



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Serviços ecossistêmicos da Amazônia Brasileira

Celso de Arruda Souza¹, Ernandes Sobreira Oliveira Junior², Sandra de Souza Hacon³

¹Doutorado na Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT PPGCA – Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais. E-mail: celso.arruda@unemat.br ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1161-9242>

² Graduação (Biologia) Educação. Mestre Ecologia e Conservação da Biodiversidade Educação. PhD (Ecologia Aquática e Biologia Ambiental) Educação. Instituição/Pós-graduação à qual está vinculado: Universidade do Estado de Mato Grosso: Cáceres UNEMAT/PPGA. E-mail: ernandes.sobreira@unemat.br ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6953-6917>

³ Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestrado em Controle da Poluição Ambiental - Manchester University, Reino Unido e doutorado em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela Universidade Federal Fluminense. Instituição/Pós-graduação à qual está vinculado: Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Escola Nacional de Saúde Pública - Rio de Janeiro (RJ), e-mail: sandrahacon@gmail.com (autor correspondente). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8222-0992>

Artigo recebido em 30/11/2022 e aceito em 06/06/2023

RESUMO

A Amazônia brasileira é a maior floresta tropical da América do Sul e fornece uma pluralidade ecossistêmica que beneficia a sociedade. Pensando na importância dos serviços que essa floresta apresenta, realizou-se um levantamento bibliográfico com o objetivo de identificar a oferta dos *serviços ecossistêmicos de suporte, provisão, regulação e cultura* na Amazônia Legal, constituindo-se também uma narrativa em escala local sobre o processo de uso e cobertura da terra nos municípios de Sinop e Alta Floresta, no período de 1990 a 2020. Os *serviços ecossistêmicos* mais abordados foram os de suporte (27 artigos), suporte, regulação e provisão (23), suporte e regulação (18), regulação (10) e de suporte e cultural (7). Do total, 48% das pesquisas envolveram os nove estados brasileiros que compõem a Amazônia Legal. Ademais, 33% dos estudos foram realizados no Mato Grosso. O maior número de artigos (31%) aponta a Floresta Amazônica como fornecedora de três classes de serviços; (I) manutenção da biodiversidade; (II) diversidade biológica (incluindo genes e espécies) e (III) ciclagem de nutrientes, fotossíntese e acesso à água. 58% dos artigos descrevem a Amazônia em três classes de *trade-off*: (I) exploração de madeira seletiva; (II) desmatamento para extração mineral; e (III) corte raso da floresta. Em escala local, no período 1990 a 2020, municípios de Sinop e Alta Floresta, situados no arco do desmatamento, perderam em média 61% da vegetação nativa. Enquanto a monocultura em Sinop representou 67% da ocupação do território, em Alta Floresta a pecuária foi responsável por 30% da transformação da área de vegetação nativa. Nesses municípios, ocorre uma disputa no que tange ao uso da terra, ocasionando permanente conflito devido à exploração dos *serviços ecossistêmicos* atrelados à floresta nativa.

Palavras-chave: Déficit de vegetação, Geotecnologia, Amazônia Brasileira, Região Norte de Mato Grosso.

Ecosystem services in the Brazilian Amazon

ABSTRACT

The Brazilian Amazon is the largest tropical forest in South America and provides an ecosystem plurality that benefits Society. Thinking about the importance of the services that this forest presents, a bibliographical survey was carried out with the objective of identifying the offer of ecosystem services for support, provision, regulation and culture in the Legal Amazon, also constituting a narrative on a local scale about the process of land use and coverage in the municipalities of Sinop and Alta Floresta, from 1990 to 2020. The most discussed ecosystem services were support (27 articles), support, regulation and provision (23), support and regulation (18), regulation (10) and support and cultural (7). Of the total, 48% of the research involved the nine Brazilian states that make up the Legal Amazon. Furthermore, 33% of the studies were carried out in Mato Grosso. The largest number of articles (31%) points to the Amazon Forest as a supplier of three classes of services; (I) maintenance of biodiversity; (II) biological diversity (including genes and species) and (III) nutrient cycling, photosynthesis and access to water. 58% of the articles describe the Amazon in three trade-off classes: (I) selective logging; (II) deforestation for mineral extraction; and (III) clear cutting of the forest. On a local scale, from 1990 to 2020, the municipalities of Sinop and Alta Floresta, located in the arc of deforestation, lost an average of 61% of their native vegetation. While monoculture in Sinop represented 67% of the territory's occupation, in Alta Floresta, livestock farming was responsible for 30% of the transformation of the native vegetation area. In these municipalities, there is a

dispute regarding land use, causing permanent conflict due to the exploitation of ecosystem services linked to the native forest.

Keywords: Vegetation deficit, Geotechnology, Brazilian Amazon, Northern Region of Mato Grosso.

Introdução

A Floresta Amazônica brasileira fornece diversos bens e serviços, como diferentes tipos de habitats, alimentos, recursos hídricos, regulação do clima, umidade atmosférica local e uma grande diversidade biológica de genes e espécies de fauna e flora (Londres et al., 2023), além do uso da floresta pelos humanos. A biodiversidade é fundamental para o suporte, provisão e regulação do ecossistema, que é fundamental para o bem-estar da sociedade em diferentes escalas (Nerfa et al., 2020).

Regionalmente, a Floresta Amazônica dispõe de fornecimento multivariado de substâncias/formas de vida/fauna e flora, tanto para as comunidades tradicionais, que sobrevivem das matérias-primas extraídas dos ecossistemas, quanto para as comunidades urbana e rural, as quais dependem dos *serviços ecossistêmicos de provisão e regulação* para sobreviver (Urzedo et al., 2020). Cabe ressaltar que os *serviços ecossistêmicos* são benefícios gerados pelo ecossistema natural e as suas interações no meio natural com outros elementos de um ecossistema, gerando as funções ecossistêmicas que desencadeiam uma série de *serviços ecossistêmicos* que beneficiam de forma direta ou indireta a qualidade de vida das pessoas (Costanza et al., 2021). Os *serviços ecossistêmicos de suporte* contribuem para a manutenção da produtividade e da heterogeneidade, aumentando a multifuncionalidade da paisagem da Floresta (Bellón et al., 2022), bem como constituem ambientes naturais que apoiam todo o funcionamento dos ecossistemas, refletindo em benefícios socioecológicos (Swangjang, 2022).

A literatura que trata do conceito de *serviços ecossistêmicos* define os serviços em quatro categorias: o *serviço de suporte*, que contribui diretamente na formação do solo e sua fertilidade; ciclagem de nutrientes; produção primária; e dispersão de sementes e polinização, que auxiliam na biodiversidade biológica (Mea, 2003, 2005; Stevenson et al., 2021). Os *serviços de provisão* são definidos como produtos obtidos dos ecossistemas, sendo oferecidos diretamente à sociedade, como alimentos e fibras naturais, madeira, água potável, material genético e medicinais. Além disso, o relatório da Avaliação dos Ecossistemas do Milênio em 2003/2005 define o conceito de *serviços ecossistêmicos de regulação* como serviços obtidos dos processos

ecossistêmicos, como regulação do clima (qualidade do ar e o controle da poluição), controle do ciclo hidrológico, controle biológico e regulação de danos naturais. Sequentemente, os *serviços culturais* são definidos como os benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas que contribuem para o bem-estar da sociedade, como enriquecimento espiritual, diversidade cultural de povos, oportunidades de lazer, recreação, ecoturismo e educação ambiental (Costanza et al., 2021; Mea, 2003, 2005).

Entretanto, a interferência antrópica desordenada, o processo de degradação, as alterações na dinâmica e na estrutura dos ecossistemas são ameaças para o futuro da Floresta Amazônica (Albert et al., 2023). O avanço do desmatamento na Floresta Amazônica brasileira teve, como marco inicial, a década de 1960, mas o aumento do desmatamento ocorreu na década de 1980, com acumulado de 21.050 km², com a fragmentação florestal e o uso generalizado da terra (Ruaro et al., 2022) ocasionados pela retirada da cobertura vegetal que permanece até a década atual, com acumulado de 11.568 km² (Levy et al., 2023).

Embora o desmatamento tenha sido amplamente documentado na Floresta Amazônica, a degradação também ocasiona grandes impactos na biodiversidade e no armazenamento de carbono (Silva Junior et al., 2021). Segundo Lapola et al. (2023), os principais *drivers* dos resultados da degradação da Floresta Amazônica, a partir do desmatamento, são a extração de madeira, a fragmentação de habitats, a extração dos recursos naturais minerais, os incêndios florestais e as secas. De acordo com Tavares et al. (2022), a taxa de desmatamento na Floresta Amazônica é um determinante-chave do auge da ocorrência ativa de incêndios, embora a expansão de terras agrícolas em regiões com baixa cobertura florestal tenha resultado no ápice da ocorrência de fogo acontecendo em áreas com maior cobertura florestal.

Para Silva et al. (2020), a maioria das estimativas de CO₂ está relacionada com incêndios florestais, emissões brutas da combustão durante o incêndio e, subsequentemente, mortalidade e decomposição das árvores contabilizam, no período de 30 anos, 126,1 Mg CO₂ Ha⁻¹, dos quais, 73% (92,4 Mg CO₂ Ha⁻¹) resultaram de mortalidade e de decomposição da floresta. A perda estimada de carbono por esses distúrbios de incêndios florestais varia de 0,05 a 0,20 Pg CO₂

ano⁻¹ e é comparável à perda de carbono por desmatamento, que é de 0,06 a 0,21 Pg CO₂ ano⁻¹ (Lapola et al., 2023). Entretanto, o desmatamento e a realização dos incêndios florestais para limpeza de área desmatada causam perda de biodiversidade e degradação de novas áreas florestadas, além de levar à redução de 2 a 34% na evapotranspiração da estação seca em área de floresta queimada (Numata et al., 2021). Cabe ressaltar que cerca de 85,6% do desmatamento que ocorre na Amazônia poderia ser evitado (Bourgoin et al., 2021). Mesmo com a legislação protetiva, o desmatamento no limite da Amazônia Legal continua causando perda irreversível da biodiversidade (Santos et al., 2021).

