricultores atribuíram a melhoria da paisagem natural à produção agroecológica de alimentos para comercialização e que também garantiu a segurança alimentar das famílias dos agricultores. A aquisição de moradia e infraestrutura adequadas (abertura de estradas de terra e acesso à eletricidade) foi mencionada por 3,7%, e a designação de espaços independentes para produção e conservação, por 2,5%. Apenas 6,2% citaram a ausência de qualquer tipo de mudança na paisagem ao longo dos anos.

A maioria dos agricultores (92,5%) acredita que a prestação de serviços ecossistêmicos na paisagem será alterada. Desses, 38,7% acreditam que a mudança ocorrerá devido à presença de monoculturas de soja, ao desmatamento para o plantio de soja, ao uso frequente de agrotóxicos e à presença de pragas da soja em vegetais e árvores nativas. Os 22,5% restantes afirmam que a insegurança fundiária ou a falta de regularização dos assentamentos de reforma agrária comprometerá a prestação de serviços ecossistêmicos na paisagem, devido à especulação em áreas rurais e naturais que se transformarão em áreas com características urbanas e para a produção de grãos. Há um grupo (10%) que acredita que a principal ameaça é a insegurança financeira das famílias, que pode levá-las a migrar para um sistema predatório que afeta os serviços ecossistêmicos regulatórios, como a retirada de madeira ou o cultivo de monocultura de soja. Apenas 8,7% atribuíram as mudanças na prestação de serviços ecossistêmicos à imprevisibilidade climática, como mudanças nos padrões de chuva, eventos torrenciais extremos ou secas extremas e uma diminuição no fluxo de água disponível para uso familiar.

Para 6,2% dos agricultores, a preocupação futura são os incêndios que podem resultar na perda de serviços ecossistêmicos e 5% acreditam que a principal ameaça são as espécies exóticas invasoras, sendo que duas espécies são mencionadas (*Urocloua decumbens* e *Tithonia diversifolia*). Com a percepção oposta, 7,5% indicaram que os serviços ecossistêmicos não serão afetados na paisagem. Esses dados descrevem que o ambiente tem atributos suficientes para a manutenção e a resiliência dos ecossistemas. Os agricultores de todos os tipos de fazenda, inclusive os produtores de soja, relataram que as monoculturas de soja deverão ter um efeito negativo nas paisagens (Figura 2).

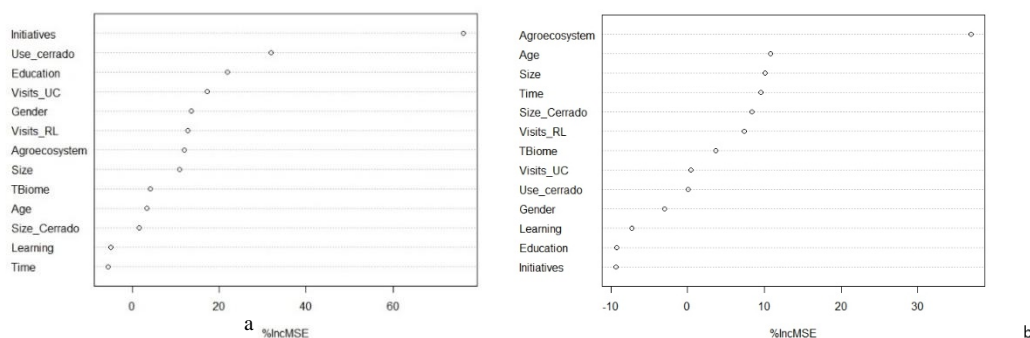


**Figura 2.** Percepção de diferentes tipos de agricultores com relação a mudanças na paisagem e ameaças futuras. A figura apresenta a relação entre tipos de agroecossistemas (primeira coluna), mudanças positivas, neutras ou negativas na paisagem da fazenda (segunda coluna), tipos de mudanças percebidas (terceira coluna) e principais ameaças futuras à fazenda (última coluna). As categorias de agroecossistema incluem agroecologia vegetal, criação de animais, ecoturismo, monocultura e autossuficiência. As mudanças percebidas na paisagem variam de melhor, sem mudanças, a pior. As ameaças futuras incluem mudanças climáticas, incêndios, segurança financeira, espécies invasoras, situação da terra e cultivo de soja.

### 3.4. Modelo preditivo

Os resultados da modelagem Random Forest revelam que o LEK das famílias em assentamentos rurais é altamente influenciado por duas variáveis: o nível de contato com iniciativas de conservação e restauração e o contato direto e uso de áreas naturais de cerrado típico, ambos acima de 30% IncMSE. A educação formal e o vínculo entre os agricultores e a área de proteção ambiental vizinha ao assentamento são variáveis de importância média. As demais variáveis contribuem de forma menos significativa (Figura 3a). A percepção dos serviços ecossistêmicos pelos agricultores é determinada principalmente pelo tipo de atividade agrícola realizada na propriedade. A idade dos agricultores, o tempo de residência no assentamento, o tamanho da propriedade e o uso de áreas naturais de cerrado na propriedade têm um efeito limitado sobre as percepções dos agricultores sobre os SE (Figura 3b). O modelo demonstra sua melhor robustez em um valor baixo do erro quadrático médio de validação cruzada (CVMSE) (Varmuza & Filzmoser, 2008). Portanto, a influência de todas as variáveis não é invalidada, considerando que os dois modelos, também usando os 13 preditores, são validados de forma cruzada com CVMSE com boa robustez (material suplementar, apêndice E). De acordo com a validação cruzada, para LEK, quatro variáveis são suficientes para um bom modelo. Para a percepção, com base no valor mínimo de CVMSE, uma variável garante boa precisão para o modelo (material suplementar, apêndice E). A máquina de aprendizado demonstrou robustez na

avaliação de fatores que afetam o LEK e a percepção. Isso pode melhorar a pesquisa ecológica ao preencher lacunas, especialmente em abordagens quantitativas relacionadas ao conhecimento local (Steele e Shackleton, 2010).



**Figura 3.** Modelo Random Forest com variáveis de influência na variável-alvo (a) LEK e na variável-alvo (b) percepção. "%IncMSE" é a porcentagem do erro quadrático médio, que determina a importância da variável individual para o modelo.

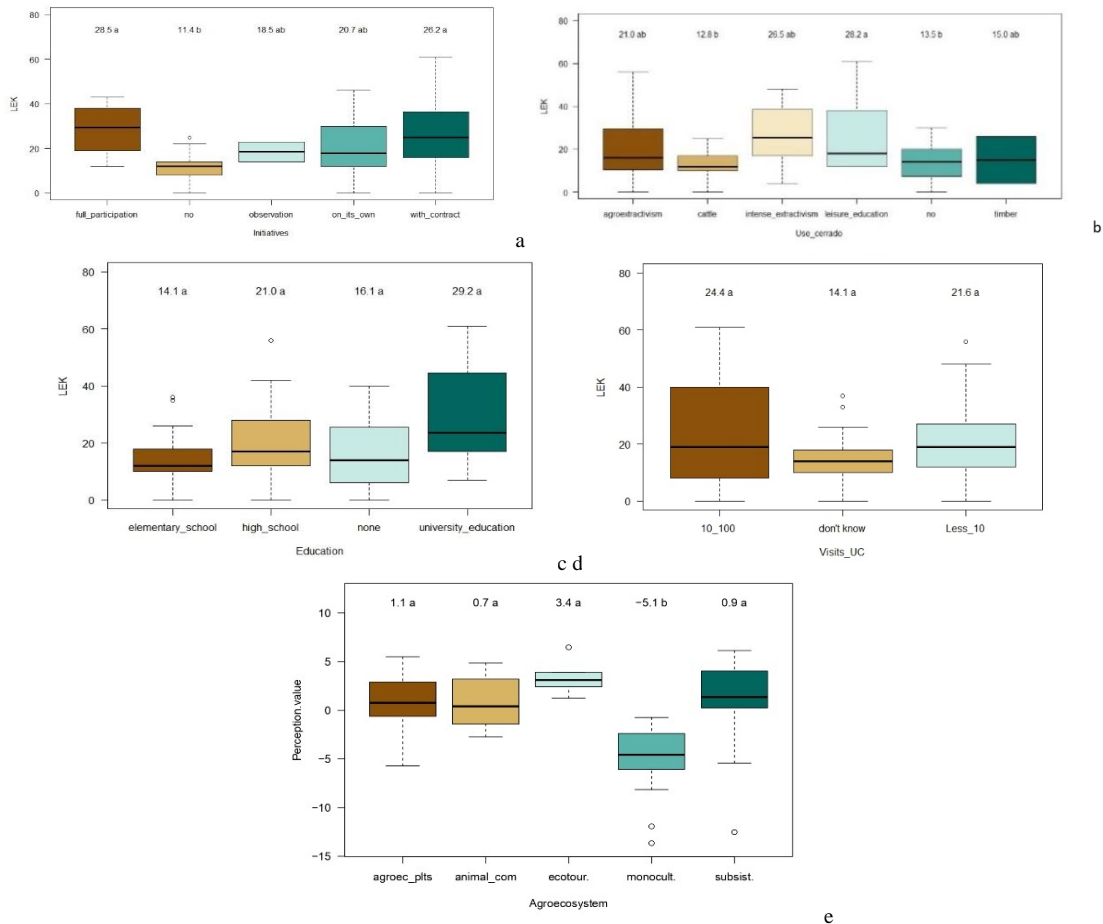
### 3.5. Avaliação estrutural

Testamos as diferenças em LEK e percepção considerando: as variáveis mais importantes identificadas no modelo Random Forest e o número de preditores selecionados pela validação cruzada.

O modelo Random Forest mostra que a variável que afeta mais fortemente o LEK é a participação dos agricultores em iniciativas de conservação ou restauração. O nível de LEK dos agricultores diferiu de acordo com sua forma de participação em iniciativas de conservação ou restauração ( $F = 10,715$ ;  $p$ -valor  $< 0,001$ ; ANOVA). Os agricultores sem participação tiveram um nível de LEK significativamente menor ( $11,4 \pm 5,9$ ) do que os agricultores com participação total ( $28,5 \pm 13,0$ ; valor  $p = 0,012$ ) e os agricultores com contrato ( $26,2 \pm 14,5$ ; valor  $p < 0,001$ ). Não houve diferenças significativas no LEK entre os agricultores que observaram iniciativas ( $18,5 \pm 6,4$ ) ou desenvolveram iniciativas por conta própria ( $20,7 \pm 15,8$ ) e as outras categorias (Figura 4a). A forma como o cerrado é utilizado explicou significativamente a variação no LEK dos produtores ( $F=4,095$ ;  $p$ -valor= $0,00271$ ; ANOVA). Os agricultores que usavam o cerrado para a criação de gado ( $12,8 \pm 6,8$ ; valor  $p = 0,039$ ) e aqueles que não usavam o cerrado ( $13,5 \pm 8,9$ ; valor  $p = 0,019$ ) tinham um nível de LEK significativamente mais baixo do que os agricultores que usavam o cerrado para lazer e educação ( $28,2 \pm 21,2$ ), valor  $p=0,001$ ). Não houve diferenças significativas no LEK entre os agricultores que usavam o cerrado para agroextrativismo ( $21,0 \pm 13,9$ ), extrativismo intenso ( $26,5 \pm 13,2$ ) e extração de madeira ( $15,0 \pm 15,6$ ) e as outras categorias (Figura 4b). O nível de escolaridade não explicou significativamente a variação no LEK ( $F=2,498$ ;  $p$ -valor= $0,067$ ; ANOVA), e o teste post hoc também não mostrou diferenças significativas entre os diferentes níveis (Figura 4c). Os subgrupos avaliados para a categoria de vínculos com UCs ( $F=2,528$ ;  $p$ -valor= $0,087$ ; ANOVA), com base no número de visitas a essas áreas, não diferem em termos de importância no LEK, e o teste post hoc também não mostrou diferenças significativas entre os diferentes níveis (Figura 4d).

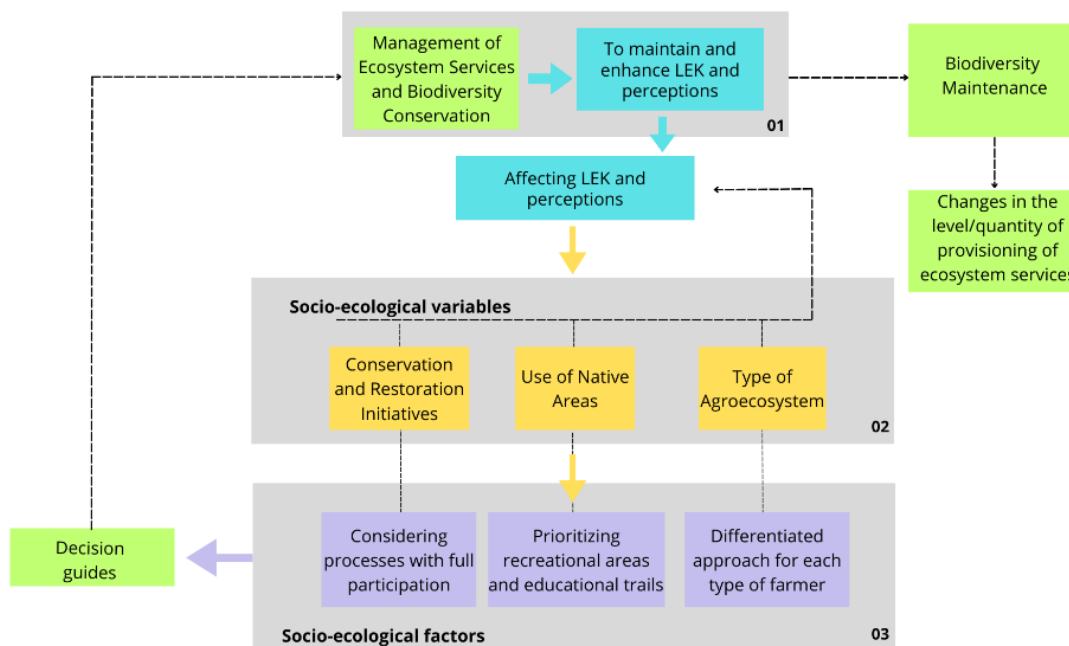
O tipo de atividade realizada na propriedade (agroecossistema) explicou significativamente a

variação nas percepções dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos ( $X^2 = 29,96$ ;  $p < 0,001$ ; Kruskal-Wallis). Os agricultores que praticam a monocultura de soja obtiveram uma pontuação significativamente mais baixa ( $-5,1 \pm 3,8$ ; valor  $p < 0,001$ ) em comparação com os outros quatro grupos, no teste de Dunns (Figura 4e).



**Figura 4.** Importância das variáveis no LEK (a-d) e percepção (e). (a) Contato com iniciativas de conservação e restauração da natureza relativas ao LEK; (b) Uso do cerrado em relação ao LEK; (c) - Educação em relação ao LEK; (d) Vínculo com a unidade de conservação vizinha ao assentamento em relação ao LEK; (e) Variação na estrutura interna com base no tipo de agroecossistema em relação à percepção. A caixa indica o intervalo entre os quartis 1 e 3, a linha horizontal indica a mediana, as hastes indicam a extensão dos dados e os pontos individuais os outliers. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ; teste de Tukey).

Os resultados indicam que as iniciativas de conservação e restauração integradas com as partes interessadas, bem como o uso de áreas nativas do cerrado, especialmente para atividades recreativas e trilhas educacionais, devem melhorar ou manter os níveis de conhecimento local. Para a percepção, os melhores resultados ocorrerão quando as abordagens para melhorar a gestão dos serviços ecossistêmicos forem planejadas e implementadas especificamente para cada tipo de agricultor. Essas ações são capazes de orientar as decisões de gestão e planejamento, o que certamente aumentaria a probabilidade de manter a biodiversidade e melhorar a prestação de serviços ecossistêmicos de forma sustentável (Figura 5).



**Figura 5.** Estratégia para melhorar a gestão dos serviços ecossistêmicos: (1) compreender que os sistemas socioecológicos dependem do conhecimento ecológico local (LEK) e das percepções, (2) compreender quais variáveis socioecológicas influenciam o LEK e as percepções e (3) derivar a análise das variáveis em fatores que, por sua vez, podem melhorar as estratégias de gestão.

## 4. Discussão

### 4.1. A participação dos agricultores em iniciativas e o uso de áreas naturais são cruciais para o LEK.

Estudos anteriores estabeleceram que as comunidades com sistemas de governança robustos, alianças externas eficazes e práticas sustentáveis em áreas naturais demonstram altos níveis de LEK (Mutenje et al., 2011; Soriano et al., 2017). Isso foi, de certa forma, replicado em nosso estudo. Os resultados se alinham com esse entendimento, sugerindo que níveis mais altos de LEK são alcançados por agricultores envolvidos em ações locais.

O envolvimento em "iniciativas de conservação e restauração da natureza", particularmente aquelas conduzidas por e dentro das comunidades, surge como o fator mais importante que contribui para o Conhecimento Ecológico Local (LEK), especialmente quando os agricultores participam ativamente de todas as fases do projeto. O desenvolvimento de processos de planejamento local com participação ativa da comunidade, em vez de depender exclusivamente de intervenções externas, pode promover resultados mais equitativos para a gestão de serviços de ecossistemas (Dorresteijn et al. 2017). Além disso, a valorização do LEK nos processos de tomada de decisão e a manutenção de canais abertos para diversos sistemas de conhecimento provaram ser estratégias eficazes para a manutenção, a conservação e o gerenciamento dos serviços ecossistêmicos (Díaz et al., 2015). Eventos dialógicos e participativos podem aprofundar a compreensão dos serviços ecossistêmicos e as interconexões entre a biodiversidade e os processos ecológicos. Isso pode aumentar o envolvimento voluntário dos agricultores nos esforços de conservação (Bennett, 2017) e também facilitar a cocriação de soluções

locais para o gerenciamento de ecossistemas (Tengo et al., 2017, Teixeira et al., 2018).

Ao definir metas para a conservação e restauração de serviços ecossistêmicos, é fundamental reconhecer as diversas motivações das comunidades envolvidas e avaliar os possíveis benefícios ecológicos e sociais (Jellinek et al., 2019). Nas comunidades próximas a áreas protegidas, a participação local nas metas de conservação é essencial. Isso envolve a promoção da colaboração na conservação de recursos, facilitando o compartilhamento de decisões e prioridades e identificando necessidades com todas as partes interessadas.