Na Amazônia Legal brasileira, o estado de Mato Grosso está localizado na borda sul e é caracterizado por estar dentro do Arco do Desmatamento, cuja fronteira agrícola avançou na mesorregião norte em direção à Floresta Amazônica e onde se encontram os maiores índices de desmatamento da Amazônia (Kuschnig et al., 2021). Os relatos dão conta de que o norte de Mato Grosso tem como pano de fundo a formação de municípios que se ergueram sob um impulso de uso da terra e exploração agropecuária de uma região considerada antes “vazia”, demográfica e economicamente, de acordo com a visão do Estado brasileiro (Fredson et al., 2023).

A rodovia Cuiabá-Santarém iniciou o desenho desse arco do desmatamento no estado, ligando a capital, Cuiabá, aos municípios de Sinop e Alta Floresta (Alves e Bampi, 2020; Kohler et al., 2021). Ambos – Sinop e Alta Floresta – iniciaram a mudança no uso da terra na década de 1970 (Farias, 2023; Siqueira-Gay, 2021). Em termos do recorte para o desenvolvimento deste estudo, foram separados os municípios de Alta Floresta e Sinop, ambos caracterizados por serem criados por empresários que compraram terras na Floresta Amazônica no norte de Mato Grosso na década de 1960 para usá-las, sendo beneficiados pelo governo na época com a principal finalidade de fomentar a produção agropecuária (Dias e Mizziara, 2022; Parsamehr et al., 2023).

É importante destacar que os pioneiros dos municípios de Alta Floresta e Sinop foram gradualmente destruindo-as, ano após ano, dando lugar lentamente a estradas, barragens, madeiras, mineradoras e ao setor agropecuário (Lourençoni et al., 2021). Além disso, os municípios citados são caracterizados no zoneamento socioeconômico ecológico do estado e pelo Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária como polo econômico de distribuição do agronegócio do estado (Kohler et al., 2021; Silva, et al., 2022). Essa porção da mesorregião do norte mato-grossense transformou

o ecossistema da floresta em área produtora e exportadora internacional da monocultura (soja, milho e algodão) e da pecuária (Pereira et al., 2020).

Nesse sentido, foi realizado um levantamento bibliográfico com o objetivo de identificar a oferta dos *serviços ecossistêmicos de suporte, provisão, regulação e cultura* na Amazônia Legal, constituindo-se também uma narrativa em escala local sobre o processo de uso e cobertura da terra nos municípios de Sinop e Alta Floresta, no período de 1990 a 2020. Assim, acredita-se que a perda dos *serviços ecossistêmicos* fornecidos pela vegetação da Floresta Amazônica está associada aos processos da expansão da atividade agropecuária, principalmente devido à mudança no uso e cobertura da terra.

Material e métodos

O trabalho está dividido em duas partes. Na primeira, foi realizada um levantamento bibliográfico sobre os *serviços ecossistêmicos* da região da Amazônia Legal, construindo-se um levantamento da oferta dos *serviços ecossistêmicos de suporte, provisão, regulação e cultura*, apontando os benefícios socioecológicos (Marconi e Lakatos, 2010; Mea, 2005). Retomou-se o debate acerca da caracterização espacial dos impactos negativos (*trade-off*) na ocupação da Amazônia Legal (Lapola et al., 2023). Sequentemente, foi constituída uma narrativa em escala local sobre o processo de uso e cobertura da terra nos municípios de Sinop e Alta Floresta, que foram perdendo seus *serviços ecossistêmicos* ao longo do processo de expansão da atividade agropecuária (Alves e Bampi, 2020; Da Cruz et al., 2022).

Área de estudo

Na década de 1970, iniciou o histórico de ocupação de ambos os municípios que estão localizados na região norte mato-grossense no arco do desmatamento (Figura 1). A Colonizadora Sinop S/A, por meio do empresário Sr. Martin Jorge Phillip, iniciou a implantação da Gleba Celeste com 214 lotes. Em 1974, o município de Sinop foi criado às margens da BR-163, Cuiabá-Santarém, facilitando o escoamento econômico, que era a retirada de madeira da Floresta (Alves e Bampi, 2020).

Na mesma década, teve início a intensa atividade seringueira no município de Alta Floresta. O empresário Ariosto da Riva adquiriu uma grande área no norte de Mato Grosso com a intenção de abrir caminhos no meio da Floresta Amazônica. Entretanto, com a febre do ouro nos anos 1980, a economia do município de Alta

Floresta se voltou para a atividade garimpeira (Kohler et al., 2021).

Caracterização dos municípios

Enquanto Alta Floresta está localizada em uma Depressão (Depressão de Alta Floresta),

Sinop situa-se no Planalto (Planalto dos Parecis). Os dois municípios estão inseridos na sub-bacia do Juruena-Teles Pires, mas Sinop ainda tem uma porção na bacia do Xingu. Mesmo estando em bacias semelhantes, há diferença tanto na composição do solo, quanto na composição fitoecológica dessas duas regiões (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização dos municípios e Alta Floresta e Sinop.

Dados	Alta Floresta – (AF/MT)	Sinop – (Sp/MT)
Território	8.955,999 km²	3.990,87 km²
Representa	0,99% do Estado.	0,44% do Estado
Sub-bacia	Juruena Teles Pires	Juruena Teles Pires 80,8%
(IBGE, 2021)		Xingú 19,2%.
Solo (dominante)	Argissolo 73,8%	Latossolo Vermelho-Amarelo 62,8%;
(IBGE, 2015)	Neossolo 16,6%	Latossolo Vermelho 32,3%
Geomorfologia	Depressão de Alta Floresta 74,4%	Planalto dos Parecis 84%
(dominante)	Serra dos Caiabis 11%	Planalto do Alto Xingu 12%
(IBGE, 2009)		
Geológica	Proterozoico e sub-província	Fanerozoico e sub-província Alto
(dominante)	Amazônia 44,04%;	Xingu;
(IBGE, 1998)	Detrito-Laterítica Cenozoica 34,3%	Dardanelos 79%, litologia Amazônia 18,3%
Região	Floresta Ombrófila Aberta 76,7%.	Floresta Estacional 87,7%
fitoecológica	Floresta Estacional, 9,3%.	Savana Arborizado 5,7%;
(IBGE, 2012)	Floresta Ombrófila Densa 7%	Floresta Ombrófila Aberta 5,5%
	Savana Arborizada 7%	Floresta Ombrófila Densa 1,5%

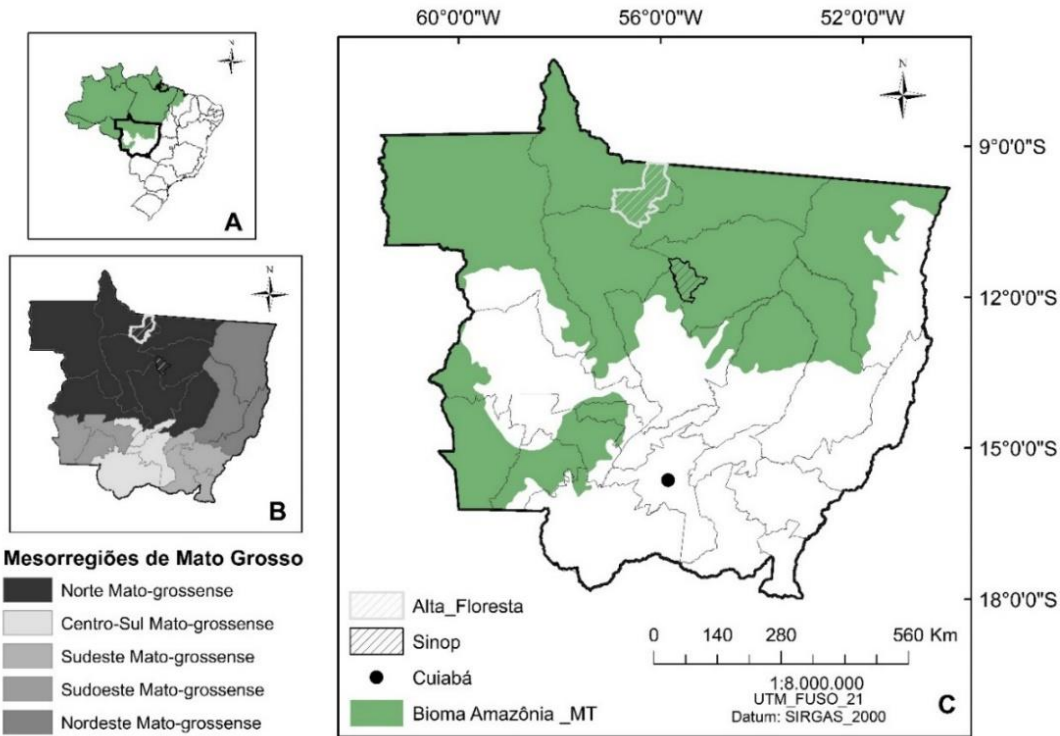


Figura 1. Localização da Área de Estudo (A) com destaque para a (B) Mesorregiões do Estado do Mato Grosso e (C) Municípios Alta Floresta e Sinop que compõem a mesorregião do norte mato-grossense. Fonte: IBGE (2020).

Desenho do estudo

Considerando a importância dos serviços que a vegetação da floresta apresenta, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os *serviços ecossistêmicos* nas seguintes bases de dados: *Web of Science*, *Scopus* e *Scielo* (Marconi e Lakatos, 2010; Silva De Sousa et al., 2021).

Para o levantamento bibliográfico, foram adotados os seguintes critérios para a inclusão de artigos: (i) periódicos científicos; (ii) pesquisa nos limites da Floresta Amazônica brasileira; (iii) levantamento dos *serviços ecossistêmicos* (SE). Foram utilizadas as seguintes palavras-chave: *serviços ecossistêmicos* E Amazônia Brasil OR *ecosystem services* AND *amazon* Brazil; *serviços ecossistêmicos* E Mato Grosso OR *Mato Grosso* AND *ecosystem services*. Foram excluídos: (i) registros em idiomas diferentes do inglês e português; (ii) pesquisa em outros países que não o Brasil; (iii) estudos realizados sobre o tema em outros estados não pertencentes à Amazônia Legal Brasileira.

Seleção e análise das publicações

Para a seleção dos artigos, a identificação foi realizada a partir dos títulos das publicações e, posteriormente, pelos resumos com os termos *serviços ecossistêmicos* na Floresta Amazônica brasileira. O recorte temporal – artigos publicados de 2000 até 2020 – justifica-se por se referir ao período pré e pós-lançamento do *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment* em 2003/2005, reconhecido como o documento que explica o termo *serviços ecossistêmicos* nas seguintes categorias: *suporte*, *provisão*, *regulação* e *culturais*.

Para os artigos selecionados, foi estabelecida uma série de critérios (autor e ano de publicação, local da pesquisa) e de conteúdos (evidência de *trade-off*, *serviços ecossistêmicos* fornecidos pela Floresta Amazônica) relevantes para responder à questão do estudo como um todo.

Mapeamento das palavras-chave

O programa *VOSViewer* foi utilizado para a elaboração do mapeamento das palavras-chave (e.g. Van Eck e Waltman, 2020). A espessura da linha de conexão entre as palavras é chamada de força de ligação, ou seja, quanto maior a espessura, maior concentração de pesquisas na área.

Análises geoespaciais

Os impactos negativos dos acumulados de desmatamento nos municípios de Sinop e Alta Floresta foram analisados durante o período de 1990 a 2020. A aplicação da abordagem do serviço ecossistêmico foi dividida em duas questões

principais: (i) escala temporal de perda de vegetação e (ii) identificação de evidências de sinergias, *trade-offs* a partir do levantamento bibliográfico (Fisher e Turner, 2009). A análise quali-quantitativa dos serviços ecossistêmicos constitui a pré-condição para a classificação das mudanças ambientais e sociais em relação ao estado real (Busch et al., 2012).

As informações geográficas permitiram comparações entre os municípios de Alta Floresta e Sinop, possibilitando a integração de estudos locais mais detalhados em um contexto geoespacial mais amplo dos municípios, sendo o segundo passo da pesquisa (Marconi e Lakatos, 2010). Assim sendo, foi possível detectar alterações em escala temporal de perda de vegetação pré-evento (antes de ocorrer alteração na vegetação) e pós-evento (depois que ocorreu a alteração) (Meneses e Almeida, 2012; Inpe, 2019).

Dados dos municípios (Produtividade agropecuária)

Para a análise da produtividade agropecuária do município para monocultura em área plantada (em hectares), e para pecuária (quantidade do rebanho) utilizou-se o banco de dados SIDRA do IBGE (plataformas digitais do governo federal), sendo possível obter tabelas relativas aos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020, referentes aos municípios selecionados (Sidra, 2022).

Monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite

Os dados de identificação do percentual da evolução da área desmatada de floresta foram obtidos na plataforma PRODES, para as décadas de 1990, 2000, 2010, e 2020 (Inpe, 2019). Foi possível quantificar a mudança no uso da terra pelo avanço do desmatamento e a vegetação remanescente de Floresta Amazônica.

Monitoramento em área de Reserva Legal e Área de Preservação Permanente.

Os arquivos vetoriais foram extraídos em formato *shapefile*, disponibilizados gratuitamente para *download* (<https://www.car.gov.br>). Foram utilizados os perímetros da área de Reserva Legal e Área de Preservação Permanente, definidos pela Lei nº 12.651/2012, para quantificar o impacto negativo (Brasil, 2021).

As propriedades foram classificadas em módulos fiscais (medida em hectare), de acordo com o Estatuto da Terra – Lei nº 6.746/1979. A área do módulo fiscal depende de cada município, variando de cinco a 110 ha. Nesse contexto, cada

módulo fiscal em Sinop equivale a 90 hectares; em Alta Floresta, 100 hectares.

Resultados e discussão

Nas bases de dados consultadas, foram identificados 85 artigos, sendo 38 na *Scopus*, 27 na *Web of Science*, e 10 na *Scielo*. Quinze trabalhos foram excluídos por duplicação, resultando em 70 para a triagem. Por conseguinte, 22 publicações foram descartadas devido à pesquisa ter sido conduzida em outros países que não o Brasil (Figura 2).

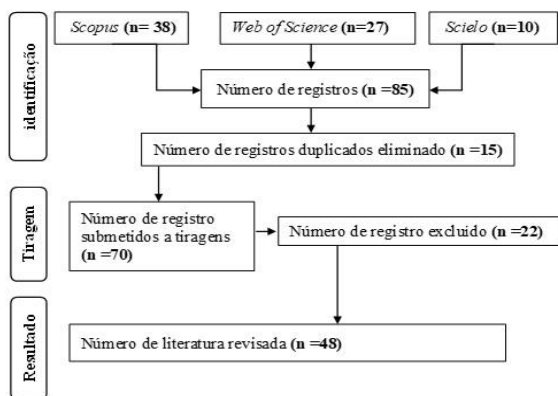


Figura 2. Fluxograma com o processo de seleção e triagem dos artigos buscados nas plataformas *Scopus*, *Web of Science*, e *Scielo* sobre evidências de impactos negativos (*trade-off*) sobre os serviços ecossistêmicos da Amazônia Legal.

O resultado do levantamento bibliográfico perfaz 48 artigos publicados, que corresponderam aos critérios de evidências de impactos negativos (*trade-off*) sobre a perda de vegetação que implica em perda da biodiversidade, perda de habitat, perda de umidade do solo, e liberação de CO₂. Os serviços ecossistêmicos apresentados nas pesquisas foram de *suporte* (27 artigos), de *suporte, regulação e provisão* (23), de *suporte e regulação* (18), de *regulação* (10) e *suporte e cultural* (7).

O maior número de artigos pertinentes a esta pesquisa foi registrado em 2018 (23%). Anos com menos publicações apresentaram pelo menos uma publicação nessa área (2000, 2001, 2003, 2005, 2008, 2011 e 2014). Observa-se que houve um crescimento do número dos estudos após a divulgação do relatório marco conceitual da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (2003) e, posteriormente, do relatório de avaliação de mudança dos serviços ecossistêmicos (2005), apresentando uma tendência crescente em 2007 (6%) e um aumento de 16% nas publicações em

2017; no ano de 2020, 11%; dados organizados na Figura 3.

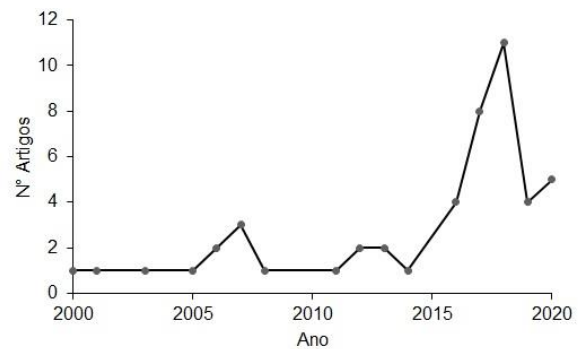


Figura 3. Dinâmica das publicações no período de estudo (2000 a 2020).

Autores como Morton et al. (2006), Chambers et al. (2007) e Fortin et al. (2020) apontaram a preocupação com as mudanças na vegetação e nos bens e serviços ecossistêmicos na Floresta Amazônica. Quando analisada a proporção de área de pesquisa, 48% das publicações envolveram os nove estados brasileiros que compõem a Amazônia Legal, e 33% foram realizadas no Mato Grosso (Tabela 2).

Tabela 2. Artigos publicados em diferentes locais da Amazônia Legal

Área de pesquisa	Número de artigos publicados	%
Amazônia Brasileira	23	48
Amazônia Mato Grosso	16	33,3
Amazônia Pará	5	10,4
Amazônia Mato Grosso e Pará	2	4,2
Amazônia Amapá	1	2,1
Sudoeste da Amazônia	1	2,1
Total	48	100

Das cento e quarenta e quatro palavras-chave que foram inscritas pelos autores, com destaque para os três principais: Le Clec'h Solen, Carvalho Ribeiro e Córdoba Diana, as que mais apareceram foram: *serviços ecossistêmicos* (força total de ligação 134) e biodiversidade (força total de ligação 126), com ambas apresentando campo semântico associado ao uso da terra. Ademais, proteção ambiental e Floresta Amazônica foram outras duas palavras-chave que se destacam, na sequência, com força total de ligação superior a 117 (Figura 4).