Nossas descobertas indicam ainda que o uso de áreas naturais de cerrado também é altamente relevante para o Conhecimento Ecológico Local (LEK). Em primeiro lugar, quando perguntamos diretamente aos agricultores, a principal forma de adquirir LEK foi determinada como sendo o contato com áreas naturais. Complementarmente, o aprendizado de máquina também destacou essa alta influência. Por fim, a análise estrutural interna apontou que as atividades educacionais e recreativas, ou seja, atividades que promovem serviços ecossistêmicos culturais, resultam em altos níveis de LEK, diferindo significativamente de outros usos do cerrado. Isso sugere que as populações locais estão altamente engajadas com os ecossistemas circundantes e que sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos culturais, como recreação, trilhas de interpretação ambiental ou caminhadas, são ações influentes na identidade cultural (Soriano, et al., 2017).

Ao promover abordagens que fortaleçam a identidade cultural, sejam inclusivas e participativas, podemos aumentar a eficácia e a sustentabilidade da gestão de serviços ecossistêmicos e, ao mesmo tempo, atender às diversas necessidades e aspirações das comunidades locais.

Em uma análise geral, a educação apresentou relevância média, mas não foi significativa para o conhecimento ecológico local (LEK), semelhante à relação com a área de reserva legal e o gênero. Outros estudos relataram associações inconsistentes entre os níveis de escolaridade e a constituição do LEK (Berkes et al., 2000). No entanto, eles confirmam que o gênero pode ser altamente significativo para a LEK (Souto e Ticktin, 2012). A idade não se mostrou relevante para o LEK. Estudos alertam que, em muitos casos, indivíduos mais velhos foram escolhidos para relatar o LEK, causando um viés na compreensão de que a idade influencia altos níveis de LEK (Steele e Shackleton, 2010). Entretanto, em estudos comparativos entre idades e LEK, foi demonstrado que as diferenças de idade não afetam significativamente o LEK (Steele e Shackleton, 2010; Dovie et al., 2008). O tempo em que o agricultor viveu na fazenda não foi relevante para o LEK em nosso estudo, semelhante aos resultados de outra pesquisa (Cebrián-Piqueras et al., 2020). No entanto, encontramos incentivos para investigar a variável tempo de forma diferente, pois Iniesta-Arandia et al. (2014) descobriram que o tempo gasto pelo agricultor na área provou ser altamente relevante para o LEK.

#### **4.2. A percepção dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos está associada principalmente ao agroecossistema cultivado na propriedade**

O uso predominante da terra e a finalidade principal de cada fazenda, que definem o tipo de agroecossistema, influenciam significativamente as percepções dos agricultores sobre os serviços

ecossistêmicos, semelhante aos resultados de outros estudos (Teixeira et al., 2018; Aguado et al., 2018; Adeyemi et al., 2022). Os membros da comunidade envolvidos em ocupações e estilos de vida intimamente ligados ao ambiente preservado ou próximos à paisagem original têm maior consciência e compreensão dos serviços ecossistêmicos (Ke et al., 2024; Dehghani Pour et al., 2023). Por outro lado, descobrimos que os agricultores familiares que adotaram sistemas de monocultura de soja em suas propriedades têm uma percepção negativa dos serviços ecossistêmicos. Portanto, é fundamental considerar como os diferentes tipos de agricultores percebem os serviços ecossistêmicos ao gerenciar áreas. A escolha do modelo de produção pelos agricultores continua a moldar sua percepção ao longo do tempo, à medida que eles aumentam sua compreensão de seus sistemas de produção, levando a uma maior apreciação da biodiversidade, da conservação e do potencial de prestação de serviços ecossistêmicos (Teixeira et al., 2018). Portanto, os programas de gestão de serviços ecossistêmicos devem reconhecer os diversos tipos de agricultores familiares. Diversos tipos de agricultores e suas capacidades de prestar vários serviços ecossistêmicos podem desempenhar um papel fundamental na promoção da conservação da biodiversidade e do funcionamento ecológico em escala de paisagem (Kremen e Merenlender, 2018). Ao reconhecer e se adaptar às percepções e necessidades em evolução dos agricultores, os gerentes e formuladores de políticas podem aumentar a eficácia e a sustentabilidade das iniciativas de gerenciamento de serviços ecossistêmicos.

Ainda é válido categorizar os pontos de convergência e divergência nas percepções de diferentes grupos (Teixeira et al., 2019). Ao discutir perspectivas futuras sobre a manutenção dos serviços ecossistêmicos nesta pesquisa, todos os tipos de agricultores concordaram que as monoculturas de soja em algum momento terão um efeito negativo nas paisagens, alterando o fornecimento de serviços ecossistêmicos. Embora um grupo adote uma técnica específica que impacta negativamente os serviços ecossistêmicos, a biodiversidade e o meio ambiente, sua capacidade crítica de reconhecer os efeitos prejudiciais ao meio ambiente não é invalidada. A desconexão entre a percepção e a execução das atividades levanta a questão do papel das diferenças sociais ou das barreiras nas redes sociais/políticas na condução de ações desconectadas das percepções (McClean et al., 2022). As iniciativas que destacam as contradições entre as ações e as percepções dos agricultores podem gerar mudanças, úteis nas transições de conservação planejadas com a comunidade.

A idade teve apenas uma relevância secundária nas percepções dos serviços ecossistêmicos (SEs). Estudos anteriores também relataram que a idade teve menor relevância (Ke et al., 2024; Koju et al., 2023). A escolaridade foi considerada irrelevante para a percepção neste estudo, ao contrário de outro estudo (Dehghani Pour et al., 2023), em que a escolaridade do entrevistado influenciou a percepção de determinados serviços ecossistêmicos.

As iniciativas de conservação e restauração dentro das comunidades não influenciaram as percepções dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos, sugerindo que a formação da percepção nessas comunidades pode estar mais intimamente ligada a experiências cotidianas profundas do que especificamente associada a ações, projetos e workshops na área ou ao contato com indivíduos externos.



### **4.3 Estratégias para gestão de serviços ecossistêmicos e conservação da biodiversidade**

Nosso estudo destacou os componentes socioecológicos críticos, enfatizando as ações essenciais para a preservação e a valorização do conhecimento ecológico local e o aprimoramento das percepções em relação aos serviços ecossistêmicos. Com base nessas descobertas, perguntamos: Qual estratégia pode ser utilizada para melhorar a gestão dos serviços ecossistêmicos e a conservação da biodiversidade? Propomos que as ações que promovem o aumento do conhecimento ecológico local e das percepções podem conectar permanentemente as pessoas ao gerenciamento de recursos, feito de forma integrativa e adaptativa para manter os serviços ecossistêmicos e conservar a biodiversidade.

A mediação entre as variáveis socioecológicas e o conhecimento local pode induzir mudanças na qualidade e na quantidade desses serviços, apoiando conjuntamente a biodiversidade e o bem-estar humano (Gu e Subramanian, 2014). Portanto, é necessário identificar os impulsionadores da mudança, ou seja, os fatores socioecológicos que influenciam o aumento do conhecimento e da percepção local. A compreensão dos fatores socioecológicos da comunidade que circunda as áreas protegidas fornece insights sobre a dinâmica predominante e os ajustes necessários para o gerenciamento integrado (Kremen e Merenlender, 2018).

Os níveis de participação em iniciativas de conservação, manejo e restauração, bem como a utilização de áreas de cerrado nativo dentro das fazendas, são fatores-chave positivamente correlacionados com o LEK referente aos serviços ecossistêmicos e à conservação. Além disso, o tipo e a finalidade das atividades primárias realizadas nas fazendas moldam fortemente as percepções dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos. Portanto, para aumentar o sucesso das iniciativas que visam à conservação da biodiversidade e à garantia dos serviços ecossistêmicos em áreas protegidas e seus arredores, é fundamental envolver as comunidades de agricultores em todas as etapas dessas iniciativas. Além disso, as necessidades e aspirações dessas comunidades devem ser integradas ao planejamento e à execução dos esforços de conservação. Por fim, como o LEK e a percepção são dinâmicos e estão em constante evolução, as estratégias de gerenciamento devem se adaptar a essas mudanças ao longo do tempo.

### **4.4. O potencial do uso do aprendizado de máquina para análise da influência do valor local.**

Nossas descobertas indicam a importância de usar o aprendizado de máquina para identificar as variáveis socioecológicas mais influentes para LEK e percepção, uma tarefa que pode ter sido negligenciada com o uso de abordagens tradicionais de construção de modelos (Rahal et al., 2022). Com os algoritmos do Random Forest, conseguimos determinar a importância relativa das treze variáveis socioecológicas testadas, destacando a necessidade de incorporar esses dados para avaliar a variação nos valores locais.

O uso de dados de aprendizado de máquina para informar políticas públicas e oportunidades de intervenção com base em modelagem preditiva (Risi et al. 2019) identifica estrategicamente variáveis

influentes que moldam os sistemas de valores locais e a gestão ambiental. Essa abordagem permite que os tomadores de decisão aloquem recursos onde eles maximizem os benefícios dos serviços ecossistêmicos. O processo de tomada de decisão envolve destacar como determinadas variáveis socioecológicas afetam os valores locais e, conseqüentemente, a oferta e a demanda por serviços ecossistêmicos. Portanto, as ferramentas de aprendizado de máquina podem não apenas aprimorar os processos de tomada de decisão, mas também facilitar a criação de ações alinhadas aos valores locais, promovendo, assim, estratégias eficazes de conservação e gerenciamento.

#### **4.5. Limitações da pesquisa**

O viés de desejabilidade social pode influenciar as entrevistas, pois os participantes podem fornecer respostas que consideram socialmente aceitáveis em vez de totalmente verdadeiras (Luiselli, 2024). Isso ficou evidente durante a fase piloto das entrevistas. Para atenuar essa limitação, procuramos desenvolver ações que aumentassem a confiança das famílias de agricultores a ponto de elas se sentirem à vontade para serem honestas, fornecendo respostas que refletissem a realidade. Realizamos discussões com os líderes dos assentamentos, apresentando o método de pesquisa e o questionário para alinhar os objetivos da pesquisa com as necessidades de feedback da comunidade. Além disso, treinamos quatro extensionistas com experiência em assentamentos de reforma agrária para criar confiança com as famílias de agricultores, principalmente durante as caminhadas guiadas dentro das fazendas. Somente após essa etapa e em um momento espontâneo, quando as famílias indicaram que estavam prontas para a entrevista, esta foi realizada. Embora a entrevista tenha sido dirigida a um membro da família, convidamos outros membros a participar, pois acreditávamos que isso ajudava a validar o que estava sendo dito. O questionário incluiu perguntas abertas que contribuíram para manter um diálogo espontâneo, em que o entrevistador evitou fazer perguntas diretamente. Concluímos que as reuniões presenciais oferecem altos níveis de interação, o que é recomendado para superar os desafios de uma pesquisa como essa.

#### **5. Conclusões**

Nosso estudo revela as variáveis socioecológicas críticas que influenciam o Conhecimento Ecológico Local (CEL) e a percepção dos agricultores que vivem em assentamentos agrários adjacentes a áreas protegidas no bioma Cerrado, com o objetivo de determinar quais fatores devem ser considerados em estratégias que possam melhorar a conservação da biodiversidade e o fornecimento de serviços ecossistêmicos.

Resumo das descobertas e implicações:

1. Identificação de variáveis relevantes para o LEK:

- Participação em iniciativas de conservação: A participação ativa em iniciativas de conservação, gerenciamento e restauração está positivamente correlacionada com o Conhecimento Ecológico Local (LEK).

- Uso de áreas nativas: O uso de áreas nativas do Cerrado em fazendas está fortemente ligado ao LEK, destacando a importância de práticas de turismo rural sustentável, como atividades de lazer e trilhas ecológicas.

## 2. Identificação de variáveis relevantes para a percepção dos serviços ecossistêmicos

- Tipo de agricultor-agroecossistema: As percepções dos agricultores sobre os serviços ecossistêmicos são significativamente influenciadas pelo tipo e pela finalidade das principais atividades realizadas nas fazendas.

## 3. Implicações para o gerenciamento de serviços de ecossistema e conservação da biodiversidade:

- Promoção do envolvimento da comunidade: O envolvimento das comunidades agrícolas em todos os estágios das iniciativas de conservação e restauração (avaliação da demanda, desenvolvimento de propostas, planejamento, execução e avaliação) é essencial para o sucesso a longo prazo e para a obtenção de mudanças na qualidade e na quantidade dos serviços ecossistêmicos.

- Abordagem integrativa: As necessidades e aspirações das comunidades devem ser consideradas no planejamento e na execução das ações de conservação. A integração das partes interessadas e dos processos dentro do território é fundamental para alinhar os interesses da comunidade, mantendo-a motivada a contribuir com as metas de conservação.

**Disponibilidade de dados:** O material suplementar e o código de Programação R para reproduzir os resultados deste estudo está disponível em:

<https://data.mendeley.com/datasets/yrdhjh37ym/1>

---

## Referências

Adeyemi, O., Chirwa, P. W., & Babalola, F. D. (2022). Assessing local people's perceptions and preference for ecosystem services to support management plan in Omo Biosphere Reserve, Nigeria (Avaliando as percepções e preferências da população local por serviços ecossistêmicos para apoiar o plano de gestão na Reserva da Biosfera de Omo, Nigéria). *Environmental Development*, 43. <https://doi.org/10.1016/J.ENVDEV.2022.100738>

Afriyie, J., & Asare, M. (2020). Use of Local Ecological Knowledge to Detect Declines in Mammal Abundance in Kogyae Strict Nature Reserve, Ghana (Uso do conhecimento ecológico local para detectar declínios na abundância de mamíferos na Reserva Natural Estrita de Kogyae, Gana). *Environmental Management*, 66(6), 997-1011. <https://doi.org/10.1007/S00267-020-01372-8/METRICS>

Aglissi, J., Sogbohossou, E. A., Bolam, J., & Bauer, H. (2024). Community knowledge on factors behind extirpation of lion Panthera leo in Comoé National Park, Côte d'Ivoire (West Africa). *African Journal of Ecology*, 62(1), e13214. <https://doi.org/10.1111/AJE.13214>

Aguado, M., González, J. A., Bellott, K., López-Santiago, C., & Montes, C. (2018). Explorando o bem-estar subjetivo e a percepção dos serviços ecossistêmicos ao longo de um gradiente rural-urbano nos altos Andes do Equador. *Ecosystem Services*, 34(agosto de 2017), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.09.002>

- Ban, N. C., Picard, C. R., & Vincent, A. C. J. (2009). Comparing and Integrating Community-Based and Science-Based Approaches to Prioritizing Marine Areas for Protection. *Conservation Biology*, 23(4), 899-910. <https://doi.org/10.1111/J.1523-1739.2009.01185.X>
- Bennett, E. M. (2017). Research Frontiers in Ecosystem Service Science (Fronteiras de pesquisa na ciência de serviços ecossistêmicos). *Ecosystems*, 20(1), 31-37. <https://doi.org/10.1007/S10021-016-0049-0/METRICS>
- Berkes, J. Colding, C. F. (2000). Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as Adaptive Management (Redescoberta do conhecimento ecológico tradicional como gerenciamento adaptativo). *Ecological Applications*, 10(5), 1251-1262.
- Brennan, A., Naidoo, R., Greenstreet, L., Mehrabi, Z., Ramankutty, N., & Kremen, C. (2022). Functional connectivity of the world's protected areas (Conectividade funcional das áreas protegidas do mundo). *Science (New York, N.Y.)*, 376(6597), 1101-1104. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.ABL8974>
- Cáceres, D. M., Tapella, E., Quétier, F., & Díaz, S. (2015). O valor social da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos a partir das perspectivas de diferentes atores sociais. *Ecology and Society*, 20(1). <https://doi.org/10.5751/ES-07297-200162>
- Cebrián-Piqueras, M. A., Filyushkina, A., Johnson, D. N., Lo, V. B., López-Rodríguez, M. D., March, H., Oteros-Rozas, E., Pepler-Lisbach, C., Quintas-Soriano, C., Raymond, C. M., Ruiz-Mallén, I., van Riper, C. J., Zinngrebe, Y., & Plieninger, T. (2020). Conhecimento ecológico científico e local, moldando as percepções em relação às áreas protegidas e aos serviços ecossistêmicos relacionados. *Landscape Ecology*, 35(11), 2549-2567. <https://doi.org/10.1007/S10980-020-01107-4/FIGURES/5>
- Cebrián-Piqueras, M. A., Karrasch, L., & Kleyer, M. (2017). O acoplamento de avaliações de serviços ecossistêmicos pelas partes interessadas com propriedades biofísicas do ecossistema revela a importância dos contextos sociais. *Ecosystem Services*, 23, 108-115. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2016.11.009>
- Coelho-Junior, M. G., de Oliveira, A. L., da Silva-Neto, E. C., Castor-Neto, T. C., Tavares, A. A. d. O., Basso, V. M., Turetta, A. P. D., Perkins, P. E., & de Carvalho, A. G. (2021). Explorando valores plurais de serviços ecossistêmicos: Local Peoples' Perceptions and Implications for Protected Area Management in the Atlantic Forest of Brazil (Percepções da população local e implicações para a gestão de áreas protegidas na Mata Atlântica do Brasil). *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 1019*, 13(3), 1019. <https://doi.org/10.3390/SU13031019>
- Combetti, C., Thornton, T. F., Wylliede Echeverria, V., & Patterson, T. (2015). Serviços ecossistêmicos ou serviços para ecossistemas? Valorizando o cultivo e as relações recíprocas entre humanos e ecossistemas. *Global Environmental Change*, 34, 247-262. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2015.07.007>
- Davidson-Hunt, I., & Berkes, F. (2003). Learning as you journey: Anishinaabe perception of social-ecological environments and adaptive learning (Percepção anishinaabe de ambientes socioecológicos e aprendizagem adaptativa). *Ecology and Society*, 8(1). <https://doi.org/10.5751/es-00587-080105>
- De Snoo, G. R., Herzon, I., Staats, H., Burton, R. J. F., Schindler, S., van Dijk, J., Lokhorst, A. M., Bullock, J. M., Lobley, M., Wrba, T., Schwarz, G., & Musters, C. J. M. (2013). Rumo à conservação eficaz da natureza em terras agrícolas: Making farmers matter. *Conservation Letters*, 6(1), 66-72. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00296.x>

Dehghani Pour, M., Barati, A. A., Azadi, H., Scheffran, J., & Shirkhani, M. (2023). Analyzing forest residents' perception and knowledge of forest ecosystem services to guide forest management and biodiversity conservation. *Forest Policy and Economics*, 146, 102866. <https://doi.org/10.1016/J.FORPOL.2022.102866>

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I. A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K. M. A., Figueroa, V. E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., ... Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people (Estrutura conceitual do IPBES - conectando a natureza e as pessoas). *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2014.11.002>