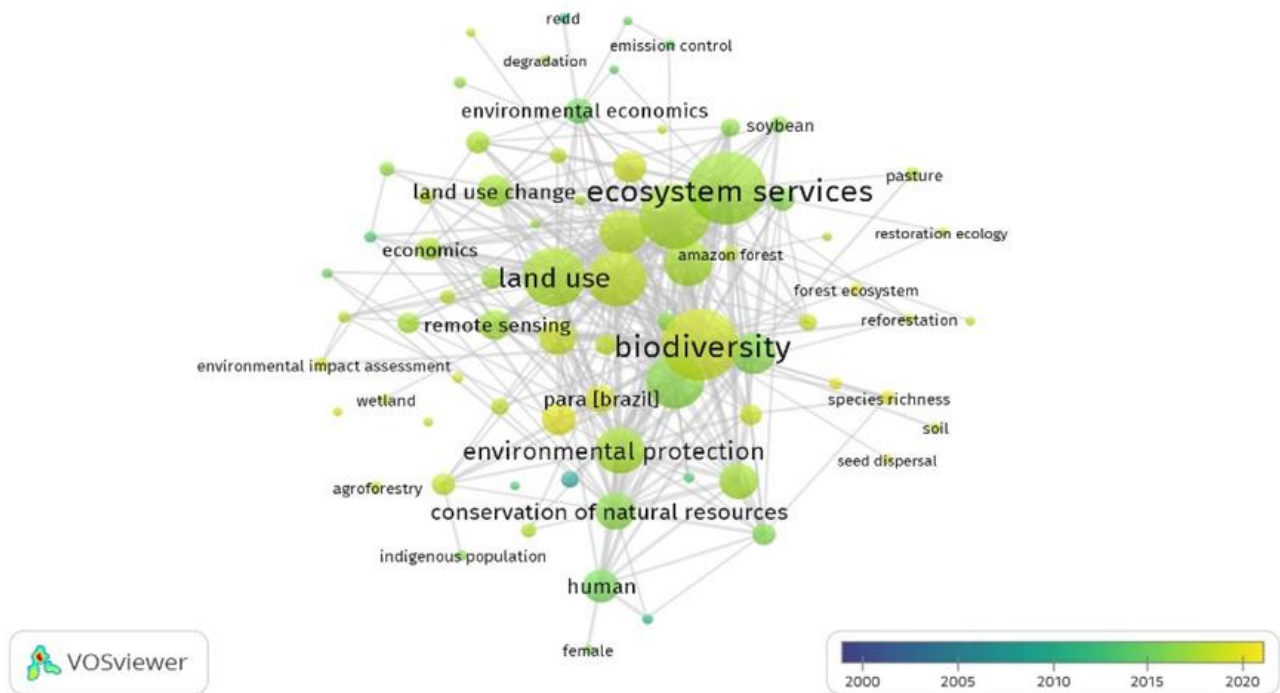


Figura 4. Palavras-chave fornecidas pelos autores dos 48 artigos incluídos na análise de literatura realizada para publicações entre 2000 e 2020.

Nas publicações selecionadas, as palavras-chave com maior ocorrência foram *serviços ecossistêmicos* seguido de biodiversidade. Ambos os vocábulos estão interligados com o funcionamento e a conservação desses serviços na Floresta Amazônica (Carvalho Ribeiro et al., 2018; Córdoba et al., 2019; Le Clec'h et al., 2018b). A maioria das pesquisas mostra uma preocupação dos autores com as mudanças no uso da terra da Floresta Amazônica em relação aos bens e serviços prestados para sociedade em escala local. Entretanto, os benefícios extraídos da floresta influenciam na sobrevivência dos ribeirinhos, com a oferta de alimentos e fibras naturais, habitat, madeira, água potável, plantas medicinais (Gollnow et al., 2018), assim como a população das áreas urbanas se beneficia da regulação do clima (qualidade do ar e o controle da poluição), do ciclo hidrológico, do controle biológico que regula as doenças e do controle e regulação de danos naturais (Biggs et al., 2019).

Além disso, o setor econômico – com a produção da monocultura, pecuária, aquicultura e indústrias – é dependente do funcionamento dos bens e serviços ecossistêmicos da floresta, como os serviços de suporte que oferta a formação do solo e sua fertilidade, ciclagem de nutrientes e a polinização que auxilia o desenvolvimento da produção agropecuária (Santos et al., 2021).

Levantamento bibliográfico – serviço ecossistêmico fornecido pelo bioma Amazônia brasileira

A análise dos 48 artigos revelou que a Floresta Amazônica fornece três classes de *serviços ecossistêmicos de suporte*, representada em quinze estudos (31,3%) em escala regional (Tabela 3). A primeira é a manutenção da biodiversidade, a diversidade biológica (incluindo genes e espécies), encontrada em ambientes naturais da Floresta. A segunda classe é a manutenção do ciclo de vida: ciclagem de nutrientes, água e fotossíntese. A terceira é a formação do solo, cujos benefícios consistem em fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes e produção primária. Entretanto, dentre os 48 artigos selecionados e estudados, observou-se que os autores (das mais diferentes instituições) afirmam que o desmatamento é um dos principais fatores para a perda dos *serviços ecossistêmicos de suporte*.

Ressalta a pesquisa de Urzedo et al. (2020) cuja categoria de *serviços de suporte* é a base para o desenvolvimento de outros *serviços ecossistêmicos*. Portanto, a expansão do desmatamento vai acarretando problemas para que haja manutenção da biodiversidade dos *serviços de suporte* da Floresta Amazônica (Stabile et al.,

2020), e sua alteração leva à perda da qualidade dos *serviços de provisão*, com a poluição do ar e contaminação da água (Kohler et al., 2021; Milheiras e Mace, 2019). Esse suporte é observado pela manutenção da floresta resultando em altas taxas fotossintéticas, fazendo parte dos ciclos do Oxigênio e Carbono e, consequentemente, formação de biomassa. Além disso, a vegetação auxilia na filtração da água e é elemento básico para a manutenção do ciclo de vida (Bellón et al., 2022; Pinillos et al., 2020).

Tabela 3. Serviços de suporte encontrado no levantamento bibliográfico

Classe	Serviços Ecosistêmicos	Autores
1º	Manutenção da biodiversidade Diversidade biológica (incluindo genes e espécies).	Fearnside (2017); Grecchi et al. (2017); Schielein; Börner (2018); Milheiras e Mace (2019)
2º	Ciclagem de nutrientes Fotossíntese Água potável	Börner e Mendoza (2007); Stickler et al. (2013); Müller; Griffiths; Hostert (2016); Alix-Garcia e Gibbs (2017); Grecchi et al. (2017); Stabile et al. (2020)
3º	Formação do solo Fertilidade do solo Ciclagem de nutrientes Produção primária	Börner e Mendoza (2007); Celentano et al. (2017); Barbosa et al. (2018); Urzedo et al. (2020)

O ecossistema natural da Floresta Amazônica é um ciclo fechado de *serviços de suporte, provisão e regulação* (Tabela 4), fornecendo nove classes de serviços, representado em treze estudos (27,1%). Segundo a literatura, a riqueza da biodiversidade está na base natural da Floresta Amazônica e o seu funcionamento, devido à pluralidade de riquezas, oferta benefícios para o bem-estar da sociedade, regulando a qualidade do clima, recursos genéticos e variedades de polinizadores, habitat, água potável, alimento, plantas medicinais. A madeira de lei (com alto valor econômico) incorpora a beleza cênica natural da Floresta.

Tabela 4. Serviços ecossistêmicos de suporte, provisão e regulação

Classe	Serviços Ecosistêmicos	Autores
Suporte Provisão Regulação		Walker e Moran (2000); Portela e Rademacher (2001); Cardille e Foley (2003); Morton et al. (2006); Arvor et al. (2012); Carvalho e Domingues (2017); Grecchi et al. (2017); Silva e Lima (2018); Alix-Garcia et al. (2018); Kalamandeen et al. (2018); Gollnow et al. (2018); Carvalho et al. (2019); Fortin et al. (2020)
	Riqueza da biodiversidade;	
	Variedades de polinizadores;	
	Recursos genéticos;	
	Regulação do clima ;	
	Plantas medicinais;	
	Madeira de lei;	
	Água potável;	
	Alimento;	
	Habitat	

Serviços ecossistêmicos nos municípios de Sinop e Alta Floresta

É importante enfatizar que os impactos na biodiversidade da Floresta alteram o clima e o fluxo d'água potável (Parsamehr et al., 2023). Entretanto, a biodiversidade modificada pela remoção da vegetação afetou o abastecimento de água potável em alguns bairros do município de Alta Floresta, MT (Alves et al., 2023) e, mais ainda, afirmam que a perda de biodiversidade ocorre em todo o limite da Amazônia Legal (Berenguer et al., 2022; Fortin et al., 2020). Por extensão, esse resultado é encontrado não somente em Alta Floresta e Sinop, MT, mas também no município de Sorriso, MT, em que o desmatamento formou fragmentos de Floresta remanescente, comprometendo o fluxo da fauna levando à perda da biodiversidade (Santos et al., 2021; Silva et al., 2022).

O funcionamento natural dos ciclos biogeoquímicos atua como sistemas integrados em quatro classes de *serviços ecossistêmicos* (ciclo da Água/ Oxigênio/ Carbono/ Nitrogênio) e são classificados na literatura como categorias agrupadas de dois *serviços de suporte e regulação* (Tabela 5), representado por 12 estudos (25%).