Dorresteijn, I., Schultner, J., Collier, N. F., Hylander, K., Senbeta, F., & Fischer, J. (2017). Desagregando serviços e desserviços ecossistêmicos nas paisagens culturais do sudoeste da Etiópia: um estudo das percepções rurais. *Landscape Ecology*, 32(11), 2151-2165. <https://doi.org/10.1007/S10980-017-0552-5/METRICS>

Dovie, D. B. K., Witkowski, E. T. F., & Shackleton, C. M. (2008). Knowledge of plant resource use based on location, gender and generation (Conhecimento sobre o uso de recursos vegetais com base em localização, gênero e geração). *Applied Geography*, 28(4), 311-322. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2008.07.002>

Françoso, R. D., Brandão, R., Nogueira, C. C., Salmona, Y. B., Machado, R. B., & Colli, G. R. (2015). Perda de habitat e a eficácia das áreas protegidas no Hotspot de Biodiversidade do Cerrado. *Natureza & Conservação*, 13(1), 35-40. <https://doi.org/10.1016/J.NCON.2015.04.001>

Fromont, C., Carrière, S. M., Bédécarrats, F., Razafindrakoto, M., & Roubaud, F. (2024). O monitoramento socioambiental de longo prazo de áreas protegidas é um ponto fraco persistente nos países em desenvolvimento: Literature review and recommendations. *Biological Conservation*, 290, 110434. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2023.110434>

Genuer, R., Poggi, J. M., & Tuleau-Malot, C. (2010). Variable selection using random forests (Seleção de variáveis usando florestas aleatórias). *Pattern Recognition Letters*, 31(14), 2225-2236. <https://doi.org/10.1016/J.PATREC.2010.03.014>

Gu, H., & Subramanian, S. M. (2014). Drivers of change in socio-ecological production landscapes: Implications for better management (Fatores de mudança em paisagens de produção socioecológica: implicações para uma melhor gestão). *Ecology and Society*, 19(1). <https://doi.org/10.5751/ES-06283-190141>

Gu, H., & Subramanian, S. M. (2014). Drivers of change in socio-ecological production landscapes: Implications for better management (Fatores de mudança em paisagens de produção socioecológica: implicações para uma melhor gestão). *Ecology and Society*, 19(1). <https://doi.org/10.5751/ES-06283-190141>

Ha, E. H. (2014). Atitudes em relação ao Debriefing assistido por vídeo após a simulação em estudantes de graduação em enfermagem: Uma aplicação da metodologia Q. *Nurse Education Today*, 34(6), 978-984. <https://doi.org/10.1016/J.NEDT.2014.01.003>

Haines-Young, R., & Potschin-Young, M. B. (2018). Revisão da Classificação Internacional Comum para Serviços Ecossistêmicos (CICES V5.1): A Policy Brief. *One Ecosystem 3: E27108*, 3, e27108-. <https://doi.org/10.3897/ONEECO.3.E27108>

Halme, K. J., & Bodmer, R. E. (2007). Correspondência entre conhecimento ecológico científico e tradicional: Rain forest classification by the non-indigenous ribereños in Peruvian Amazonia.

*Biodiversity and Conservation*, 16(6), 1785-1801. <https://doi.org/10.1007/S10531-006-9071-4>/METRICS

Hitomi, M. K., & Loring, P. A. (2018). Participantes ocultos e vozes não ouvidas? Uma revisão sistemática de gênero, idade e outras influências na pesquisa de conhecimento local e tradicional no Norte. *Facets*, 3(1), 830–848. [https://doi.org/10.1139/FACETS-2018-0010/SUPPL\\_FILE/FACETS-2018-0010\\_SUPPLEMENT2.DOCX](https://doi.org/10.1139/FACETS-2018-0010/SUPPL_FILE/FACETS-2018-0010_SUPPLEMENT2.DOCX)

Hoffmann, S., & Sven Schmeller, D. (2021). Challenges and opportunities of area-based conservation in reaching biodiversity and sustainability goals (Desafios e oportunidades da conservação baseada em áreas para atingir as metas de biodiversidade e sustentabilidade). *Biodiversity and Conservation* 2021 31:2, 31(2), 325-352. <https://doi.org/10.1007/S10531-021-02340-2>

Iniesta-Arandia, I., del Amo, D. G., García-Nieto, A. P., Piñeiro, C., Montes, C., & Martín-López, B. (2014). Fatores que influenciam a manutenção do conhecimento ecológico local em bacias hidrográficas do Mediterrâneo: Insights para políticas ambientais. *Ambio*, 44(4), 285-296. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0556-1>

Jellinek, S., Wilson, K. A., Hagger, V., Mumaw, L., Cooke, B., Guerrero, A. M., Erickson, T. E., Zamin, T., Waryszak, P., & Standish, R. J. (2019). Integrando diversas motivações sociais e ecológicas para realizar a restauração da paisagem. *Journal of Applied Ecology*, 56(1), 246-252. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13248>

Jew, E., & Bonnington, C. (2011). Socio-demographic factors influence the attitudes of local residents towards trophy hunting activities in the Kilombero Valley, Tanzania. *African Journal of Ecology*, 49(3), 277-285. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2028.2011.01260.X>

Ke, Y., Bai, Y., Ali, M., Ashraf, A., Li, M., & Li, B. (2024). Explorando as percepções dos residentes sobre os serviços ecossistêmicos em reservas naturais para orientar a proteção e o gerenciamento. *Ecological Indicators*, 158, 111535. [doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2023.111535](https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2023.111535)

Klink, C. A., & Machado, R. B. (2005). Conservation of the Brazilian Cerrado Conservación del Cerrado Brasileño. *Conservation Biology*, 19(3), 707-713. <https://doi.org/10.1111/J.1523-1739.2005.00702.X>

Koju, U., Karki, S., Shrestha, A., Maraseni, T., Gautam, A. P., Cadman, T., Sherpa, A. P., & Lama, S. T. (2023). Prioridades e percepções das partes interessadas locais em relação aos serviços ecossistêmicos florestais na região do habitat do panda vermelho no Nepal. *Land Use Policy*, 129. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2023.106657>

Kremen, C., & Merenlender, A. M. (2018). Landscapes that work for biodiversity and people (Paisagens que funcionam para a biodiversidade e as pessoas). *Science*, 362(6412). [https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAU6020/SUPPL\\_FILE/AAU6020-KREMEN-SM.PDF](https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAU6020/SUPPL_FILE/AAU6020-KREMEN-SM.PDF)

Lescourret, F., Magda, D., Richard, G., Adam-Blondon, A. F., Bardy, M., Baudry, J., Doussan, I., Dumont, B., Lefèvre, F., Litrico, I., Martin-Clouaire, R., Montuelle, B., Pellerin, S., Plantegenest, M., Tancoigne, E., Thomas, A., Guyomard, H., & Soussana, J. F. (2015). A social-ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 68-75. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2015.04.001>

Lokhorst, A. M., Staats, H., Van Dijk, J., Van Dijk, E., & De Snoo, G. (2011). What's in it for Me? Motivational Differences between Farmers' Subsidised and Non-Subsidised Conservation Practices (Diferenças motivacionais entre as práticas de conservação subsidiadas e não subsidiadas dos agricultores). *Applied Psychology*, 60(3), 337-353. <https://doi.org/10.1111/J.1464-0597.2011.00438.X>

- Long, J., Teele, A., & Burnette, B. (2003). Cultural foundations for ecological restoration on the White Mountain Apache reservation (Fundamentos culturais para restauração ecológica na reserva White Mountain Apache). *Ecology and Society*, 8(1). <https://doi.org/10.5751/es-00591-080104>
- Loring, P. A., Harrison, H. L., & Gerlach, S. C. (2014). Local Perceptions of the Sustainability of Alaska's Highly Contested Cook Inlet Salmon Fisheries (Percepções locais da sustentabilidade da altamente contestada pesca de salmão em Cook Inlet no Alasca). *Society & Natural Resources*, 27(2), 185-199. <https://doi.org/10.1080/08941920.2013.819955>
- Luiselli, L. (2024). Interviews in ecology and conservation biology (Entrevistas em ecologia e biologia da conservação): A hidden treasure for the African ecologist (Um tesouro escondido para o ecologista africano). *African Journal of Ecology*, 62(1). <https://doi.org/10.1111/aje.13231>
- Mashamaite, C. V., Albien, A. J., Mothapo, P. N., Pieterse, P. J., & Phiri, E. E. (2023). Local Knowledge, Perceptions, and Uses of the Potentially Conflict-Generating Plant Species, Moringa oleifera Lam: A case Study in Limpopo Province, South Africa (Um estudo de caso na província de Limpopo, África do Sul). *Human Ecology*, 51(5), 979-994. <https://doi.org/10.1007/s10745-023-00438-5>
- Mclean, E. L., Forrester, G. E., & García-Quijano, C. G. (2022). The Disconnect Between Knowledge and Perceptions (A desconexão entre conhecimento e percepção): A Study of Fishermen's Local Ecological Knowledge and Their Perception of the State of Fisheries and How These Are Managed in the Dominican Republic (Um estudo sobre o conhecimento ecológico local dos pescadores e sua percepção sobre o estado da pesca e como ela é gerenciada na República Dominicana). *Human Ecology*, 50(2), 227-240. <https://doi.org/10.1007/S10745-022-00308-6>
- Messina, T., Figueira, R., & Santos, J. M. L. (2023). Integração do conhecimento local e ecológico para avaliar os benefícios das árvores para os serviços ecossistêmicos: Uma metodologia holística baseada em processos. *Ecosystem Services*, 63, 101556. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2023.101556>
- Moller, H., Berkes, F., Lyver, P. O., & Kislalioglu, M. (2004). Combining Science and Traditional Ecological Knowledge (Combinando ciência e conhecimento ecológico tradicional): Monitoring Populations for Co-Management (Monitoramento de Populações para Co-Gestão). *Ecology and Society*, 9(3). <https://doi.org/10.5751/es-00675-090302>
- MEA - Avaliação Ecológica do Milênio (2005). *A Report of the Millennium Ecosystem Assessment (Relatório da Avaliação Ecológica do Milênio) Autores contribuintes e coordenadores subglobais Editores de revisão: José Sarukhán e Anne Whyte (co-presidentes) e MA Board of Review Editors The Cropper Foundation, Trinidad e Tobago*. Finlayson, M., Lévêque, C., Randy Milton, G., Peterson, G., Pritchard, D., Ratner, B. D., Reid, W. V, Revenga, C., Rivera, M., Schutyser, F., Siebentritt, M., Stuij, M., Tharme, R., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Dasgupta, P., ... Watson, R. T.
- Mutenje, M. J., Ortmann, G. F., & Ferrer, S. R. D. (2011). Gestão da extração de produtos florestais não madeireiros: Local institutions, ecological knowledge and market structure in South-Eastern Zimbabwe (Instituições locais, conhecimento ecológico e estrutura de mercado no sudeste do Zimbábue). *Ecological Economics*, 70(3), 454-461. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2010.09.036>
- Noble, I. R., Huq, S., Anokhin, Y. A., Carmin, J. A., Goudou, D., Lansigan, F. P., Osman-Elasha, B., Villamizar, A., Patt, A., Takeuchi, K., & Chu, E. (2015). Adaptation needs and options (Necessidades e opções de adaptação). *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability (Mudanças Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade): Part A: Global and Sectoral Aspects*, 833-868. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.019>

Lima, F., & Bastos, R. (2020). Entendendo a intenção dos proprietários de terras de restaurar áreas nativas: O papel dos serviços ecossistêmicos. *Ecosystem Services*, 44, 101121. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2020.101121>

Quintas-Soriano, C., Castro, A. J., Castro, H., & García-Llorente, M. (2016). Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well-being in Spanish drylands (Impactos da mudança no uso do solo sobre os serviços ecossistêmicos e implicações para o bem-estar humano nas terras secas espanholas). *Land Use Policy*, 54, 534-548. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2016.03.011>

Rahal, C., Verhagen, M., & Kirk, D. (2022). The rise of machine learning in the academic social sciences (A ascensão do aprendizado de máquina nas ciências sociais acadêmicas). *AI and Society*, 39(2), 799-801. <https://doi.org/10.1007/S00146-022-01540-W/FIGURES/1>

Ribeiro, J. F. e, & Walter, B. M. T. (2008). *As principais fitofisionomias do bioma Cerrado*. In Livro: Cerrado: Ecologia e Flora (Pp.151-212)Edição: 1. v.1Capítulo: As Principais Fitofisionomias Do Bioma Cerrado. [https://www.researchgate.net/publication/283072910\\_As\\_principais\\_fitofisionomias\\_do\\_bioma\\_Cerrado](https://www.researchgate.net/publication/283072910_As_principais_fitofisionomias_do_bioma_Cerrado)

Rios, R. A., Rios, T. N., Palma, G. R., & De Mello, R. F. (2022). Brazilian Forest Dataset: Um novo conjunto de dados para modelar a biodiversidade local. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 34(2), 327-354. <https://doi.org/10.1080/0952813X.2021.1871972>

Risi, J., Sharma, A., Shah, R., Connelly, M., & Watts, D. J. (2019). Predicting history (Previendo a história). *Nature Human Behaviour* 2019 3:9, 3(9), 906-912. <https://doi.org/10.1038/s41562-019-0620-8>

Silveira, F. A. O., Negreiros, D., Barbosa, N. P. U., Buisson, E., Carmo, F. F., Carstensen, D. W., Conceição, A. A., Cornelissen, T. G., Echternacht, L., Fernandes, G. W., Garcia, Q. S., Guerra, T. J., Jacobi, C. M., Lemos-Filho, J. P., Le Stradic, S., Morellato, L. P. C., Neves, F. S., Oliveira, R. S., Schaefer, C. E., ... Lambers, H. (2016). Ecologia e evolução da diversidade vegetal no campo rupestre ameaçado de extinção: uma prioridade de conservação negligenciada. *Plant and Soil*, 403(1-2), 129-152. <https://doi.org/10.1007/S11104-015-2637-8>

Soriano, M., Mohren, F., Ascarrunz, N., Dressler, W., & Peña-Claros, M. (2017). Socio-ecological costs of Amazon nut and timber production at community household forests in the Bolivian Amazon. *PLOS ONE*, 12(2), e0170594. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0170594>

Souto, T., & Ticktin, T. (2012). Understanding Interrelationships Among Predictors (Age, Gender, and Origin) of Local Ecological Knowledge1 [Entendendo as inter-relações entre os preditores (idade, gênero e origem) do conhecimento ecológico local]. *Economic Botany*, 66(2), 149-164. <https://doi.org/10.1007/s12231-012-9194-3>

Speiser, J. L., Miller, M. E., Tooze, J., & Ip, E. (2019). Uma comparação de métodos de seleção de variáveis de floresta aleatória para modelagem de previsão de classificação. *Expert Systems with Applications*, 134, 93-101. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2019.05.028>

Steele, M. Z., & Shackleton, C. M. (2010). Uso de especialistas locais como referência para o conhecimento ecológico local doméstico: Scoring in South African savannas (Pontuação nas savanas sul-africanas). *Journal of Environmental Management*, 91(8), 1641-1646. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2010.02.031>

Stephenson, J. (2008). O Modelo de Valores Culturais: An integrated approach to values in landscapes (Uma abordagem integrada de valores em paisagens). *Landscape and Urban Planning*,



84(2), 127-139. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2007.07.003>

Tagliari, M. M., Bogoni, J. A., Blanco, G. D., Cruz, A. P., & Peroni, N. (2023). Perturbando um sistema socioecológico: o conhecimento ecológico tradicional poderia ser a chave para preservar a Floresta com Araucária no Brasil sob as mudanças climáticas? *Climatic Change*, 176(2), 1-20. <https://doi.org/10.1007/S10584-022-03477-X>

Tan, Q., A, S., & Lang, W. (2024). Assessing local people's perceptions of ecosystem services to support land management plans in arid desert regions, northwest China. *Heliyon*, 10(3), e25302. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25302>

Teixeira, H. M., Vermue, A. J., Cardoso, I. M., Peña Claros, M., & Bianchi, F. J. J. A. (2018). Agricultores apresentam percepções complexas e contrastantes sobre serviços ecossistêmicos e sua gestão. *Ecosystem Services*, 33, 44-58. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2018.08.006>

Tengö, M., Hill, R., Malmer, P., Raymond, C. M., Spierenburg, M., Danielsen, F., Elmqvist, T., & Folke, C. (2017). Weaving knowledge systems in IPBES, CBD and beyond-lessons learned for sustainability (Tecendo sistemas de conhecimento na IPBES, CBD e além - lições aprendidas para a sustentabilidade). *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26-27, 17-25. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2016.12.005>

Tomasini, S., & Theilade, I. (2019). Indicadores de conhecimento ecológico local para o manejo de plantas silvestres: Monitoramento local autônomo em Prespa, Albânia. *Ecological Indicators*, 101, 1064-1076. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2019.01.076>

Varmuza, K., & Filzmoser, P. (2009). Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics (Introdução à análise estatística multivariada em quimiometria). *Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics (Introdução à análise estatística multivariada em quimiometria)*. <https://doi.org/10.1201/9781420059496>

Verweij, M. C., van Densen, W. L. T., & Mol, A. J. P. (2010). A torre de Babel: Different perceptions and controversies on change and status of North Sea fish stocks in multi-stakeholder settings. *Marine Policy*, 34(3), 522-533. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2009.10.008>

Vuillot, C., Coron, N., Calatayud, F., Sirami, C., Mathevet, R., & Gibon, A. (2016). Modos de cultivar e modos de pensar: Os modelos mentais da paisagem dos agricultores estão relacionados às suas práticas de gestão da terra? *Ecology and Society*, 21(1). <https://doi.org/10.5751/ES-08281-210135>

Zhao, Y., Zhu, W., Wei, P., Fang, P., Zhang, X., Yan, N., Liu, W., Zhao, H., & Wu, Q. (2022). Classification of Zambian grasslands using random forest feature importance selection during the optimal phenological period. *Ecological Indicators*, 135, 108529. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.108529>

Teixeira, F., Bachi, L., Blanco, J., Zimmermann, I., Welle, I., & Carvalho Ribeiro, S. M. (2019). Serviços ecossistêmicos percebidos (ES) e desserviços ecossistêmicos (EDS) de árvores: percepções de três estudos de caso no Brasil e na França. *Landscape Ecology*, 34(7), 1583-1600. <https://doi.org/10.1007/s10980>

### Referências da Web

Brasil, Lei nº: 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. Presidência da República, Brasília-DF. L8629. (s.d.). Recuperado em 11 de abril de 2024, de [https://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/////LEIS/L8629.htm](https://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/////LEIS/L8629.htm)

Brasil, lei número: 9.985 de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Presidência da República, Brasília-DF. L9985. (s.d.). Recuperado em 12 de abril de 2024, de [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm)

Costa, A. M.; Burle, M. L.; Rosa, A. J. De M.; Soares, Z. A. B.; Campos, J. I.; Mattos, P. S. R. De; Albuquerque, L. B. De; Ferreira, M. A. J. F.; Machado, K. C.; Dias, T. A. B. (2022). Diagnóstico Socioeconômico e Produtivo do Assentamento Silvio Rodrigues e Entorno, Zona de Amortecimento do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Alto Paraíso, GO. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022. 94p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1149362/diagnostico-socioeconomico-e-produtivo-do-assentamento-silvio-rodrigues-e-entorno-zona-de-amortecimento-do-parque-nacional-da-chapada-dos-veadeiros-alto-paraiso-de-goias-go> Acessado: Janeiro de 2024.