É importante destacar que o ecossistema natural da Floresta Amazônica funciona como um

ciclo fechado de *serviços de suporte, provisão e regulação*, na qualidade do clima, recursos genéticos, e variedades de polinizadores, habitat, água potável – serviços ecossistêmicos que são chaves cruciais para a manutenção da sociedade local (Nóbrega et al., 2020).

Tabela 5. Serviços ecossistêmicos de suporte e regulação.

Classe	Serviços Ecossistêmicos	Autores
Suporte Regulação		Portela e Rademacher (2001);
	Ciclo da Água;	Chambers et al. (2007);
	Ciclo	Fearnside (2008);
	Oxigênio;	Keys e Wang-Erlandsson (2016);
	Ciclo Carbono;	Clec'H et al. (2016);
	Ciclo	Le Clec'H et al. (2018)
	Nitrogênio;	

O funcionamento natural dos ciclos biogeoquímicos na Floresta Amazônica são elementos essenciais para a vida da sociedade regional, são ciclos que funcionam continuamente em sistemas de *feedback* de vegetação-atmosfera (Gastauer et al., 2020; Zemp et al., 2017). De forma natural, a Floresta libera oxigênio e armazena na biomassa carbono retirado da atmosfera, e parte do carbono retirado da atmosfera no processo de fotossíntese é transferido para as raízes, agregando ao ciclo de nutrientes do solo (Bendini et al., 2022).

A Floresta fornece oito classes de *serviços de regulação* (Tabela 6), representado por cinco estudos (10,5%). Os autores desses trabalhos descrevem a qualidade do ar, do clima (incluindo sequestro de carbono), dos fluxos de água (enchente/seca), purificação da água, fertilidade do solo, prevenção da erosão, controle biológico (doenças/pragas), polinização e prevenção de desastres, como um funcionamento contínuo obtido do ecossistema natural da Floresta Amazônica. Em outras pesquisas, os autores Navrud e Strand (2018) e Stabile et al. (2020) relatam que a mudança na função de suporte da Floresta aumenta as emissões de gases de efeito estufa. Além de alterar o ciclo de carbono armazenado na Floresta, consequentemente, a devastação dessa área contribui para as mudanças climáticas (Parsamehr et al., 2023).

Tabela 6. Serviços ecossistêmicos de suporte e regulação

Classe	Serviços Ecossistêmicos	Autores
Regulação	Regulação da qualidade do ar/	
	Regulação do clima	Fearnside (2005);
	Sequestro de carbono	Kirby et al. (2006);
	Fluxos de água (enchente/seca) /	Zemp et al. (2017b);
	Purificação da água	Córdoba et al. (2019);
	Fertilidade do solo	Nóbrega et al. (2020)
	Prevenção da erosão	
	Controle biológico (doenças/pragas)	
	Polinização	
	Prevenção de desastres	

Os autores de três trabalhos, Cardille e Foley, (2003) e Carvalho Ribeiro et al. (2018) e Strand et al. (2018) destacam que os *serviços ecossistêmicos de suporte* fornecidos pela Floresta Amazônica são essenciais para o desenvolvimento de quatro *serviços culturais* que contribuem para o bem-estar da sociedade, como na vida humana (Tabela 7).

Tabela 7. Serviços ecossistêmicos de suporte e cultural

Classe	Serviços Ecossistêmicos	Autores
Suporte Cultural	Extração de matérias-primas;	
	Enriquecimento espiritual;	Strand et al. (2018);
	Oportunidades de lazer;	Carvalho Ribeiro et al. (2018);
	Ecoturismo;	Cardille e Foley (2003)
	Educação ambiental	

Levantamento bibliográfico – impactos negativos (*trade-off*) nos serviços ecossistêmicos do bioma Amazônia.

Nas últimas três décadas, a degradação acelerada da Floresta Amazônica tem sido cada vez mais abordada na literatura mediante a perspectiva dos *serviços ecossistêmicos*. As evidências encontradas na análise dos 48 artigos (Tabela 8) identificaram como impactos negativos o manejo inadequado do solo, alteração no ciclo d'água e perda da biodiversidade. Os autores dos trabalhos destacam que a conversão de florestas para agricultura e pecuária, além do processo de

urbanização e industrialização e mineração ilegal, impactam negativamente os ecossistemas terrestres e aquático.

Tabela 8. Evidências de impactos negativos dos *serviços ecossistêmicos (trade-off)* encontrado no levantamento bibliográfico

Serviço Ecossistêmicos (achados na literatura)	Categoria (MEA)	Local	Referências
Exploração de madeira seletiva	<i>Suporte</i>	Amazônica MT	Grecchi et al. (2017b)
Impacto na biodiversidade, altera o clima e fluxo d'água	<i>Suporte</i>	Amazônia Legal	Schielein; Börner (2018)
Altera a beleza cênica natural, risco de extinção das espécies nativas da flora e fauna-perda de biodiversidade	<i>Suporte</i>	Amazônica MT	Stickler et al. (2013)
Aumenta as emissões de gases, altera o clico de carbono, contribui para mudanças climáticas	<i>Suporte</i>	Amazônica MT/ Pará	Alix-Garcia e Gibbs (2017)
		Amazônia Legal	Navrud e Strand (2018); Stabile et al. (2020)
		Amazônica MT	Müller e Griffiths (2016); Souza et al. (2013)
Altera ciclagem de nutrientes do solo e recursos genéticos, altera fluxo d'água potável	<i>Suporte</i>	Amazônica MT	Urzedo et al. (2020); Keys e Wang-Erlandsson (2016)
		Amazônica MT/Pará	Alix-Garcia et al. (2018)
Altera o fluxo de nutrientes do solo e estoques de carbono	<i>Suporte</i>	Amazônia Legal	Börner e Mendoza (2007)
		Amazônia Legal	Cardille e Foley (2003); Fearnside (2017)
Perda de biodiversidade	<i>Suporte</i>	Amazônica MT (Alta Floresta e Sorriso)	Santos et al. (2019)
		Amazônia Legal	Biggs et al. (2019); Zemp et al. (2017a); klemick (2011); Kirby et al. (2006); Celentano et al. (2017)
Afeta o ciclo hidrológico	<i>Regulação</i>	Amazônica Pará Sudoeste da Amazônica	Córdoba et al. (2019)
		Amazônica MT (Alta Floresta)	Lima et al. (2014)
Afeta a manutenção da biodiversidade, ciclo de água e estoques de carbono	<i>Suporte / Regulação</i>	Amazônica Pará	Nóbrega et al. (2020); Barbosa et al. (2018)
		Amazônia Legal	Le Clec'h et al. (2018b); Pinillos et al. (2020)
Altera meios de subsistência, atividades extrativistas de castanha-do-pará, borracha e turismo ecológico	<i>Suporte / Regulação</i>	Amazônia Legal	Chambers et al. (2007)
Afeta a riqueza de polinizadores (polinização); Ciclos biogeoquímicos, ciclo de carbono do solo e ciclo hidrológico	<i>Regulação / Suporte</i>	Amazônia Legal	Fearnside (2008); Strand et al. (2018)
		Amazônia Legal	Portela e Rademacher (2001) Carvalho Ribeiro et al. (2018)
		Amazônia Legal	Carvalho e Domingues (2017); Carvalho et al. (2019); Freitas et al. (2018); (2018) Kalamandeen et al. (2018)
Altera a biodiversidade, afeta o ciclo hidrológico e ciclo do carbono (fixado nas plantas), os ciclos biogeoquímicos dos nutrientes no solo	<i>Suporte/ Regulação/ Provisão</i>	Amazônia Legal	Rosa e Souza (2012); Walker; Moran (2000)
		Amazônica MT	Arvor et al. (2012); Cardille e Foley (2003); Fortin et al. (2020); Gollnow et al. (2018); Morton et al. (2006); Rosa e Souza (2012); Silva e Lima (2018)

Obs.: Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA); Mato Grosso (MT); Floresta Amazônia; Amazônia Legal; Artigos publicados entre 2000 a 2020.

O ecossistema é alterado com a mudança da cobertura da terra da Amazônia Legal, evidenciado pelos impactos negativos dos serviços ecossistêmicos (trade-off) encontrados

na literatura.

A transformação da Floresta Amazônica, na mesorregião do norte mato-grossense, iniciou na década 1970 e permanece até os dias atuais pelo

constante desmatamento para fronteiras agropecuárias que sobrepõem a Floresta, gerando impactos negativos (*trade-off*), remotamente, em toda a região. Os serviços ofertados pela Floresta nessa região são substituídos pela demanda de crescimento da produtividade de *commodities* (soja, milho, algodão e carne bovina) (Lourençoni et al., 2021; Schielein e Urzedo et al. 2020). Outras pesquisas relatam que a perda da Floresta e seus serviços naturais são de manobra de ajuste político para impulsionar a fronteira agropecuária (Ruaro et al., 2022). À medida que a redução da vegetação da Floresta aumenta, ocorre também fragmentação dos *serviços ecossistêmicos* (Fortin et al., 2020).

Em relação à classificação das situações que causam os impactos negativos dos *serviços ecossistêmicos* (*trade-off*) encontrados na literatura (Tabela 9), encontra-se a (I) Exploração madeireira seletiva; (II) Desmatamento para extração mineral; (III) Corte raso da floresta, representados em vinte e sete estudos (58%) com reflexos econômicos com maior impulso do desmatamento na floresta amazônica.