Incra, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Painel de Assentamentos - Incra. (s.d.). Recuperado em 12 de abril de 2024, de <https://painel.incra.gov.br/sistemas/index.php>

IPBES (2019). Resumo para formuladores de políticas do relatório de avaliação global sobre biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Em *Plataforma Intergovernamental de Políticas Científicas sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos* (Vol. 45, Issue 3). Recuperado em 12 de abril de 2024, de <https://zenodo.org/record/3553579#.YfmYTerMI2w>

---

# CAPÍTULO 2 – SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM DIFERENTES INTENSIDADES DE USO DO SOLO MANEJADOS POR AGRICULTORES FAMILIARES

## ECOSYSTEM SERVICES UNDER DIFFERENT INTENSITIES OF LAND USE MANAGED BY FAMILY FARMERS

Artigo em processo de avaliação por pares no periódico “Forests”.



forests



Type of the Paper (Article)

### Ecosystem services under different intensities of land use managed by family farmers

Viviane Evangelista <sup>1,2</sup>, Aldicir Scariot <sup>3,2</sup>, Heitor Mancini Teixeira <sup>4</sup>, Jorge Luis Reategui-Betancourt <sup>2</sup>, Hallefy De Souza <sup>2</sup> and Ilvan Medeiros Lustosa Júnior <sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>Federal Institute of Education, Science and Technology of Brasília (IFB), Brasília, DF; Brazil; viviane.abreu@ifb.edu.br (V.E.); ilvan.junior@ifb.edu.br (IMLJ)

<sup>2</sup>Department of Forest Sciences, University of Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro W/N, Brasília, DF, Brazil; viviane.abreu@ifb.edu.br (V.E.); aldicir.scariot@embrapa.br (A.S.); jorgereategui91@gmail.com (JLRB); hallefy.souza@gmail.com (H. De S.)

<sup>3</sup>Embrapa Genetic Resources and Biotechnology (Cenargen/Embrapa), Brasília, DF; Brazil; aldicir.scariot@embrapa.br (A.S.)

<sup>4</sup>University Utrecht; Utrecht, Netherlands; h.manciniteixeira@uu.nl (H.T.)

<sup>5</sup>Ministry of Agrarian Development of Brazil (MDA); Brasília, DF; Brazil; ilvan.junior@ifb.edu.br (IMLJ)

\* Correspondence: viviane.abreu@ifb.edu.br

**Abstract:** Information about the socio-ecological systems around protected areas is vital for conservation planning in multifunctional landscapes. It is essential to investigate land use by local communities and ecological data from native areas. Different ecosystem dynamics affect the provision of ecosystem services, which in turn alter human outcomes. Family farming has several land uses that must be considered when estimating ecosystem services. We investigated agricultural settlements adjacent to full protection conservation units in the Cerrado biome of Central Brazil, focusing

## Highlights

- O agroextrativismo é a prática mais eficiente em termos de armazenamento de carbono, fornecimento de frutas nativas e fornecimento de habitats.
- Diversidade Vegetal e Armazenamento de Carbono possuem correlação positiva e significativa. A promoção de práticas que aumentem a diversidade vegetal pode, portanto, melhorar a capacidade de sequestro de carbono.
- As áreas de sistema silvipastoril apresentaram os menores valores de armazenamento de carbono e diversidade vegetal.
- A inatividade prolongada de áreas de cerrado típico não demonstrou ser eficaz para a regeneração natural e recuperação dos estoques de carbono.
- Políticas que incentivam o agroextrativismo sustentável e a restauração ecológica podem trazer benefícios significativos para o armazenamento de carbono e a prestação de outros serviços ecossistêmicos.

## Palavras chaves

- Armazenamento de carbono
- Provisão de frutos nativos
- Fornecimento de habitat
- Diversidade de plantas
- Bioma Cerrado

## Resumo

Informações sobre os sistemas socioecológicos ao redor das áreas protegidas são vitais para o planejamento da conservação em paisagens multifuncionais. É essencial investigar o uso do solo pelas comunidades locais e dados ecológicos de áreas nativas. Diferentes dinâmicas ecossistêmicas afetam a prestação de serviços ecossistêmicos, que por sua vez alteram os resultados humanos. A agricultura familiar possui diversos usos da terra que devem ser considerados na estimativa dos serviços ecossistêmicos. Investigamos assentamentos agrários adjacentes a unidades de conservação de proteção integral no bioma Cerrado do Brasil Central, com foco na variação dos serviços ecossistêmicos e suas correlações com dados de biodiversidade em diferentes usos da terra por agricultores familiares. Realizamos inventários florestais para estimar três serviços ecossistêmicos: armazenamento de carbono, fornecimento de frutas nativas comestíveis e fornecimento de habitat. As maiores estimativas de serviços ecossistêmicos estão em áreas nativas destinadas a fins agroextrativistas. Foi encontrada uma forte correlação positiva entre o índice de diversidade e o armazenamento de carbono, indicando que áreas mais diversificadas são geralmente mais eficazes na captura e armazenamento de carbono. Este estudo destaca a importância de compreender os benefícios ecológicos dos diferentes usos da terra para apoiar estratégias de gestão, informar políticas públicas e fornecer incentivos financeiros aos agricultores familiares.

## 1. Introdução

A abordagem dos serviços ecossistêmicos requer refinamentos de pesquisa, inicialmente em escala local e regional, para posteriormente contribuir na composição de dados globais que estimulem os processos de gestão (Balvanera et al., 2017). As análises sobre como os serviços ecossistêmicos beneficiam as populações rurais, assim como a forma como as estimativas podem variar entre os diferentes usos da terra, precisam ser integradas nos planos de gestão dos serviços ecossistêmicos (Song et al., 2015).

Os serviços ecossistêmicos são coproduzidos pelas interações entre as comunidades e os ecossistemas em que estão inseridas, influenciando e sendo influenciados por tudo o que é obtido dessas interações (Balvanera et al., 2017). As características do ecossistema, como a composição das espécies, modulam o tipo e a magnitude dos serviços ecossistêmicos que fluem para as comunidades (Weiskopf et al., 2022). As variações no uso e cobertura do solo são identificadas como um dos principais fatores determinantes dos serviços ecossistêmicos terrestres, sendo consideradas um indicador-chave de sua qualidade e quantidade (Pereira, 2020).

Gerenciar propriedades rurais para garantir a prestação de diversos serviços ecossistêmicos é estratégico (Kam et al., 2019). No entanto, os desafios variam entre os agricultores, que podem enfrentar diferentes condições sociais e biofísicas (Teixeira et al., 2018). É necessário compreender os padrões de cada tipo de propriedade e uso do solo. Essa compreensão fornece uma base para pesquisas e aplicações que vão além do diagnóstico, promovendo ações prioritárias (Ying et al., 2019). Assim, a gestão dos serviços ecossistêmicos paisagísticos deve equilibrar a relação entre os diferentes tipos de usos da terra, aumentando as sinergias e minimizando os trade-offs entre eles (Zhang et al., 2016).

A abordagem dos serviços ecossistêmicos tem se mostrado uma ferramenta eficaz para avaliar os benefícios ambientais da conservação e integrá-los nos meios de subsistência locais e no bem-estar humano (Watson et al., 2014). Portanto, é crucial conhecer melhor as estimativas dos serviços ecossistêmicos em diferentes cenários de uso e cobertura da terra (Liu et al., 2022). Isso permitirá planejar estratégias para melhorar a gestão dos serviços ecossistêmicos e mitigar os impactos do uso do solo, que ocorrem principalmente devido à alteração da biodiversidade (Mace, 2013), dos processos ecossistêmicos (Fu et al., 2015) e dos habitats (Sanchirico e Mumby, 2009).

No bioma Cerrado, na região Central do Brasil, alguns autores (Resende et al., 2019) destacam o potencial dos serviços ecossistêmicos, como a produção de água, retenção de nutrientes, armazenamento de carbono, produtividade primária líquida e fornecimento de alimentos silvestres. Para nosso estudo, determinamos quais classes e serviços ecossistêmicos seriam avaliados com base na classificação internacional CICES 5.2 (Haines-Young et al., 2018), com foco especial em armazenamento de carbono, fornecimento de frutas nativas e fornecimento de habitats.

O armazenamento de carbono nas árvores sofreu reduções devido às diferentes dinâmicas de uso do solo (Zhu et al., 2022; Jiang et al., 2024). Nosso interesse é entender se essas reduções ocorrem em áreas geridas de forma diferente pelos agricultores familiares. O fornecimento de frutas nativas é considerado um importante serviço ecossistêmico para os agricultores, contribuindo para a soberania e segurança alimentar de suas famílias, além da comercialização dos excedentes (Cruz et al., 2013). Também consideramos o serviço de provisão de habitat, com a intenção de avaliar como os diferentes usos do solo se relacionam com as mudanças na estrutura, composição e cobertura do cerrado típico. Queremos determinar se há uma influência significativa na qualidade do habitat para fauna e flora (Thompson et al., 2016).

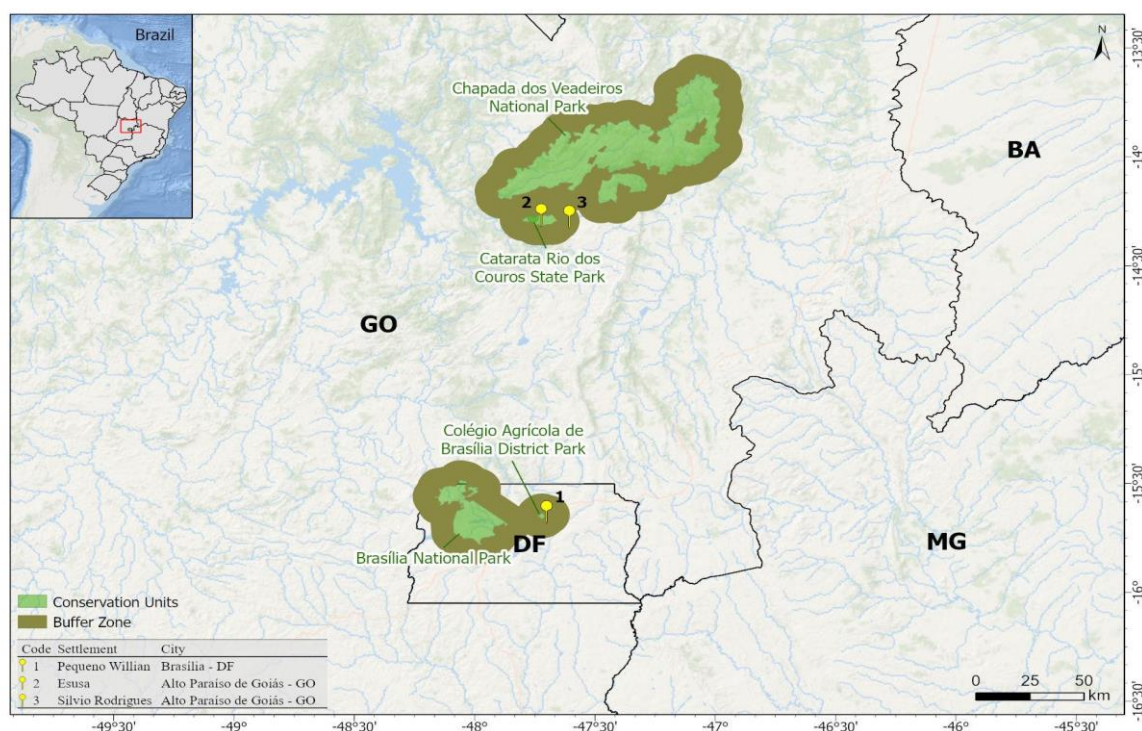
O objetivo do estudo é determinar os serviços ecossistêmicos relacionados ao armazenamento de carbono, fornecimento de frutas nativas e provisão de habitats em diferentes usos da fitofisionomia típica do cerrado. Além disso, buscamos avaliar a diversidade de plantas nativas (abundância, riqueza, índice de diversidade) em cada uso do solo e relacionar esses dados com o armazenamento de carbono por área.

Nesta pesquisa, foi apropriado utilizar a amostragem de dados em campo para obter dados precisos em pequena escala e explorar de forma única o mecanismo de resposta da dinâmica induzida pelos diferentes usos do solo em diversos ambientes naturais (Zhong et al., 2020). Buscamos responder às seguintes questões: “Como variam os indicadores dos serviços ecossistêmicos em diferentes tipos de utilização do solo?”; “Qual área pode ter uma finalidade decisiva de uso do solo para maior prestação dos serviços ecossistêmicos avaliados?”; “Como é determinada a variação nos dados de biodiversidade (índice de riqueza, abundância e diversidade) nos diferentes tipos de uso do solo?”; “Quais são as correlações entre o armazenamento de carbono nos serviços ecossistêmicos e a diversidade de plantas em diferentes tipos de uso do solo?”.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1. Área de estudo**

Conduzimos este estudo na região central do Brasil, no bioma Cerrado, em três assentamentos agrários situados dentro das zonas de amortecimento (10 km) de unidades de conservação de proteção integral. Esses assentamentos são: Pequeno Willian, localizado no Distrito Federal, adjacente ao Parque Distrital da Faculdade Agropecuária de Brasília (527 ha) e próximo ao Parque Nacional de Brasília (42.355 ha). Esusa, situado em Goiás, adjacente ao Parque Municipal Rio dos Couros em Alto Paraíso (5.000 ha). Silvio Rodrigues, também em Goiás, na zona de amortecimento do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (24.611 ha). Estas áreas são importantes para os agricultores familiares, que recebem a titularidade da propriedade rural. Isso ajuda a combater a especulação fundiária e potencialmente contribui para a produção de alimentos básicos para a população.



**Figura 1.** Localização dos assentamentos agrários adjacentes ou próximos às Unidades de Conservação. As unidades de conservação estão marcadas em verde e as zonas de amortecimento em marrom. Os assentamentos estão representados com o alfinete amarelo: 1- Pequeno Willian; 2-Esusa; 3-Sílvio Rodrigues.

O clima da região é tropical de altitude, com uma estação seca de abril a setembro e uma estação chuvosa de outubro a março. A umidade relativa média anual é de aproximadamente 60 a 70%, com temperaturas variando entre 20°C e 21°C e uma precipitação média anual entre 1.500 e 1.600 mm (INMET, 2023). As altitudes variam de 1.000 a 1.200 m no Distrito Federal e de 1.200 a 1.400 m em Alto Paraíso, GO. O relevo é plano a ondulado no Distrito Federal e fortemente ondulado a montanhoso em Alto Paraíso. A área de estudo apresenta as seguintes classes de solos dominantes: Latossolo Vermelho em todo o Distrito Federal. Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico nos topos de morros e encostas de montanhas. Cambissolo e Latossolo Vermelho em áreas planas a fortemente onduladas na região nordeste de Goiás, envolvendo o município de Alto Paraíso.

## 2.2. Coleta de dados

Entre abril e maio de 2023, selecionamos propriedades rurais familiares em três áreas de assentamento agrário, baseando nossa escolha em dois critérios: cada propriedade deveria ter pelo menos 2 hectares de cerrado típico e o agricultor deveria residir na parcela há mais de 5 anos. Solicitamos aos agricultores que informassem o tipo de uso do solo na sua área de cerrado típico nos últimos 5 anos. As finalidades declaradas foram: agroextrativismo, extrativismo intenso, criação de gado, trilhas e lazer, e área sem uso.

Neste estudo, entendemos por agroextrativismo a prática de colheita de produtos agrícolas nativos e não madeireiros, como frutas, sementes e folhas. A criação de gado refere-se à agricultura silvipastoril em áreas de cerrado típico, caracterizada por um sistema de pequena escala que apoia a subsistência local com baixa densidade pecuária, prática comum entre comunidades tradicionais e agricultores familiares (Lima et al., 2022). O extrativismo intenso envolve a colheita intensiva de recursos naturais como madeira, resinas, fibras, frutas e flores. Uso para lazer e trilhas inclui atividades recreativas e educativas ao ar livre, como caminhadas. As áreas de cerrado típico não utilizadas são aquelas que não estão ativamente em uso para pastagem, agroextrativismo, extrativismo ou lazer, e permanecem em estado mais natural, abandonadas pelo agricultor há mais de cinco anos. Validamos as declarações de uso do solo com observações de campo.

Selecionamos três propriedades para cada uma das cinco finalidades mencionadas pelos agricultores, totalizando 15 propriedades. De maio a agosto de 2023, amostramos 115 parcelas de 400 m<sup>2</sup> (16 x 25 m) em cerrado típico. A identificação botânica foi realizada sempre que possível no campo, utilizando literatura especializada, o Herbário CEN da Embrapa Cenargen ou taxonomistas. A classificação dos táxons seguiu o Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV, 2016) e a nomenclatura das espécies foi baseada na “Flora e Fauna do Brasil” (Brasil, 2022).

### **2.3. Avaliação dos serviços ecossistêmicos**

Para determinar o armazenamento de carbono SE, entre vários métodos (Szkop et al., 2022; Li et al., 2019; Pratamo & Donoedoro, 2020) optamos pela abordagem de inventário florestal, pois a capacidade de uma área armazenar carbono depende do tamanho medido de seus estoques de carbono, diretamente relacionado à biomassa (Qureshi et al., 2012).

Estimamos a biomassa de cada caule utilizando a equação alométrica geral (Rezende et al., 2006), com base no diâmetro e altura da base (DAB = 30cm) da árvore, altura (H, m), para espécies do cerrado sensu-stricto. A altura das árvores foi medida com fita métrica e o DAB com suta. Portanto, calculamos a biomassa acima do solo (AGB) a partir da seguinte equação:

$$AGB \text{ (kg)} = -0,49129 + 0,02912 * DAB^{2*H}$$

A biomassa total por parcela foi determinada a partir da soma das biomassas de todas as árvores com DAP  $\geq$  5 cm, sendo posteriormente convertida em megagramas por hectare (Mg ha<sup>-1</sup>) (Ali et al., 2016). Depois, convertemos para estoque de carbono.