Tabela 1: Causas dos impactos negativos dos serviços ecossistêmicos

<i>Trade-off</i>	Autores
	Walker e Moran, (2000); Kirby et al. (2006); Foley et al. (2007); Chambers et al. (2007); Fearnside et al. (2009); Stickler et al. (2013); Rosa e Souza (2012); Lima et al. (2014); Lec'H et al. (2016); Müller e Griffiths (2016); Fearnside, (2005; 2017) Gibbs (2017);
(I) Exploração madeireira seletiva	Grecchi et al. (2017); Zemp et al. (2017a); (2017b); Alix-Garcia et al. (2018); Strand et al. (2018); Barbosa et al. (2018); Carvalho Ribeiro et al. (2018); Kalamandeen et al. (2018); Le Clec'H et al. (2018); Carvalho et al. (2019); Milheiras e Mace (2019); Fortin et al. (2020); Pinillos et al. (2020); Stabile et al. (2020)
(II) Desmatamento para extração mineral	
((III) Corte raso da floresta	

O desmatamento para uso do solo na atividade econômica da monocultura e na pecuária é a principal evidência de *trade-off* nos *serviços ecossistêmicos* encontrados na literatura (Tabela 10), representado em 20 estudos (42%).

Tabela 9. Impactos negativos dos serviços ecossistêmicos de forma direta

<i>Trade-off</i>	Autores
Desmatamento de forma direta	Portela e Rademacher (2001); Cardille e Foley (2003); Morton et al. (2006); Börner e Mendoza (2007); Fearnside (2008); Klemick (2011); Arvor et al. (2012); Souza et al. (2013); Keys e Wang-Erlandsson (2016); Carvalho e Domingues (2017); Celentano et al. (2017); Börner (2018); Silva e Lima (2018); Freitas et al. (2018); Gollnow et al. (2018); Biggs et al. (2019); Córdoba et al. (2019); Santos et al. (2019); Nóbrega et al. (2020); Schielein e Urzedo et al. (2020)

Análises geoespaciais – narrativa dos impactos negativos (*trade-off*) da expansão do setor agropecuário sobre a Floresta Amazônica em escala municipal em Alta Floresta e Sinop

A produção de grandes monoculturas de exportação (a soja, o milho e o algodão) fez crescer o desmatamento. Sinop aumentou 21 vezes o tamanho de área destinada para a agricultura entre 1990 e 2020. Em Alta Floresta, o espaço utilizado para monocultura reduziu quatro vezes entre os anos de 1990 e 2010; entretanto, entre os anos de 2010 e 2020, aumentou em oito vezes, sendo duas vezes maior do que em 1990 (Figura 5). Ao todo, o município de Sinop (67,20%) e Alta Floresta (4,83%), juntos, destinam, cada vez mais, as mudanças no uso da terra à produção de grãos, tendo Sinop seis vezes mais área plantada do que em Alta Floresta.

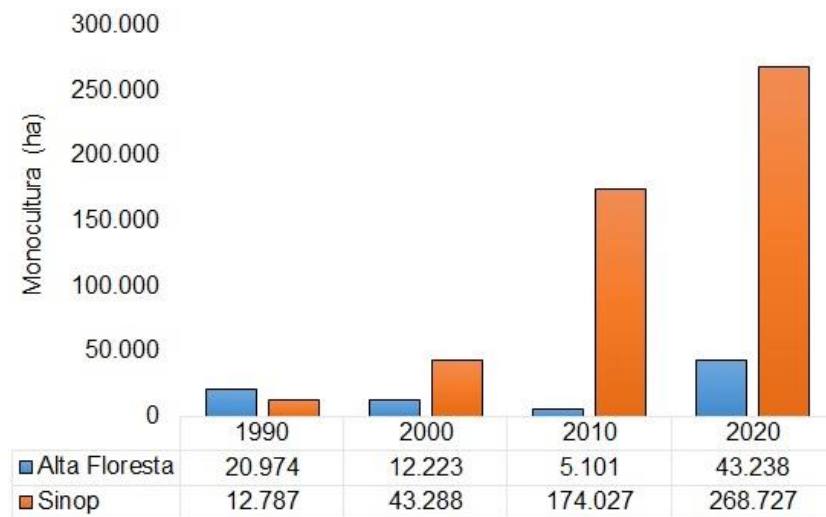


Figura 5. Dinâmica da área municipal destinada a plantação de monoculturas nos municípios de Sinop e Alta Floresta.

Fonte: Sidra (2022a).

A pecuária extensiva nessas regiões representou 848.130 cabeças de gado. O município de Sinop apresenta um quantitativo 14 vezes menor do que o de Alta Floresta. A dinâmica da atividade demonstrou que Sinop reduziu 34% o número de cabeças de gado entre 1990 e 2020. Em contrapartida, Alta Floresta apresentou um crescimento gradual (1990 a 2010), quintuplicando o número de cabeças de gado. Entre 2010 e 2020, houve uma queda de 6% na produção pecuária nesse município (Figura 6).

Somados, Sinop e Alta Floresta contam com 3,3% da produção bovina do Estado. O setor agropecuário gerou em ambos os municípios 26.031 empregos diretos entre o período de 2007 a 2019. Em contrapartida, em 2020, no sistema do Ministério do Trabalho, desse montante, no município de Sinop, 132 trabalhadores (0,46%)

continuam empregados, enquanto no município de Alta Floresta 504 permaneceram na ativa (2,2%).

Os dados relativos a Sinop e Alta Floresta revelam alto crescimento, melhoria na qualidade de vida, cujas atividades de ponta foram a extração de madeira e mineral, a pecuária extensiva e a monocultura (Araújo Boaventura, 2020). Oportunidades de empregos diretos ocorrem também em 54 municípios da região norte de Mato Grosso que iniciaram o processo de uso e cobertura da terra em 2006, onde não havia plantação de grãos, mas entre 2009 a 2016 começaram a conversão da floresta para a expansão da monocultura. Ocorre, no entanto, que ficaram mascarados, sob esses dados positivos, a destruição da biodiversidade e da floresta em pé, o avanço desenfreado da monocultura e da pecuária (Marques e Telles, 2022).

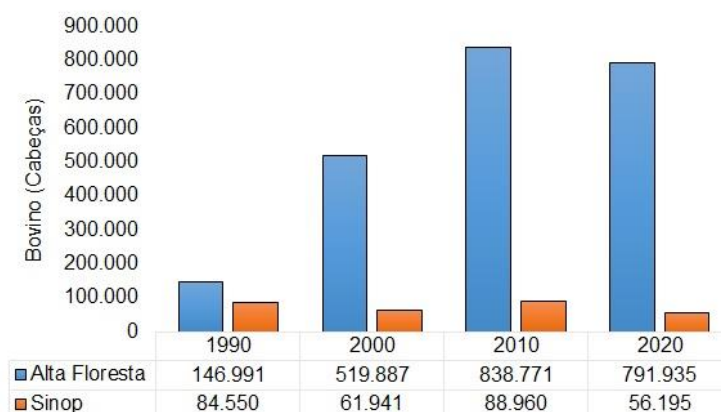


Figura 6. Dinâmica da área municipal destinada ao rebanho de cabeça Bovino nos municípios de Sinop e Alta Floresta.

Fonte: Sidra, (2022b).

Análises geoespaciais – narrativa em escala local, no processo de uso e cobertura da terra dos municípios de Sinop e Alta Floresta.

O município de Sinop tem um acumulado de desmatamento de 9,7% maior do que o de Alta Floresta. Entre 1990 e 2020, Sinop computou 66%;

Alta Floresta apresentou 56% para o mesmo período de desmatamento acumulado. A Floresta Amazônica remanescente perfaz 70,27% entre 1990 e 2020 para os dois municípios somados (Figura 7).