Em relação à prestação de serviços ecossistêmicos de provisão de alimentos nativos, determinamos a importância ecológica das espécies na comunidade calculando o Índice de Valor de Importância (IVI) (Curtis & McIntoshi, 1950) para espécies arbóreas com DAP  $\geq$  5 cm. Este valor é dado pela análise fitossociológica da comunidade com a soma da Densidade Relativa (RD), Frequência Relativa (FR) e Dominância Relativa (DR) (Curtis & McIntoshi, 1950). Dessa forma, analisamos a característica “consumo alimentar para humanos” (Kuhlmann, 2020) no ranking IVI da espécie. Avaliamos se nas áreas há hiperdominância em abundância para espécies arbóreas com DAP  $\geq$  5 cm, com frutos comestíveis. A hiperdominância pode ser considerada uma proxy para descrever serviços



ecossistêmicos importantes em escalas locais (Rodrigues et al., 2019). É determinado quando poucas espécies representam 50% da amostra, influenciando desproporcionalmente o funcionamento do ecossistema (Mouillot et al., 2021; Staggeier et al., 2017). A hiperdominância do caule foi aplicada para descrever os serviços ecossistêmicos de produção de sementes e frutos (Thomas, et al. 2018). A estrutura da vegetação é considerada um proxy confiável para a compreensão da qualidade do habitat (Camarretta et al., 2021). Avaliamos o serviço ecossistêmico de fornecimento de habitat usando parâmetros de cobertura e estratificação a partir de inventários florísticos, usando o método de interceptação de ponto de linha (Herrich et al., 2017). Foram amostradas 115 linhas de 25 metros, onde identificamos as espécies que tocaram a haste de 3 metros (posicionado perpendicularmente ao solo a cada 0,50 cm ao longo da linha). Esse método resultou em 5.850 pontos de contato, com indivíduos identificados por espécie e medidos em altura. Foram estimadas três categorias: solo exposto, solo com matéria orgânica e presença de formas de vida (herbáceas, subarbustivas, arbustivas, palmeiras e árvores), além de determinar a estratificação da vegetação.

#### **2.4. Medindo a diversidade de plantas**

A riqueza e a abundância (absoluta e relativa) foram obtidas pela contagem do número de espécies arbóreas e do número de indivíduos arbóreos medidos em cada parcela. A diversidade de espécies arbóreas foi medida usando o Índice de Diversidade de Shannon (H). Construímos curvas de rarefação para espécies arbóreas com DAP  $\geq 5$  cm, com base na riqueza e distribuição de espécies (número de espécies por área) (Chao et al., 2014).

#### **2.5. Análise de dados**

Para responder à pergunta “Como os serviços ecossistêmicos variam entre os diferentes tipos de uso do solo em cerrado típico?”, realizamos as seguintes análises em três indicadores.

- SE de armazenamento de carbono, analisamos o estoque de carbono. Para calcular o estoque de carbono acima do solo (AGC) utilizamos o fator de conversão de 0,47 (IPCC, 2006; Ometto et al., 2006), multiplicando os valores de biomassa pelo fator de conversão.
- SE de provisão de frutas nativas para consumo humano, utilizou-se a análise IVI e hiperdominância em abundância. Classificamos as espécies em ordem decrescente e então determinamos se um pequeno grupo de cinco espécies que representa 50% da abundância também é caracterizado pela característica funcional produção de frutos comestíveis.
- A qualidade do fornecimento de habitat, utilizamos análises de cobertura percentual e valores de estratificação agrupados em duas classes de altura ( $\leq 2$  metros e  $> 2$  metros).

Para testar diferenças estatisticamente significativas entre os tipos de uso do solo em cada categoria, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis, uma vez que os dados não apresentaram distribuição normal. Para as categorias que apresentaram diferenças significativas pelo teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ), as medianas foram comparadas pelo teste de comparações múltiplas de Dunn ( $p < 0,05$ ). As análises foram realizadas utilizando o pacote “ggstatsplot”.

Para avaliar a questão “Como é determinada a variação nos dados de biodiversidade (índice de riqueza, abundância e diversidade) nos diferentes tipos de uso do solo?”, agrupamos os dados por uso do solo e calculamos os valores totais e as médias. Em todos os indicadores, para captar diferenças significativas nos cinco gradientes de uso do solo, em caso de distribuição normal, foi realizada ANOVA, seguida do teste de Tukey. Para dados não paramétricos foi utilizado o teste de Kruskal- Wallis , seguido do teste post hoc de Wilcoxon Mann-Whitney.

Na avaliação de como as métricas de população e diversidade influenciam o serviço ecossistêmico de armazenamento de carbono em diferentes tipos de uso do solo, investigamos as relações entre esse serviço e as variáveis de abundância e diversidade de plantas, utilizando o coeficiente de correlação de Pearson (r) para examinar associações entre métricas de diversidade e armazenamento de carbono. Além disso, ajustamos modelos lineares generalizados (GLMs) para cada tipo de uso do solo, com o objetivo de compreender a influência de variáveis de abundância, riqueza e diversidade de espécies, no armazenamento de carbono. Para garantir a robustez dos modelos ajustados, avaliamos a qualidade do ajuste usando duas métricas principais: o Pseudo R<sup>2</sup> de Nagelkerke e o Critério de Informação de Akaike (AIC). O Pseudo R<sup>2</sup> de Nagelkerke foi utilizado para medir a proporção de variação explicada pelos modelos, fornecendo uma indicação da capacidade de ajuste dos modelos. O AIC, por sua vez, ajudou a comparar diferentes modelos, penalizando a complexidade para evitar overfitting e selecionando o modelo mais eficiente em termos de ajuste e simplicidade. A análise foi realizada utilizando a distribuição Gama com função de ligação logarítmica, apropriada para modelar variáveis respostas com distribuição contínua e positiva.

### **3. Resultados**

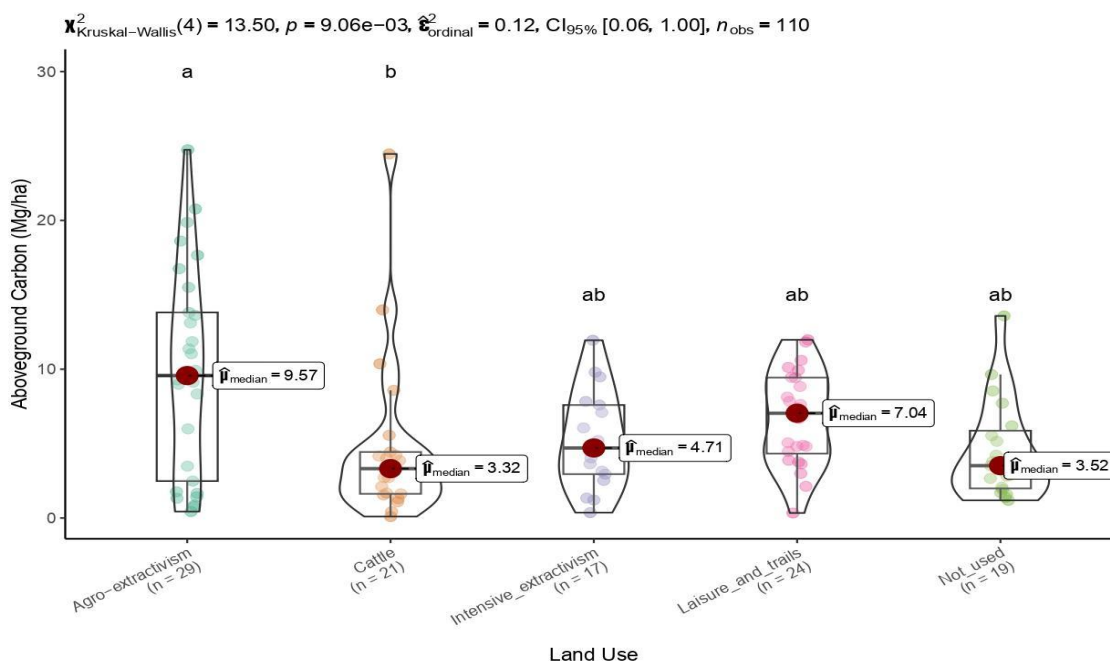
#### **3.1. Avaliação dos serviços ecossistêmicos para cada uso do solo**

##### **3.1.1. Armazenamento de carbono acima do solo**

Descobrimos que a prática do Agroextrativismo é a que mais significativamente contribui para o estoque de carbono acima do solo com uma média de 9,8 Mg/ha. Isto sugere a presença de vegetação densa e saudável, que desempenha um papel crucial no serviço ecossistêmico de armazenamento de carbono, bem como no sequestro de CO<sub>2</sub> e na mitigação de eventos climáticos.

Por outro lado, áreas de cerrado típico para pastagem de gado apresentam AGC com mediana mais baixa, o que pode indicar áreas de vegetação menos densa ou até mesmo degradada. As áreas declaradas como sem uso pelos agricultores familiares, há mais de cinco anos, também apresentam AGC mediana baixa. Foi observada diferença significativa no estoque de carbono acima do solo entre os diferentes tipos de uso do solo (p-valor = 0,00906,  $\chi^2 = 13,50$ ; Kruskal-Wallis), indicando variações entre os grupos. O teste post-hoc de Dunn, com ajuste de Holm, revelou diferenças significativas entre Agroextrativismo e u

so do cerrado com gado. O valor ajustado de Holm ( $p_{\text{Holm -adj.}} = 0,02$ ) indica que essas comparações específicas são estatisticamente significativas após ajuste para comparações múltiplas (Figura 2).

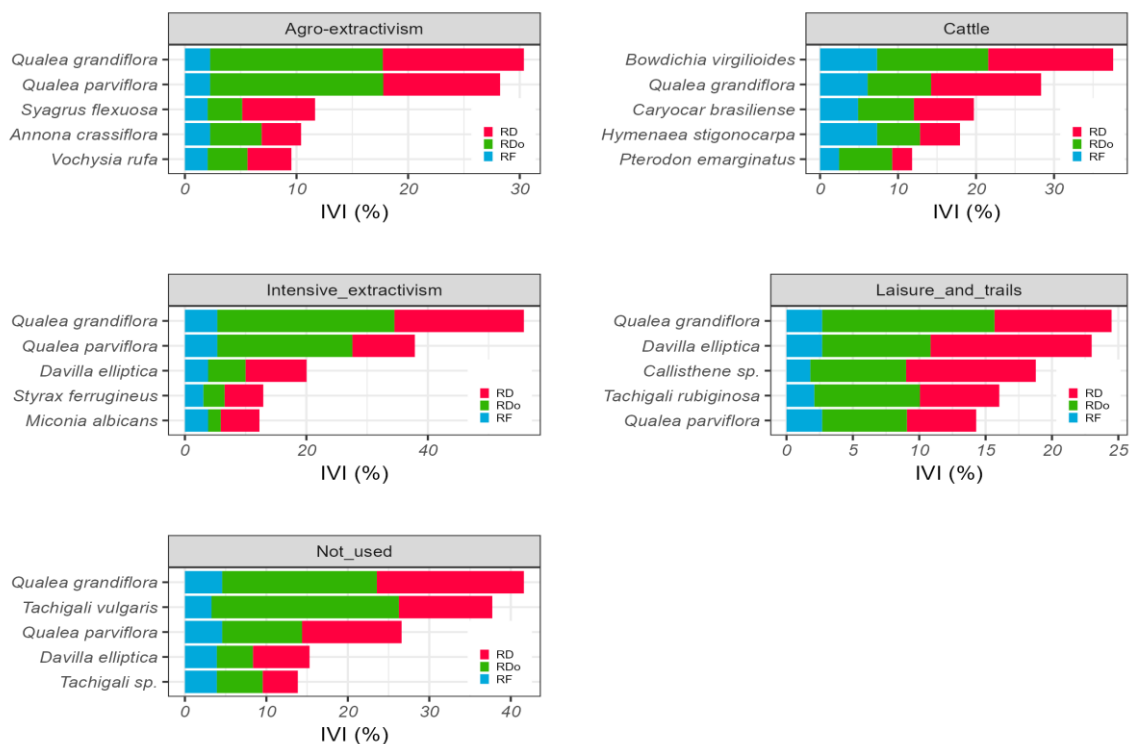


**Figura 2.** Diferenças nos estoques de carbono acima do solo em diferentes usos da terra em cerrado típico, teste de Kruskal-Wallis, teste post-hoc de Dunn.

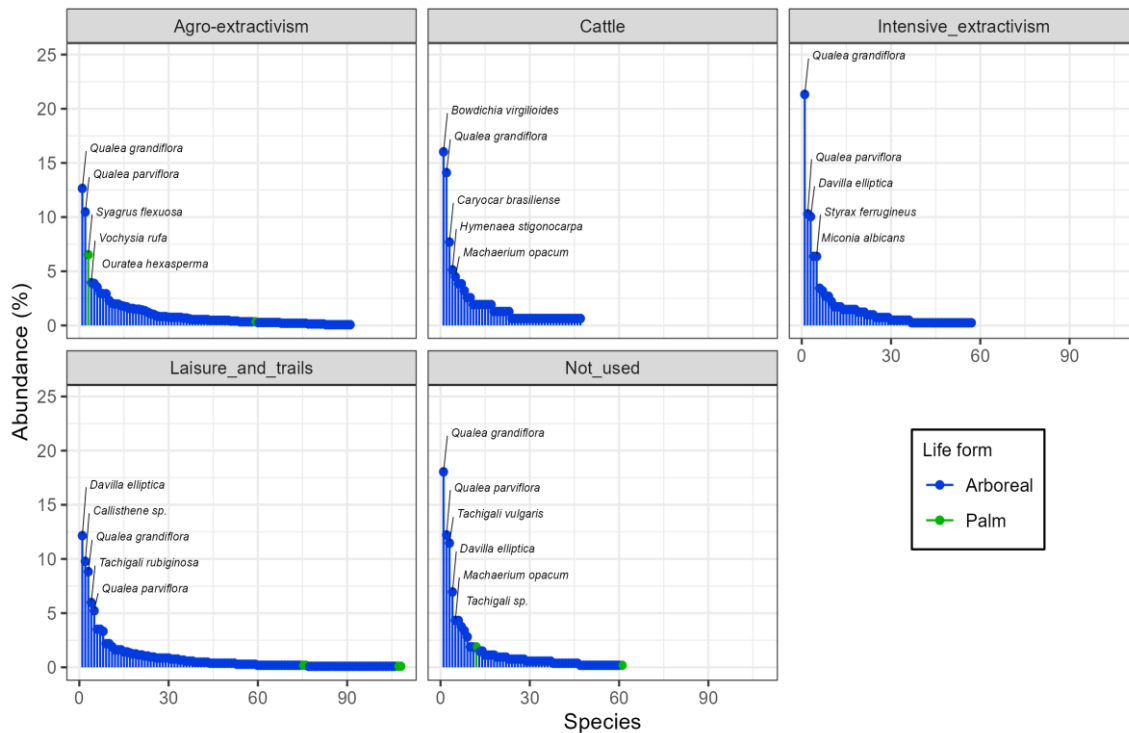
### 3.1.2 Fornecimento de frutas nativas

Para a prestação de serviços ecossistêmicos relacionados a frutas nativas comestíveis, no contexto do agroextrativismo, duas espécies destacadas, *Syagrus flexuosa* e *Annona crassiflora*, representam 22,6% do Índice de Valor de Importância (IVI) (Kuhlmann, 2020). Em áreas de cerrado típico usadas para criação de gado, duas outras espécies com frutos comestíveis, *Caryocar brasiliense* e *Hymenaea stigonocarpa*, figuram no topo do IVI, mas representam apenas 12,64% do total (Kuhlmann, 2020). Nos demais usos da terra, não há espécies com frutos comestíveis para humanos que se destacam no topo dos índices de valor de importância (Figura 3). Entre as cinco espécies mais importantes para cada tipo de uso do solo, *Qualea grandiflora*, que produz frutos não comestíveis, aparece em todos os cinco tipos de uso. Essa prevalência era esperada devido à sua alta distribuição, frequência e dominância em áreas de cerrado típico (Ratter et al., 2003; Buzzati et al., 2018). *Qualea parviflora* também é proeminente em quatro dos cinco tipos de uso do solo, enquanto *Davilla elliptica* se destaca em três categorias. Ambas não são comumente utilizadas para consumo humano. Portanto, no contexto da prestação de serviços ecossistêmicos relacionados à provisão de frutas nativas comestíveis, as cinco espécies mais importantes não representam contribuições superiores a 50% no Índice de Valor de Importância (IVI).

A hiperdominância para espécies que produzem frutos comestíveis nas áreas estudadas não foi evidente, não contribuindo, portanto, para o serviço ecossistêmico de fornecimento de frutos nativos comestíveis. Somente em áreas destinadas à criação de gado foi registrada uma abundância de 12% relacionada a duas espécies fornecedoras de frutos nativos: *Caryocar brasiliense* e *Hymenaea stigonocarpa* (Kuhlmann, 2020). Nos demais usos do solo, não foi verificada a presença do serviço ecossistêmico de produção de frutas nativas entre as espécies hiperdominantes (Figura 4).



**Figura 3.** O valor de importância (IV) das espécies indicadas para as cinco formas de uso do solo. Densidade relativa (RD; vermelho). Dominância relativa (RDo ; verde) e frequência relativa (RF; azul).