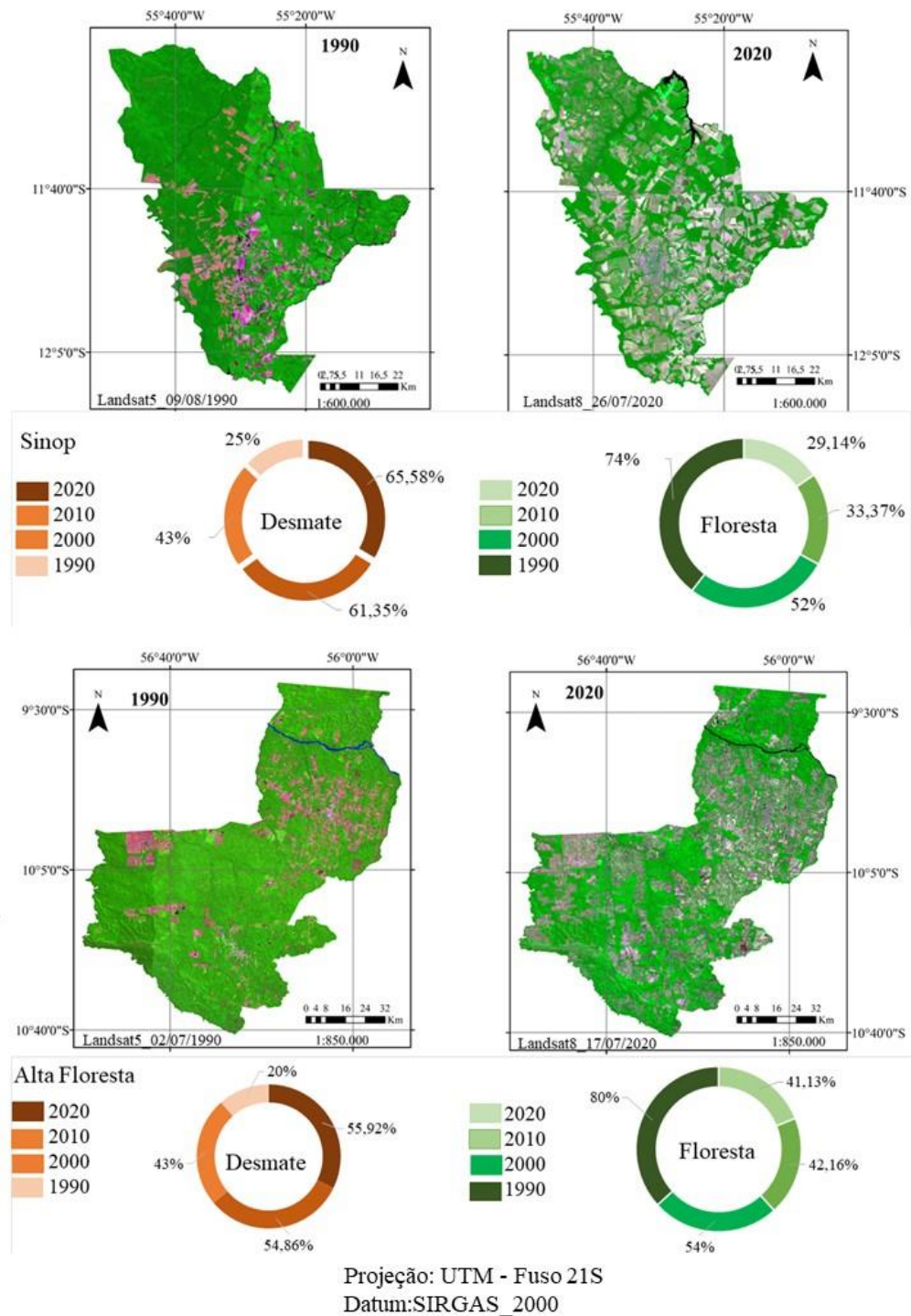


Figura 7. Acúmulo de desmatamento e remanescente de Floresta Nativa no município de Sinop e Alta Floresta. Fonte: Inpe (2021).

Sinop tem a menor área de floresta remanescente, 29%; em contrapartida, Alta Floresta possui maior área, com 41%. No cenário atual, a floresta primária está sendo reduzida e os *serviços ecossistêmicos* fornecidos pela vegetação esgotam-se lentamente (Stabile et al., 2020). Em outras palavras, pesquisas mostram que a floresta remanescente está sendo transformada em monocultura, alterando os serviços do fluxo de nutrientes do solo (Bispo et al., 2022; Fearnside, 2022).

A preocupação com a redução dos *serviços ecossistêmicos* ofertados pela Floresta Amazônica está crescendo à medida que a extensão de destruição da vegetação da floresta aumenta (Lourençoni et al., 2021). Assim sendo, a Floresta Amazônica tem sido negligenciada em virtude do constante impacto do desmatamento (Bispo et al., 2022), afetando a qualidade de vida, principalmente da sociedade que vive em áreas de fronteira agropecuárias, cujo meio de subsistência depende do funcionamento da floresta (Holzer et al., 2022).

Outros estudos de Fortin et al. (2020) e Preto et al., (2022) apontam que as várias fisionomias de vegetação possuem seus próprios ciclos biogeoquímicos que, apesar de ter similaridades entre si, divergem por causa das características ligadas à biodiversidade na composição florística, no solo, estrutura e disponibilidade de nutrientes, e hidrologia relativa à disponibilidade de água (Gastauer et al., 2020).

É importante ressaltar que a degradação dessa vegetação reduz os serviços de ciclagem de carbono do solo, fósforo, capacidade de troca de cátion, além de comprometer a porosidade dos solos, o que reduz a taxa de infiltração de água (Alves et al., 2023; Preto et al., 2022). A remoção da vegetação (pelo desmatamento para uso da terra) aumenta a perdas de solo e desaparecimento de nascentes, córrego e até pequenas bacias hidrográficas (Preto et al., 2022).

Entretanto, nas áreas desmatadas na Amazônia, por exemplo, devido ao cultivo de monoculturas ou pastagens com uma só espécie de gramínea, os impactos negativos são esperados e severos, já que os mecanismos básicos de funcionamento do ecossistema da Floresta ou outras fisionomias de vegetação natural, que favorecem efetiva proteção da superfície do solo e reciclagem de matéria orgânica e nutrientes são rompidos (Fearnside, 2022).

A evidência de que os *serviços ecossistêmicos* foram degradados pode ser observada nos dados de perda de áreas florestadas nos municípios de Sinop e Alta Floresta, onde a área vegetada foi reduzida, chegando a menos de

30% em Sinop. Assim, em todos os limites da Amazônia Legal podem ser comprovados por imagens de satélite, que fornecem dados confiáveis, detalhando o desmatamento ao longo do tempo (Fortin et al., 2020). Essa devastação dos serviços de suporte da Floresta pode ser observada de forma detalhada na exploração de madeira seletiva em outros municípios da região norte de Mato Grosso (Silva et al., 2022).

Ambos os municípios em 2020 apresentaram mais de 85% do território registrados no sistema de licenciamentos de imóveis rurais. No sistema SICAR, foram identificados 2.209 imóveis rurais cadastrados no município de Sinop, representando 1,3% no Estado. Em Alta Floresta, 3.322 imóveis rurais, perfazendo 2% no Estado. A pequena propriedade (minifúndio), menor que 10 módulos fiscais, atingiu 64% em Sinop e, em Alta Floresta, 66%. Para a média propriedade, menor que 20 módulos fiscais, Sinop apresentou 9,3% e Alta Floresta, 8,9%. A grande propriedade (latifúndio), área superior a 20 módulos fiscais, em Sinop totalizou 26%, enquanto Alta Floresta alcançou 25,4%.

Os municípios supracitados perderam reserva legal nos últimos 30 anos [Sinop (46%) e Alta Floresta (35,7%), respectivamente]. Esse montante representa uma área de 354.300 hectares de vegetação nativa dessas regiões. Ainda, mesmo com o sistema de cadastro ambiental rural em 2009, no ano de 2020, a perda de floresta em RL foi de 41% em média. Outros estudos relataram que os déficits nos municípios de Sinop e Alta Floresta foram gerados pela expansão da monocultura e pecuária (Lourençoni et al., 2021). O objetivo dessas áreas é garantir a conservação de biodiversidade, o suporte de múltiplos *serviços ecossistêmicos de provisão* como água potável, habitat; porém, são utilizados nas propriedades rurais (Kohler et al., 2021). Existe a exigência de reserva legal de 80% da propriedade privada, para imóvel que está localizado na Floresta Amazônica, como condição substantiva para proteção dos *serviços ecossistêmicos de suportes* (Bourgoin et al., 2021).

A região Centro-Oeste do Brasil – compreendendo Mato Grosso e mais três unidades da federação (Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal) – também têm uma ocorrência considerável de déficits de reserva legal, cerca de 40% do nacional (Tisler et al., 2022). Trinta e dois municípios do estado do Pará (em propriedades privadas) igualmente apresentaram diminuição da Reserva Legal (17% desse Estado) (Nunes et al., 2016; Moffette et al., 2021). Assim, o uso da RL como espaço produtor não se trata de um problema endêmico (Stabile et al., 2020).

Os desmatamentos no meio rural levaram a práticas inadequadas dos recursos naturais, derrubando a mata nativa, desconfigurando os solos, poluindo as águas, alterando/suprimindo a biodiversidade, entre outras agressões (Fearnside, 2022). Não estão em disputa somente as formas distintas de apropriação dos territórios, também os benefícios fornecidos pelos bens e *serviços ecossistêmicos*, assim como a manutenção do suporte da Floresta (Gao et al., 2021; Kohler et al., 2021). A degradação dos *serviços ecossistêmicos* agrava a pobreza para a comunidade de pequenas áreas rurais, que sobrevive da agricultura de subsistência, pois as suas atividades estão ligadas com a prestação dos *serviços ecossistêmicos* da Floresta (Lapola et al., 2023; Perozo e Zuchi Da Conceição, 2022).

Conclusão

A Floresta Amazônica (em escala regional) fornece diversos bens e serviços *ecossistêmicos*, que beneficiam as comunidades tradicionais, urbana e rural na sua sobrevivência. Destacamos os serviços *ecossistêmicos*, fornecidos direta e indiretamente à sociedade, como os diferentes tipos de habitats, alimentos, recursos hídricos, regulação do clima, umidade atmosférica local, além da diversidade biológica de genes e espécies de fauna e flora que prestam serviços voluntário para a sociedade local.

Mas é importante destacar que na Amazônia Legal brasileira ocorre uma disputa no que tange ao uso da terra, ocasionando permanente conflito devido à exploração da natureza pela crescente expansão da fronteira agropecuária. Os principais “drivers” que impactam negativamente os ecossistemas terrestres nos limites da Amazônia Legal são o processo de desmatamento, retirada de madeira, incêndios florestais, urbanização, agropecuária, industrialização e mineração.

A produção de grandes monoculturas de exportação (a soja, o milho e o algodão) fez crescer o desmatamento sobre a floresta, transformando a área de vegetação nativa em ambos os municípios. Alta Floresta será uma Sinop no futuro próximo, com projeção de crescimento no setor da agricultura mecanizada.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento – 001, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado de Mato Grosso.