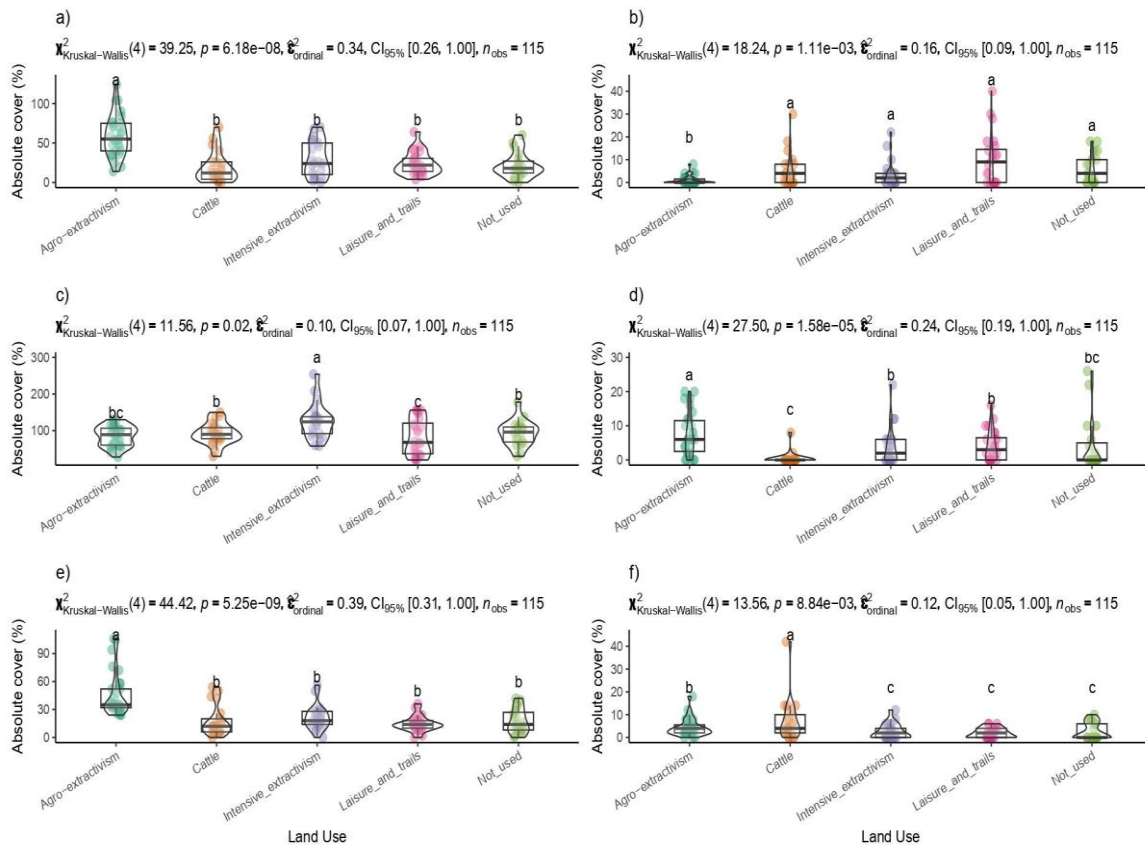


**Figura 4.** Ranking de espécies hiperdominantes, com cinco espécies mais abundantes e percentual de dominância na comunidade.

### 3.1.3 Fornecimento de habitat

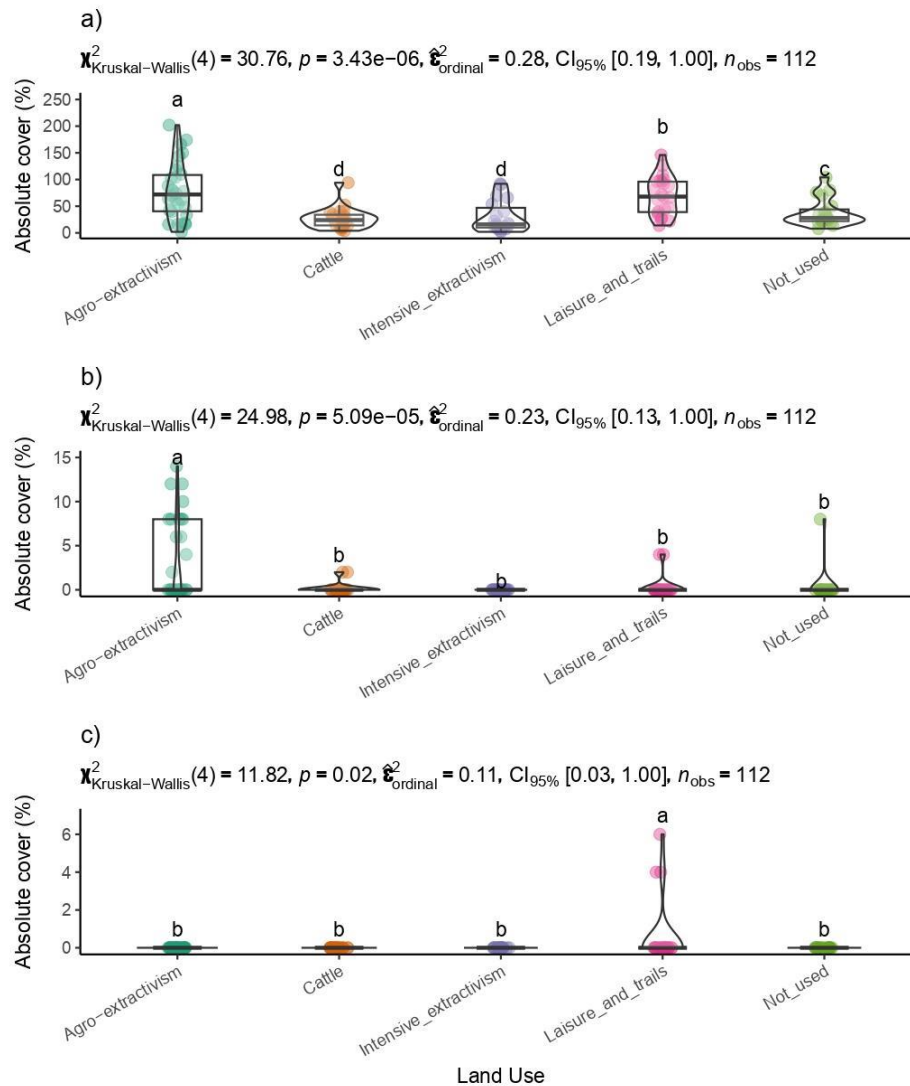
Para o primeiro estrato (altura  $\leq 2$  metros), as áreas de agroextrativismo apresentam os maiores percentuais de cobertura vegetal, principalmente em termos de cobertura arbórea, palmeiras e arbustos, o que sugere maior oferta de habitats para fauna e flora. O agroextrativismo também tem menos solo exposto. As áreas de criação de gado, por outro lado, apresentam alta cobertura de plantas subarbusivas e solo exposto, mas baixa cobertura de árvores e palmeiras.

O tipo de cobertura avaliada (arbórea, solo exposto, herbácea, palmeira, arbustiva, subarbustiva) teve resposta significativamente diferente ao uso do solo, conforme evidenciado pelas análises de Kruskal-Wallis (Figura 5).



**Figura 5.** Cobertura Absoluta (%) de diferentes tipos de vegetação (altura  $\leq 2$  metros) (a) arbórea, (b) solo exposto, (c) herbácea, (d) palmeira, (e) arbustiva (f) subarbustiva sob diferentes usos da terra (agroextrativismo, criação de gado, extrativismo intenso, lazer e trilhas, e não uso do cerrado). Boxplots incorporados com a mediana e quartis. Análise de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) indicando diferenças significativas. Rotulagem de letras (post-hoc:Test Dun) indicando grupos significativamente diferentes entre si (letras diferentes).

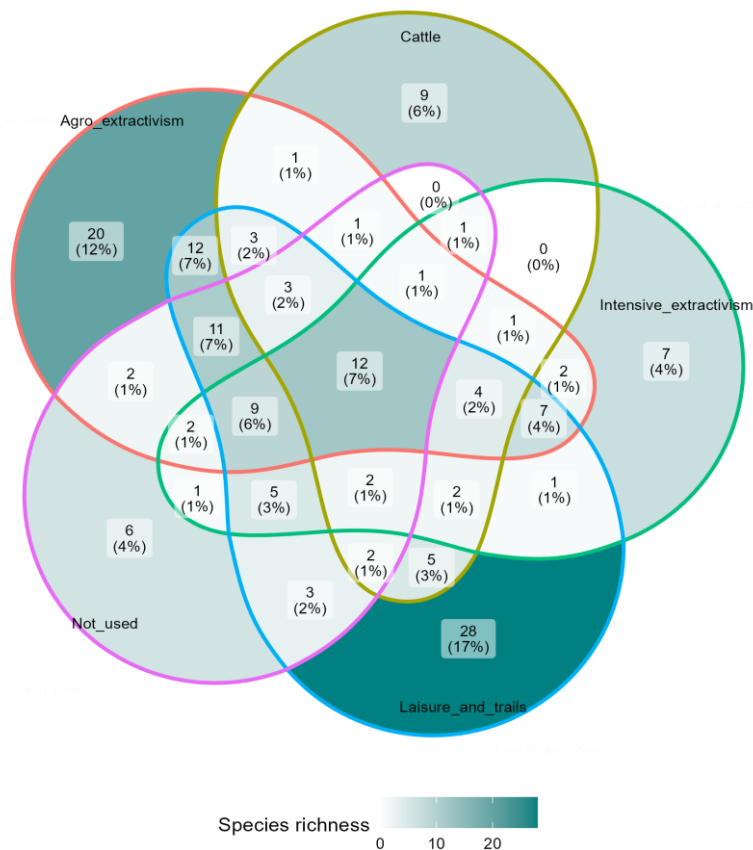
No segundo estrato (altura  $> 2$  metros) foram avaliados árvores, arbustos e subarbustos. A cobertura arbórea e arbustiva é significativamente maior nas áreas de Agroextrativismo e Trilhas de Lazer, indicando maior oferta de habitats nesses usos do solo. Áreas com criação de gado e extração intensa têm as menores coberturas. Os tipos de cobertura avaliados (árvore, arbusto, subarbusto) apresentaram respostas significativamente diferentes em relação ao uso do solo, conforme evidenciado pelas análises de Kruskal-Wallis (Figura 6).



**Figura 6.** Cobertura Absoluta (%) de diferentes tipos de vegetação (altura > 2 metros) (a) arbórea, (b) arbustiva (c) subarbustiva sob diferentes usos do solo (agroextrativismo, criação de gado, extrativismo intenso, lazer e trilhas e não utilização do cerrado). Boxplots incorporados com mediana e análise de quartis ( $p < 0,05$ ) indicando diferenças significativas (teste post-hoc Dun) indicando grupos significativamente diferentes.

### 3.2. Avaliação da diversidade vegetal para cada uso do solo

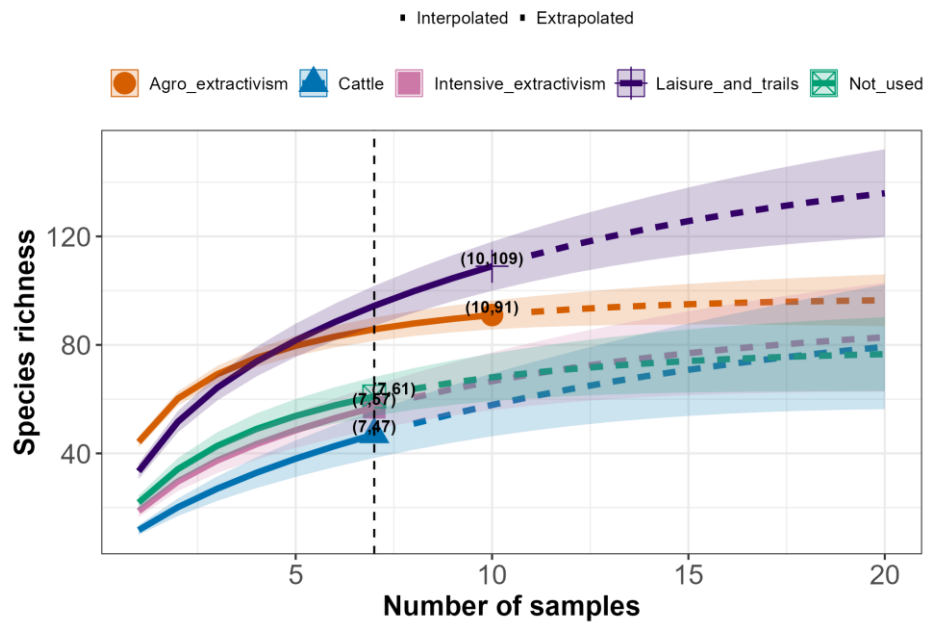
Registramos um total de 3.621 indivíduos, pertencentes a 163 espécies, em uma área amostral de 4,6 hectares. A maior riqueza de espécies foi observada nas áreas de lazer e trilhas (109 espécies), seguidas pelo agroextrativismo (91 espécies). As áreas de lazer e trilhas apresentaram também um maior número de espécies exclusivas, com 28 e 20 espécies respectivamente, enquanto ambas compartilharam um total de 61 espécies em comum (Figura 7).



**Figura 7.** Diagrama de Venn com espécies compartilhadas entre tipos de uso do solo. Tons mais escuros têm números de participação mais elevados. Tons claros, menos espécies compartilhadas.

Curvas de rarefação de espécies, baseadas na riqueza e número de espécies por área, foram determinadas a partir de dados coletados e estimados (Chao et al. 2014). Isto permitiu a comparação direta da riqueza de espécies entre amostras de diferentes esforços de amostragem, sugerindo que o tipo de uso do solo impacta a diversidade de espécies. As áreas destinadas ao lazer e trilhas com 109 espécies apresentaram a maior riqueza absoluta em comparação com outros usos do solo, enquanto as áreas destinadas à pecuária (47 espécies) apresentaram a menor riqueza total de espécies (Figura 8).





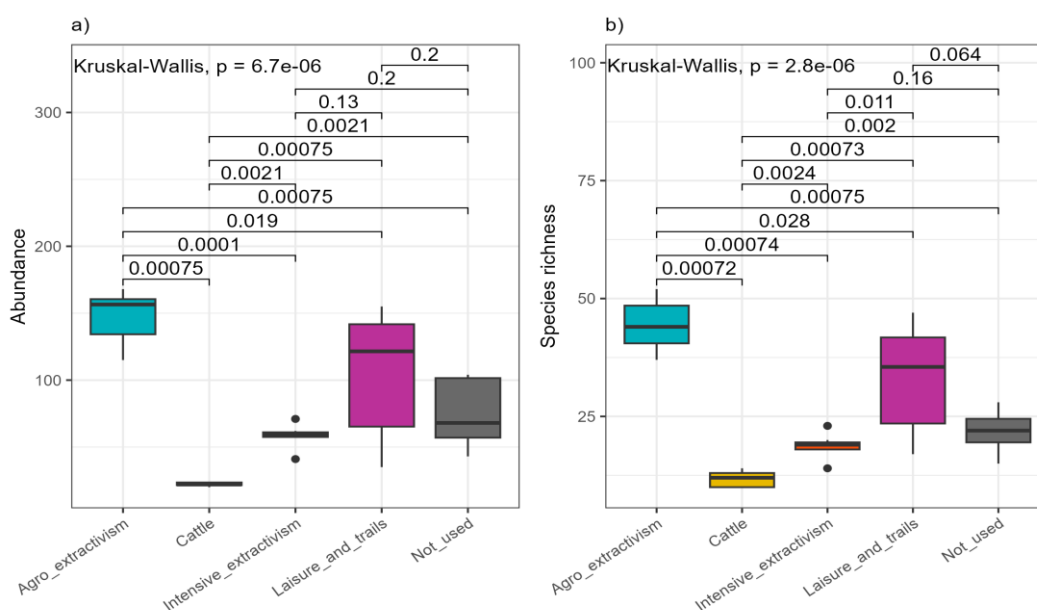
**Figura 8.** Curva de rarefação, com riqueza de espécies e número de amostras em cinco tipos de uso do solo. Método interpolado (linha completa, dados coletados) e extrapolado (linha tracejada, dados estimados).

O uso do solo para agroextrativismo em áreas típicas de cerrado apresenta os maiores valores médios de abundância ( $147,1 \pm 24,3$ ) e riqueza ( $44,2 \pm 4,0$ ), seguido por áreas de cerrado para lazer e trilhas (abundância =  $105,4 \pm 22,5$ ; riqueza =  $33,4 \pm 5,1$ ). Em contrapartida, o uso do cerrado típico para criação de gado está associado a menores valores de abundância ( $22,3 \pm 8,4$ ) e riqueza ( $11,7 \pm 3,1$ ). Os maiores valores do índice de Shannon também são encontrados no uso de cerrado típico com agroextrativismo, seguido de áreas para lazer e trilhas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Medidas por uso do solo: Abundância (média), Riqueza (média), Desvio Padrão (DP) e Índice de Shannon, Tukey (letras diferentes apresentam diferenças significativas).

Uso do solo	Average of abundance and DP	Average of richness	Shannon and Tukey Index
Agroextrativismo	$147.1 \pm 24.3$	$44.2 \pm 4.0$	$3.31 \pm 0.17a$
Lazer e trilhas	$105.4 \pm 22.5$	$33.4 \pm 5.1$	$3.00 \pm 0.307b$
Sem uso	$76.0 \pm 15.3$	$21.9 \pm 5.0$	$2.58 \pm 0.195c$
Extrativismo intenso	$58.3 \pm 12.1$	$18.7 \pm 4.7$	$2.48 \pm 0.224cd$
Criação de gado	$22.3 \pm 8.4$	$11.7 \pm 3.1$	$2.19 \pm 0.241d$

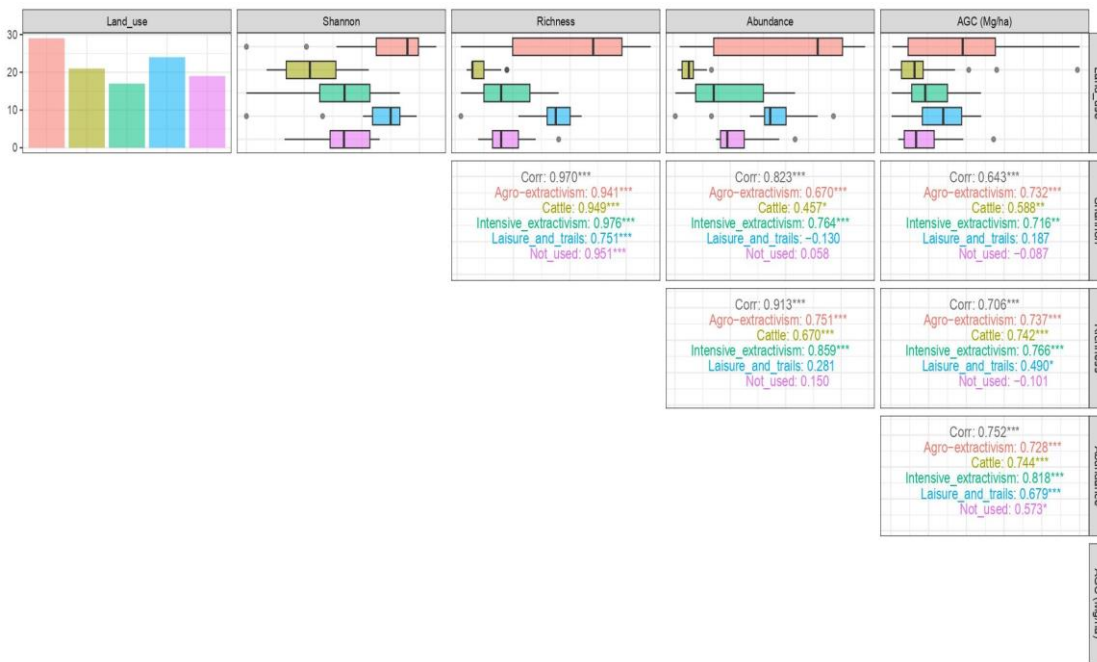
Os valores médios possuem diferenças significativas para Abundância ( $X^2= 29.323$ ; p-value < 0.001; Kruskal-Wallis), Riqueza ( $X^2= 31.217$ ; p-value < 0.001; Kruskal-Wallis) e Índice de Shannon ( $F = 30.59$ ; p-value < 0.001; ANOVA). O teste post hoc (Tukey) determinou diferenças significativas do índice de diversidade para áreas de agroextrativismo e lazer e trilhas. Para abundância e riqueza o teste post hoc (Wilcoxon Mann-Whitney) mostrou diferenças significativas para a maioria dos diferentes usos do solo. Excetuando-se, ou seja, não sendo significativa a diferença para abundância entre o uso extrativismo intenso e lazer, extrativismo intenso e não uso, lazer e não uso. Já para riqueza não houve diferença significativa para extrativismo intenso e não uso, lazer e não uso (Figura 9).



**Figura 9.** Medidas de Abundância (a) e Riqueza (b) em diferentes usos da terra, teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para diferenças significativas e teste post hoc de Wilcoxon Mann-Whitney para determinar diferenças entre subgrupos

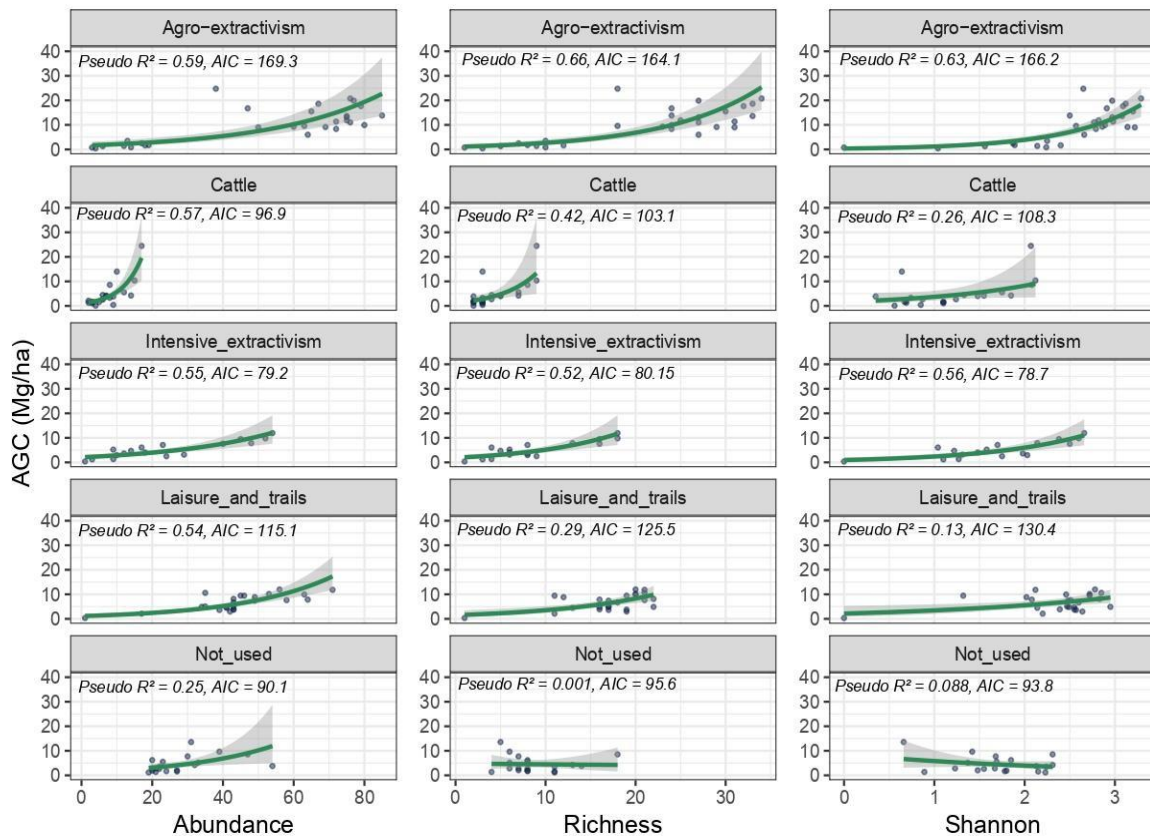
### 3.2 Correlação com dados de armazenamento de carbono e diversidade vegetal

Armazenamento de carbono acima do solo possui uma correlação geral forte e positiva com os dados de biodiversidade, mostrando que tem uma relação direta significativa com a abundância ( $r = 0,752$ ), riqueza ( $r = 0,706$ ) e índice de diversidade ( $r = 0,642$ ). As relações fortes e positivas indicam que à medida que o estoque de carbono aumenta, medidas da biodiversidade tendem a aumentar proporcionalmente (Figura 10). Ao observar as correlações da AGC e a biodiversidade com os cinco tipos de uso do solo, apenas áreas de cerrado típico declaradas como não utilizadas possuem correlações negativas com riqueza ( $r = -0,31$ ) índice de diversidade ( $r = -0,045$ ), estes não foram significativos.



**Figura 10.** Correlações entre diferentes tipos de uso do solo e métricas ecológicas: AGC (estoque de carbono acima do solo), abundância, riqueza e índice de Shannon. Os valores de correlação são acompanhados de indicadores de significância estatística: \*\*\* ( $p < 0,001$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ), e \* ( $p < 0,05$ ).

Para os modelos lineares generalizados (GLM), observou-se uma variação na relação entre as métricas de diversidade e o carbono para cada classe de uso do solo. Em áreas de agroextrativismo, a riqueza de espécies demonstrou os maiores valores de Pseudo  $R^2$ , juntamente com os menores valores de AIC, na qual a variável riqueza de espécies apresentou o maior valor de Pseudo  $R^2$ . Em contraste, em áreas do cerrado sem uso, a relação entre o estoque de carbono e as métricas de diversidade apresentou baixos valores de Pseudo  $R^2$  para todas as variáveis analisadas (abundância, riqueza de espécies e índice de diversidade de Shannon), sugerindo que a variação explicada no carbono acima do solo não está correlacionada com essas métricas, especialmente com a riqueza e a diversidade de espécies (Figura 11).



**Figura 11.** Relação entre estoques de carbono, abundância e diversidade de espécies. AGC (estoque de carbono acima do solo), abundância, riqueza e índice de Shannon. AIC (Critério de Informação Akaike)

#### 4. Discussão

Nas nossas descobertas existem diferenças significativas nos serviços ecossistêmicos relacionados com o tipo de uso do solo manejado pelos agricultores familiares. Isto é relatado por autores anteriores (Liu et al., 2022; Thompson et al., 2016), confirmando que o uso do solo é um elemento chave na alteração dos serviços ecossistêmicos numa região. As maiores estimativas de serviços ecossistêmicos e indicadores de diversidade vegetal foram encontradas em áreas destinadas ao agroextrativismo e ao ecoturismo com práticas de trilhas de lazer, indicando o potencial dessas atividades na continuidade da prestação de serviços ecossistêmicos e na conservação da biodiversidade.

##### 4.1. A diversidade vegetal e a prestação de serviços ecossistêmicos são maiores em áreas de agroextrativismo

Os dados de biodiversidade (abundância, riqueza e índice de Shannon) apresentaram diferenças significativas, com médias mais elevadas nas áreas de agroextrativismo. O índice de diversidade foi semelhante aos índices de referência encontrados em áreas nativas de cerrado típico monitoradas para a conservação (Almeida et al., 2014). Isto revela que o agroextrativismo não só contribui com

alimentos, matérias-primas e renda para as famílias agricultoras (Campos et al., 2023), mas também atua como uma estratégia para a manutenção da biodiversidade.

O agroextrativismo provou, em média, ser mais eficiente no serviço ecossistêmico de armazenamento de carbono em comparação com outros usos da terra. Trabalhos anteriores relatam que a dependência de recursos não madeireiros está relacionada com uma melhor gestão dos recursos arbóreos (Mutenje, et al., 2011), uma vez que as consequências da má gestão destes recursos teriam implicações negativas mais graves para os meios de subsistência locais (Liu & Xu, 2019). As famílias agricultoras altamente dependentes têm um interesse pessoal na conservação e no uso sustentável dos recursos florestais não-madeireiros (Shen et al., 2022), o que em muitos casos, resulta em atividades não predatórias sobre o meio ambiente (Lawore et al., 2018) e com potencial para manter o ecossistema regulatório serviços, eficazes para a mitigação das alterações climáticas.

Os menores valores médios de armazenamento de carbono, assim como nas análises de diversidade vegetal, foram encontrados em áreas de cerrado típico utilizadas para a criação de gado. As áreas de pastoreio analisadas, situadas em ambientes de cerrado nativo, apresentaram pastoreio intermitente de gado, com movimentação de rebanhos de acordo com a sazonalidade regional. Mesmo assim, a redução da biomassa observada pode indicar que os sistemas silvipastoris influenciam a regeneração natural das espécies arbóreas, bem como o recrutamento de espécies para outras classes ao longo do tempo. Certamente, é possível que a criação de gado tenha impacto na estrutura, composição e diversidade das comunidades vegetais (Saifi et al., 2017), o que de fato influencia a correlação do serviço ecossistêmico de armazenamento de carbono e os dados de diversidade vegetal.

Embora não haja hiperdominância de árvores com frutos comestíveis, constatamos que a classificação do índice de valor de importância para frutas nativas foi maior (22,6%) em áreas de agroextrativismo, indicando um bom potencial para prestação deste serviço em pequena escala e local. Observamos *in loco* que a coleta de sementes e frutos é uma prática constante nos assentamentos estudados. Os agricultores percorrem grandes distâncias para colher frutos desejáveis, tanto para autoconsumo como para venda. A coleta é realizada em áreas de reserva legal ou em locais com árvores isoladas, consideradas pela comunidade como boas matrizes. A proximidade dos alimentos nativos reduziria o esforço de caminhada das famílias agricultoras, resultando em mais tempo disponível para outras atividades ou coleta mais eficiente, devido à relação carga/distância. Idealmente, a prestação deste serviço seria aumentada nas explorações agrícolas dos próprios agricultores ou em áreas próximas das coletividades.

O agroextrativismo possui maiores percentuais de cobertura vegetal nos dois estratos estudados e com menores valores de solo exposto, o que representa maior oferta de habitats. Além disso, nossos resultados sugerem que diferentes tipos de uso do solo e suas práticas específicas de manejo influenciam significativa e diferentemente a estrutura da vegetação, determinando as condições necessárias para a sobrevivência e reprodução de diferentes espécies em serviços ecossistêmicos diretamente relacionados ao fornecimento de habitats (Mitchell et al., 2015).

## **4.2. Implicações para gestão, conservação e políticas públicas**

O estudo revelou diferenças significativas no estoque de carbono entre os diferentes tipos de uso do solo. Esta variação pode ser atribuída a diferentes práticas de gestão, mas também às condições ambientais associadas a cada área (Allison & Treseder, 2008). A avaliação destas diferenças é fundamental para o desenvolvimento de estratégias específicas e direcionadas para cada gestão territorial capazes de maximizar o sequestro de carbono e a conservação da biodiversidade nas áreas (Dade et al., 2019).

Conforme mencionado anteriormente, identificamos um destaque significativo do agroextrativismo, sugerindo a manutenção e promoção desta prática como uma estratégia eficaz, inclusive para a mitigação das mudanças climáticas. Em contrapartida, as áreas destinadas à pastagem de gado no cerrado apresentaram os menores valores de estoque de carbono e de biodiversidade, o que devemos considerar uma lacuna de pesquisa, abrangendo mais questões a serem investigadas em relação à manutenção da conservação ambiental nessas áreas (Durigan et al., 2022). Áreas não utilizadas pelos agricultores familiares há mais de cinco anos também apresentaram baixos estoques de carbono, além de correlações negativas com índice de riqueza e diversidade. Isto sugere que a inatividade prolongada pode não ser suficiente para a regeneração natural e recuperação dos estoques de carbono, indicando a necessidade de intervenções de gestão ativa e de restauração ecológica para melhorar a capacidade de armazenamento de carbono destas áreas e da biodiversidade.

Houve sinergias claras entre a diversidade vegetal e o armazenamento de carbono. Em verdade, a diversidade vegetal pode melhorar o armazenamento de carbono, uma vez que diferentes espécies de plantas capturam e armazenam carbono de formas variadas e complementares (Zhou et al., 2022). Isso demonstrou a capacidade geral de alguns sistemas analisados possuírem aptidão para incentivos as práticas que já são realizadas, ou ainda a identificação dos tipos de usos da terra que precisam receber incentivos para melhorias.

Políticas que incentivam o agroextrativismo sustentável e a restauração ecológica em áreas administradas por agricultores familiares podem trazer benefícios significativos para o armazenamento de carbono e a prestação de outros serviços ecossistêmicos.

A implementação de programas específicos direcionados aos agricultores familiares nas zonas de amortecimento das Unidades de Conservação pode contribuir significativamente para os objetivos de gestão ambiental em paisagens multifuncionais. Essas estratégias são fundamentais para a mitigação das mudanças climáticas e para a promoção de práticas agrícolas sustentáveis. É crucial incluir os agricultores familiares como provedores de serviços ambientais, visto que já são reconhecidos como parte interessada de programas de pagamento por serviços ambientais. Esses programas podem incluir pagamentos monetários diretos, melhorias sociais, compensações e outras formas de incentivo para a conservação e manejo sustentável dos recursos naturais (Brasil, 2021).

### **4.3. Especificidades e limitações do estudo**

Optou-se pela coleta de dados em campo pela necessidade de registro de áreas específicas e detalhadas. Com isso, formamos um banco de dados que pode ampliar e aprofundar esta pesquisa em testes futuros, incluindo, por exemplo, a biomassa de espécies individuais, a composição exata da vegetação demonstrando a presença de espécies raras ou invasoras e coleta de solo. Contudo, a coleta de dados em campo é uma atividade cara e demorada. Assim, ajustamos nossos esforços amostrais aos recursos disponíveis, reduzindo as metas inicialmente planejadas. Apesar desta limitação, a nossa amostra revelou-se bastante representativa. No entanto, as curvas de rarefação indicaram um ligeiro aumento na riqueza de espécies à medida que o número de amostras aumentou, sugerindo que mais amostras poderiam revelar espécies adicionais. Portanto, um aumento nos esforços de coleta seria benéfico para capturar todas as espécies possíveis, especialmente em áreas de alta diversidade, como Agroextrativismo e Trilhas de Lazer.

Ainda é interessante expandir esta pesquisa para uma abordagem integrada que combine a coleta de dados de campo com o uso de programas de modelagem de serviços ecossistêmicos. Esta combinação proporciona uma compreensão mais completa e precisa dos serviços ecossistêmicos, beneficiando a gestão ambiental prática na região.

### **5. Conclusões**

Este estudo destaca a importância de analisar a diversidade vegetal e fornecer serviços ecossistêmicos em áreas de cerrado típico manejadas por agricultores familiares, destacando como diferentes tipos de uso do solo influenciam as medidas ecológicas. As principais conclusões são as seguintes:

- (1) Agroextrativismo e Serviços Ecossistêmicos: O agroextrativismo provou ser a prática mais eficiente em termos de armazenamento de carbono, fornecimento de frutas nativas e fornecimento de habitats. Incentivar esta prática pode promover a sustentabilidade e a conservação da biodiversidade.
- (2) Diversidade Vegetal e Armazenamento de Carbono: Foi observada uma correlação positiva significativa entre a diversidade vegetal e o armazenamento de carbono. A promoção de práticas que aumentem a diversidade vegetal pode, portanto, melhorar a capacidade de sequestro de carbono.
- (3) Impacto do pastoreio de gado: As áreas destinadas a criação de gado apresentaram os menores valores de armazenamento de carbono e diversidade vegetal, sugerindo a necessidade de mais pesquisas que possam avaliar os níveis de sinergias e compensações desta prática.
- (4) Áreas não utilizadas: A inatividade prolongada não demonstrou ser eficaz para a regeneração natural e recuperação dos estoques de carbono. Recomendam-se intervenções de gestão ativa e de restauração ecológica para estas áreas.
- (5) Políticas de incentivos: Políticas que incentivam o agroextrativismo sustentável e a restauração ecológica podem trazer benefícios significativos para o armazenamento de carbono e a prestação de outros serviços ecossistêmicos. O pagamento por programas de serviços ambientais pode ser uma forma eficaz de incluir os agricultores familiares nestes esforços.

Este estudo fornece uma base para alcançar metas de conservação e restauração ecológica voltadas para áreas de assentamentos de reforma agrária, promovendo práticas agrícolas sustentáveis que beneficiam tanto o meio ambiente quanto as comunidades locais.

**Disponibilidade de Dados:** O material suplementar, bem como o banco de dados e códigos de programação R para reprodução dos resultados estão disponíveis em: Evangelista, Viviane (2024), “Ecosystem services under different intensities of land use managed by family farmers”, Mendeley Data, V1, <https://data.mendeley.com/datasets/yrxhk7t5p6/1>

## Referências

Ali, Arshad, et al. “Stand Structural Diversity Rather than Species Diversity Enhances Aboveground Carbon Storage in Secondary Subtropical Forests in Eastern China.” *Biogeosciences*, vol. 13, no. 16, Copernicus GmbH, Aug. 2016, pp. 4627–35, doi:10.5194/BG-13-4627-2016.

Allison, Steven D., and Kathleen K. Treseder. “Warming and Drying Suppress Microbial Activity and Carbon Cycling in Boreal Forest Soils.” *Global Change Biology*, vol. 14, no. 12, John Wiley & Sons, Ltd, Dec. 2008, pp. 2898–909, doi:10.1111/J.1365-2486.2008.01716.X.

Balvanera, Patricia, et al. “Ecosystem Services.” *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*, Springer, Cham, 2017, pp. 39–78, doi:10.1007/978-3-319-27288-7\_3.

*Brasil*. Lei 114119. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/lei/114119.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/114119.htm). Accessed 22 July 2024.

Buzatti, Renata Santiago de Oliveira, et al. “Genetic and Historical Colonization Analyses of an Endemic Savanna Tree, *Qualea Grandiflora*, Reveal Ancient Connections Between Amazonian Savannas and Cerrado Core.” *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, Front Plant Sci, July 2018, doi:10.3389/FPLS.2018.00981.

Camarretta, Nicolò, et al. “Using Airborne Laser Scanning to Characterize Land-Use Systems in a Tropical Landscape Based on Vegetation Structural Metrics.” *Remote Sensing*, vol. 13, no. 23, MDPI, Dec. 2021, doi:10.3390/RS13234794.

Chao, Anne, et al. “Rarefaction and Extrapolation with Hill Numbers: A Framework for Sampling and Estimation in Species Diversity Studies.” *Ecological Monographs*, vol. 84, no. 1, Feb. 2014, pp. 45–67, doi:10.1890/13-0133.1.

Cruz, Margarita P., et al. “Knowledge, Use and Management of Native Wild Edible Plants from a Seasonal Dry Forest (NE, Brazil).” *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, vol. 9, no. 1, BioMed Central Ltd, Nov. 2013, pp. 1–10, doi:10.1186/1746-4269-9-79/TABLES/5.

Curtis, J. T., and R. P. McIntosh. “An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin.” *Ecology*, vol. 32, no. 3, Wiley, July 1951, pp. 476–96, doi:10.2307/1931725.

Dade, Marie C., et al. “Assessing Ecosystem Service Trade-Offs and Synergies: The Need for a More Mechanistic Approach.” *Ambio*, vol. 48, no. 10, Springer Netherlands, Oct. 2019, pp. 1116–28, doi:10.1007/S13280-018-1127-7/METRICS.

Durigan, Giselda, et al. “Low-Intensity Cattle Grazing Is Better than Cattle Exclusion to Drive



Secondary Savannas toward the Features of Native Cerrado Vegetation.” *Biotropica*, vol. 54, no. 3, John Wiley & Sons, Ltd, May 2022, pp. 789–800, doi:10.1111/BTP.13105.

Fu, Bojie, et al. “Ecosystem Services in Changing Land Use.” *Journal of Soils and Sediments*, vol. 15, no. 4, Springer Verlag, Apr. 2015, pp. 833–43, doi:10.1007/S11368-015-1082-X/METRICS.

Herrick JE, Van Zee JW, McCord SE, et al. Monitoring manual for grassland, shrubland, and savanna ecosystems, Volume 1: core methods. 2017 USDA–ARS Jornada Experimental Range Las Cruces, New Mexico

INMET: *BDMEP.2023* <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Accessed 20 July 2024.

Jiang, Yuncheng, et al. “The Response of Carbon Storage to Multi-Objective Land Use/Cover Spatial Optimization and Vulnerability Assessment.” *Sustainability 2024, Vol. 16, Page 2235*, vol. 16, no. 6, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Mar. 2024, p. 2235, doi:10.3390/SU16062235.

Kam, Hermann, et al. “Engaging Absentee Landholders in Ecosystem Service Delivery in South-Eastern Australia.” *Ecosystem Services*, vol. 39, Elsevier, Oct. 2019, p. 100988, doi:10.1016/J.ECOSER.2019.100988.

Li, Yin, et al. “Drivers of Tree Carbon Storage in Subtropical Forests.” *Science of the Total Environment*, vol. 654, Elsevier, Mar. 2019, pp. 684–93, doi:10.1016/J.SCITOTENV.2018.11.024.

Lima, Isabela Lustz Portela, et al. “Livestock Management Within a Traditional Agrosilvopastoral System in Northern Minas Gerais, Brazil: A Model for Reconciling Livelihoods and Conservation at a Time of Environmental Change.” *Human Ecology*, vol. 50, no. 1, Springer, Feb. 2022, pp. 183–93, doi:10.1007/S10745-021-00281-6/METRICS.

Liu, M ;, et al. “Integrating Land Use, Ecosystem Service, and Human Well-Being: A Systematic Review.” *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 6926*, vol. 14, no. 11, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, June 2022, p. 6926, doi:10.3390/SU14116926.

Liu, Shilei, and Jintao Xu. “Livelihood Mushroomed: Examining Household Level Impacts of Non-Timber Forest Products (NTFPs) under New Management Regime in China’s State Forests.” *Forest Policy and Economics*, vol. 98, Elsevier, Jan. 2019, pp. 44–53, doi:10.1016/J.FORPOL.2018.06.001.

Lowore, Janet, et al. “African Forest Honey: An Overlooked NTFP with Potential to Support Livelihoods and Forests.” *Environmental Management*, vol. 62, no. 1, Springer New York LLC, July 2018, pp. 15–28, doi:10.1007/S00267-018-1015-8/TABLES/2.

Luo, Ying, et al. “Half Century Change of Interactions among Ecosystem Services Driven by Ecological Restoration: Quantification and Policy Implications at a Watershed Scale in the Chinese Loess Plateau.” *Science of The Total Environment*, vol. 651, Elsevier, Feb. 2019, pp. 2546–57, doi:10.1016/J.SCITOTENV.2018.10.116.

Mace, Georgina. “Global Change: Ecology Must Evolve.” *Nature 2013 503:7475*, vol. 503, no. 7475, Nature Publishing Group, Nov. 2013, pp. 191–92, doi:10.1038/503191a.

Mitchell, Matthew G. E., et al. “Strong and Nonlinear Effects of Fragmentation on Ecosystem Service Provision at Multiple Scales.” *Environmental Research Letters*, vol. 10, no. 9, IOP Publishing, 2015, doi:10.1088/1748-9326/10/9/094014.

Mouillot, David, et al. “The Dimensionality and Structure of Species Trait Spaces.” *Ecology Letters*, vol. 24, no. 9, John Wiley & Sons, Ltd, Sept. 2021, pp. 1988–2009, doi:10.1111/ELE.13778.

Mutenje, M. J., et al. “Management of Non-Timber Forestry Products Extraction: Local Institutions, Ecological Knowledge and Market Structure in South-Eastern Zimbabwe.” *Ecological Economics*,

- vol. 70, no. 3, Elsevier, Jan. 2011, pp. 454–61, doi:10.1016/J.ECOLECON.2010.09.036.
- Pereira, Paulo. “Ecosystem Services in a Changing Environment.” *Science of The Total Environment*, vol. 702, Elsevier, Feb. 2020, p. 135008, doi:10.1016/J.SCITOTENV.2019.135008.
- Kuhlmann, Marcelo. *Frutos Do Cerrado 100 Espécies Atrativas Para o Homo Sapiens*. 1<sup>a</sup>, 2020.
- Pratama, Lalu Deden Yuda, and Projo Danoedoro. “Above-Ground Carbon Stock Estimates of Rubber (*Hevea Brasiliensis*) Using Sentinel 2A Imagery: A Case Study in Rubber Plantation of PTPN IX Kebun Getas and Kebun Ngobo, Semarang Regency.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 500, no. 1, Institute of Physics Publishing, July 2020, doi:10.1088/1755-1315/500/1/012087.
- Qureshi, Ashi, et al. “A Review of Protocols Used for Assessment of Carbon Stock in Forested Landscapes.” *Environmental Science & Policy*, vol. 16, Elsevier, Feb. 2012, pp. 81–89, doi:10.1016/J.ENVSCI.2011.11.001.
- Ratter, J. A., et al. “Analysis of the floristic composition of the brazilian cerrado vegetation iii: comparison of the woody vegetation of 376 AREAS.” *Edinburgh Journal of Botany*, vol. 60, no. 1, Cambridge University Press, Mar. 2003, pp. 57–109, doi:10.1017/S0960428603000064.
- Resende, Fernando M., et al. “Consequences of Delaying Actions for Safeguarding Ecosystem Services in the Brazilian Cerrado.” *Biological Conservation*, vol. 234, Elsevier, June 2019, pp. 90–99, doi:10.1016/J.BIOCON.2019.03.009.
- Rezende, A. V., et al. “Comparison of Mathematical Models to Volume, Biomass and Carbon Stock Estimation of the Woody Vegetation of a Cerrado Sensu Stricto in Brasília, DF.” *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, no. 71, 2006, pp. 65–76.
- Rodrigues, Alice Cristina, et al. “Fine-Scale Topography Shape Richness, Community Composition, Stem and Biomass Hyperdominant Species in Brazilian Atlantic Forest.” *Ecological Indicators*, vol. 102, Elsevier, July 2019, pp. 208–17, doi:10.1016/J.ECOLIND.2019.02.033.
- Saifi, Merdas, et al. “Plant Community Structure and Diversity under Grazing Gradient in Mediterranean Steppe of Algeria Contribution à l’évaluation Scientifique Écologique de l’impact de Réalisation Du Barrage Vert Dans Deux Zones Pilotes Batna-M’Silâ View Project Projet de Thèse View Project SEE PROFILE.” *Article in Journal of Materials and Environmental Science*, vol. 8, 2017, pp. 4329–38, doi:10.26872/jmes.2017.8.12.456.
- Sanchirico, James N., and Peter Mumby. *Mapping Ecosystem Functions to the Valuation of Ecosystem Services: Implications of Species-Habitat Associations for Coastal Land-Use Decisions*. 2009 doi:10.1007/s12080-008-0034-0.
- Shen, Jinyu, et al. “Dynamics and Determinants of Household’s Non-Timber Forest Products Collection in the Giant Panda Nature Reserves of China.” *Forest Policy and Economics*, vol. 137, Elsevier, Apr. 2022, p. 102705, doi:10.1016/J.FORPOL.2022.102705.
- Song, Wei, et al. “Impacts of Land-Use Change on Valued Ecosystem Service in Rapidly Urbanized North China Plain.” *Ecological Modelling*, vol. 318, Elsevier, Dec. 2015, pp. 245–53, doi:10.1016/J.ECOLMODEL.2015.01.029.
- Staggemeier, Vanessa G., et al. “Hyperdominance in Fruit Production in the Brazilian Atlantic Rain Forest: The Functional Role of Plants in Sustaining Frugivores.” *Biotropica*, vol. 49, no. 1, John Wiley & Sons, Ltd, Jan. 2017, pp. 71–82, doi:10.1111/BTP.12358.
- Szkop, Zbigniew. “The Value of Air Purification and Carbon Storage Ecosystem Services of Park Trees in Warsaw, Poland.” *Environmental and Socio-Economic Studies*, vol. 10, no. 3, De Gruyter

Open Ltd, Sept. 2022, pp. 1–11, doi:10.2478/ENVIRON-2022-0012.

Teixeira, Heitor Mancini, et al. “Understanding Farm Diversity to Promote Agroecological Transitions.” *Sustainability 2018, Vol. 10, Page 4337*, vol. 10, no. 12, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Nov. 2018, p. 4337, doi:10.3390/SU10124337.

Thomas, Evert, et al. “Fine-Scale Processes Shape Ecosystem Service Provision by an Amazonian Hyperdominant Tree Species OPEN.” *SCIENTIFIC REPORTS* /, vol. 8, 2018, p. 11690, doi:10.1038/s41598-018-29886-6.

Thompson, Jonathan R., et al. “The Consequences of Four Land-Use Scenarios for Forest Ecosystems and the Services They Provide.” *Ecosphere*, vol. 7, no. 10, John Wiley & Sons, Ltd, Oct. 2016, p. e01469, doi:10.1002/ECS2.1469.

Watson, James E. M., et al. “The Performance and Potential of Protected Areas.” *Nature 2014 515:7525*, vol. 515, no. 7525, Nature Publishing Group, Nov. 2014, pp. 67–73, doi:10.1038/nature13947.

Weiskopf, Sarah R., et al. “A Conceptual Framework to Integrate Biodiversity, Ecosystem Function, and Ecosystem Service Models.” *BioScience*, vol. 72, no. 11, Oxford Academic, Oct. 2022, pp. 1062–73, doi:10.1093/BIOSCI/BIAC074.

Zhang, Wei, et al. “Awareness and Perceptions of Ecosystem Services in Relation to Land Use Types: Evidence from Rural Communities in Nigeria.” *Ecosystem Services*, vol. 22, Elsevier, Dec. 2016, pp. 150–60, doi:10.1016/J.ECOSER.2016.10.011.

Zhong, Han Sen, et al. “Quantum Computational Advantage Using Photons.” *Science*, vol. 370, no. 6523, American Association for the Advancement of Science, Dec. 2020, pp. 1460–63, doi:10.1126/SCIENCE.ABE8770/SUPPL\_FILE/ABE8770\_ZHONG\_SM.PDF.

Zhou, You, et al. “Dynamic Analysis of Biodiversity, Carbon Storage and Environmental Factors of Coniferous Forest in Loudi City, Hunan Province.” *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 17, Oxford Academic, Feb. 2022, pp. 831–40, doi:10.1093/IJLCT/CTAC037.

#### **IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A TESE**

Esta tese é resultado da escuta sensível e dialógica junto à moradores de assentamentos de reforma agrária que fazem fronteira com Unidades de Conservação no Brasil Central. Esperamos que esta pesquisa possa impactar grupos interessados no fortalecimento de sistemas socioecológicos e que os assentamentos agrários possam ser reconhecidos em sua importância ecológica e vulnerabilidade social, para receberem políticas públicas que os valorizem como um grupo possível de contribuir para a manutenção e adição de serviços ecossistêmicos. Com finalidade de ressaltar os resultados encontrados revisitou-se as questões de pesquisa e determinou-se próximos passos para aprofundamentos na temática.

##### **A. Questões da pesquisa revisitadas**

**Questão 1:** Quais variáveis socioecológicas medidas são relevantes ao conhecimento ecológico local e a percepção para apoiar estratégias de gestão de serviços ecossistêmicos e conservação da biodiversidade?

Nossa análise identificou duas variáveis de alta influência para o conhecimento ecológico local: a participação em iniciativas de conservação e restauração da natureza e o uso de áreas nativas do Cerrado. Isso indica que, para melhorar a gestão de serviços ecossistêmicos integrando saberes locais, é necessário realizar iniciativas de conservação e restauração nos territórios junto aos agricultores familiares e promover ações que valorizem o contato contínuo dos agricultores familiares com as áreas nativas do Cerrado.

Quanto à percepção sobre serviços ecossistêmicos, a variável mais relevante é o tipo de agricultor-agroecossistema. Assim, para aprimorar o fornecimento de serviços ecossistêmicos, é crucial identificar o tipo de agricultor familiar e realizar intervenções específicas e especializadas para cada propriedade. Além disso, é importante implementar um monitoramento contínuo ao longo dos anos para avaliar como o agroecossistema é manejado e como as percepções dos agricultores se modificam.

**Questão 2:** Como as variáveis de alta influência variam internamente em relação aos níveis de conhecimento ecológico local e a percepção sobre serviços ecossistêmicos?

Iniciativas de conservação e restauração da natureza atingem os maiores níveis de conhecimento ecológico local (LEK) quando a participação do agricultor familiar é integral, ou seja, quando ele está envolvido desde a definição das demandas até a elaboração, execução e avaliação das ações. Em relação ao uso de áreas nativas por agricultores familiares, os maiores resultados de LEK são obtidos

quando a utilização dessas áreas é voltada para atividades culturais ou ecoturismo, como trilhas de contemplação e atividades educativas.

Quanto à percepção, os agricultores familiares que cultivam monoculturas de soja em suas propriedades tendem a ter uma visão negativa sobre a importância da manutenção dos serviços ecossistêmicos. Isso sugere a necessidade de desenvolver estratégias direcionadas a esses grupos para aumentar a conscientização sobre a importância dos serviços ecossistêmicos.

**Questão 3:** Qual tipo de uso do solo manejada por agricultores familiares apresenta maiores serviços ecossistêmicos (armazenamento de carbono, provisão de frutos, fornecimento de habitats) e dados de biodiversidade (abundância, riqueza, índice de diversidade) medidos em campo?

As terras nativas destinadas ao agroextrativismo apresentaram os maiores valores médios para serviços ecossistêmicos como armazenamento de carbono, provisão de frutos, fornecimento de habitats e dados de biodiversidade (abundância, riqueza e índice de diversidade). Isso sugere que esse tipo de manejo realizado por agricultores familiares promove tanto serviços ecossistêmicos quanto a conservação da biodiversidade.

**Questão 4:** Quais são relações dos dados de biodiversidade de plantas com armazenamento de carbono acima do solo em diferentes usos da terra em áreas de cerrado típico?

A relação entre abundância, riqueza e índice de diversidade é significativa e diretamente proporcional ao estoque de carbono em quase todas as áreas. No entanto, nas áreas de Cerrado que não foram utilizadas por agricultores familiares há mais de cinco anos, observa-se uma correlação baixa e negativa entre o estoque de carbono e os dados de biodiversidade. Em contraste, as maiores correlações foram encontradas nas áreas de agroextrativismo.

## **B. Oportunidades para novos estudos**

Conduzir trabalho de campo que concilie dados sociais e ecológicos é desafiador, pois exige um grande número de expedições, incluindo reuniões, entrevistas, oficinas, vistorias e inventários florísticos. Embora os dados de campo existentes tenham sido satisfatórios para o desenvolvimento desta tese, eles ainda não representam completamente a extensão e a complexidade das interações entre unidades de conservação e assentamentos agrários, bem como a diversidade do bioma e dos agricultores familiares. Este estudo identificou as principais influências sobre os saberes locais, mas ainda é necessário aprofundar a pesquisa em outras comunidades de agricultores familiares e explorar diferentes variáveis socioecológicas. Além disso, é importante desenvolver diretrizes e planos que possam influenciar políticas públicas e tomadores de decisão à implementar

soluções que integrem agricultores familiares no aumento da manutenção de SE e conservação da biodiversidade em escala mais abrangente no bioma Cerrado.

O aprimoramento das técnicas para estimar serviços ecossistêmicos também é necessário dentro deste projeto. Embora os dados de campo sejam valiosos, recomenda-se integrá-los ao mapeamento em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a programas de software especializados em estimativa de serviços ecossistêmicos. Assim essa interface de dados permitirá uma investigação em maior profundidade. Integrar dados socioecológicos das entrevistas com estimativas de serviços ecossistêmicos, comparando dados de conhecimento ecológico local (LEK) e percepção com dados ecológicos medidos, também é desejável. Além disso, nossos estudos futuros poderão incluir dados sobre fertilidade e carbono do solo, bem como diversidade funcional entre as áreas, o que expandirá nosso repositório de dados, aumentando a precisão das estimativas de serviços ecossistêmicos nas áreas estudadas. Essas novas ações permitirão aos tomadores de decisão estabelecer valores de referência e identificar as variáveis necessárias para estratégias eficazes no planejamento de gestão de serviços ecossistêmicos em paisagens socioecológicas.