Referências

- Araújo, F. A. O. M., Boaventura, D. M. R., 2020. Municípios do agronegócio no estado de Mato Grosso: Efeitos e defeitos da atividade da moderna municipalities. *Revista Geográfica Acadêmica* 2, 100-122.
- Albert, J. S., Carnaval, A. C., Flantua, S. G. A., Lohmann, L. G., Ribas, C. C., Riff, D., Carrillo, J. D., Fan, Y., Figueiredo, J. J. P., Guayasamin, J. M., Hoorn, C., DE Melo, G. H., Nascimento, N., Quesada, C. A., Ulloa, C. U., Val, P., Arieira, J., Encalada, A. C., Nobre, C. A., 2023. Human impacts outpace natural processes in the Amazon. *Science* 6630, 1-3.
- Almeida-Maués, P. C. R., Bueno, A. S., Palmeirim, A. F., Peres, C. A., Mendes-Oliveira, A. C., 2022. Assessing assemblage-wide mammal responses to different types of habitat modification in Amazonian forests. *Scientific Reports* 1797, 1-20.
- Alix-Garcia, J., Gibbs, H. K., 2017. Forest conservation effects of Brazil’s zero deforestation cattle agreements undermined by leakage. *Global Environmental Change* 1, 201-217.
- Alix-Garcia, J., Rausch, L. L., L’Roe, J., Gibbs, H. K., Munger, J., 2018. Avoided Deforestation Linked to Environmental Registration of Properties in the Brazilian Amazon. *Conservation Letters* 1 p.1–8.
- Alves, M. A. B., DE Souza, A. P., DE Almeida, F. T., Hoshide, A. K., Araújo, H. B., DA Silva, A. F., DE Carvalho, D. F., Rusu, T., Aurélio, M., Alves, B., Souza, A. P., Almeida, F. T., Hoshide, A. K., Borges Araújo, H., Silva, A. F., Carvalho, D. F., 2023. Effects of Land Use and Cropping on Soil Erosion in Agricultural Frontier Areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, Using a Rainfall Simulator Experiment. *Sustainability* 4954 p. 1-19.
- Alves, P. A. S. S., Bampi, A. C., 2020. Gênese e desenvolvimento da cidade de Sinop e a relação com as atividades econômicas. *Revista Equador* 20189, 230–245.
- Arvor, D., Meirelles, M., Dubreuil, V., Bégué, A., Shimabukuro, Y. E., 2012. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. *Applied Geography* 2, 702-713.
- Barbosa, S. G., Spletozer, A. G., Roque, M. P. B., Neto, J. A. F., Dias, H. C. T., Ramos, M. P., Bonilla, M. A. C., Ribeiro, W. S., Cruz, R. A., Zanuncio, J. C., 2018. Geotechnology in the analysis of forest fragments in northern Mato Grosso, Brazil. *Scientific Reports* 1, 1-7.

- Brancalion, P. H. S., Garcia, L. C., Loyola, R., Rodrigues, R. R., Pillar, V. D., Lewinsohn, T. M., 2016. Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. *Natureza & Conservação* 1, p.1-16.
- BRASIL, 1981. Lei nº 6.938, de 31 de agosto.
- BRASIL, 1965. Lei n. 4.771, de 15 de setembro.
- BRASIL, 2012. Lei n. 12.651, de 25 de maio.
- Bellón, B. A. W., Henry, D., Renaud, P. C., Roque, F. O., Santos, C. C., Melo, I., Arvor, D., DE VOS, A., 2022. Landscape drivers of mammal habitat use and richness in a protected area and its surrounding agricultural lands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 10798915, 1-13.
- Bendini, H. N., Fonseca, L. M. G., Matosak, B. M., Mariano, R. F., Haidar, R. F., Valeriano, D. M., 2022. Evaluating the separability between dry tropical forests and savanna woodlands in the Brazilian savanna using landsat dense image time series and artificial intelligence. em: international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences - isprs archives. *Anais International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* 1, 841-847.
- Berenguer, E., Armenteras, D., Alencar, A., Almeida, C., Aragão, L., Barlow, J., Bilbao, B., Bran-Do, P., Bynoe, P., Fearnside, P., Finer, M., Flores, B. M., Jenkins, C. N., Silva Junior, C. H. L., Lees, A. C., Smith, C. C., Souza, C., García-Villacorta, R., Reitor, U., David, J., Lima, F., 2021. Science Panel for the Amazon Drivers and Ecological Impacts of Deforestation and Forest Degradation. Em: Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas 1, 1-87.
- Bispo, L. B., Silva, S. A. L., Garcia, M. L., Watzlawick, L. F., Mazon, J. A., Bispo, L. B., Silva, S. A. L., Garcia, M. L., Watzlawick, L. F., Mazon, J. A., 2022. Florística e estrutura de uma floresta ombrófila aberta submontana. Conservação e biodiversidade amazônica: potencialidade e incertezas. *Sciences* 1, 108-124.
- Biggs, T. W., Santiago, T. M. O., Sills, E., Caviglia-Harris, J., 2019. The Brazilian Forest Code and riparian preservation areas: spatiotemporal analysis and implications for hydrological ecosystem services. *Regional Environmental Change* 8, 2381-2394.
- Börner, J., Mendoza, A., Vosti, S. A., 2007. Ecosystem services, agriculture, and rural poverty in the Eastern Brazilian Amazon: Interrelationships and policy prescriptions. *Ecological Economics*, 1, 356-373.
- Bourgoin, C., Betbeder, J., LE Roux, R., Gond, V., Oszwald, J., Arvor, D., Baudry, J., Boussard, H., LE Clech, S., Mazzei, L., Dessard, H., Läderach, P., Reymondin, L., Blanc, L., 2021. Looking beyond forest cover: an analysis of landscape-scale predictors of forest degradation in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters* 114045, 1-15.
- Bousfield, C. G., Massam, M. R., Acosta, I. A., Peres, C. A., Edwards, D. P., 2021. Land-sharing logging is more profitable than land sparing in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters* 11, 1-20.
- Brück, M., Abson, D. J., Fischer, J., Schultner, J., 2022. Broadening the scope of ecosystem services research: Disaggregation as a powerful concept for sustainable natural resource management. *Ecosystem Services* 1, 1-11.
- Busch, M., La Notte, A., Laporte, V., Erhard, M., 2012. Potentials of quantitative and qualitative approaches to assessing ecosystem services. *Ecological Indicators* 1, 89-103.
- Cardille, J. A., Foley, J. A., 2003. Agricultural land-use change in Brazilian Amazônia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. *Remote Sensing of Environment* 1, 551-562.
- Carvalho Ribeiro, S. M., Soares Filho, B., Costa, W. L., Bachi, L., Oliveira, A. R., Bilotta, P., Saadi, A., Lopes, E., O'Riordan, T., Lôbo Pennacchio, H., Queiroz, L., Hecht, S., Rajão, R., Oliveira, U., Cioce Sampaio, C., 2018. Can multifunctional livelihoods including recreational ecosystem services (RES) and non timber forest products (NTFP) maintain biodiverse forests in the Brazilian Amazon? *Ecosystem Services* 31, 517-526.
- Carvalho, T. S., Domingues, E. P., Horridge, J. M., 2017. Controlling deforestation in the Brazilian Amazon: Regional economic impacts and land-use change. *Land Use Policy* 1, 327-341.
- Carvalho, W. D., Mustin, K., Hilário, R. R., Vasconcelos, I. M., Eilers, V., Fearnside, P. M., 2019 Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. *Perspectives in Ecology and Conservation* 3, 122-130.
- Celentano, D., Rousseau, G. X., Engel, V. L., Zelarayán, M., Oliveira, E. C., Araujo, A. C. M., De Moura, E. G., 2017. Degradation of Riparian Forest Affects Soil Properties and Ecosystem Services Provision in Eastern Amazon of Brazil. *Land Degradation and Development* 1, 482-493.
- Chambers, J. Q., Asner, G. P., Morton, D. C., Anderson, L. O., Saatchi, S. S., Espírito-Santo,

- F. D. B., Palace, M., Souza, C., 2017. Regional ecosystem structure and function: ecological insights from remote sensing of tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution* 1, 414–423.
- Clec'h, S. Le., Oszwald, J., Decaens, T., Desjardins, T., Dufour, S., Grimaldi, M., Jegou, N., Lavelle, P., 2016. Mapping multiple ecosystem services indicators: Toward an objective-oriented approach. *Ecological Indicators* 1, 508–521.
- Cirne, M. B., Fernandes, I. M. M., 2020. Desnaturando o licenciamento ambiental: a inconstitucionalidade dos prazos previstos no projeto de lei n. 654/2015. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental* 1, 178–189.
- Costanza, R., Atkins, P. W. B., Hernandez-Blanco, M., Kubiszewski, I., 2021. Common asset trusts to effectively steward natural capital and ecosystem services at multiple scales, *Journal of Environmental Management* 111801, 1-8.
- Córdoba, D., Juen, L., Selfa, T., Peredo, A. M., Montag, L. F. A., Sombra, D., Santos, M. P. D., 2019. Understanding local perceptions of the impacts of large-scale oil palm plantations on ecosystem services in the Brazilian Amazon. *Forest Policy and Economics* 8, 1-21.
- Da Cruz, D. C., Ferreira, G. C., Ribeiro, S. S., Schwartz, G., 2022. Monteiro, A. Priority areas for restoration in permanent preservation areas of rural properties in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 8, 1-14.
- Dias, D. O., Miziera, F., 2022. O governo de Getúlio Vargas e a política de expansão de fronteiras no Brasil Central (1930-1945). *Research, Society and Development* 6, 1-16.
- Ellwanger, J. H., Kulmann-Leal, B., Kaminski, V. L., Valverde-Villegas, J. M., Da Veiga, A. B. G., Spilki, F. R., Fearnside, P. M., Caesar, L., Giatti, L. L., Wallau, G. L., Almeida, S. E. M., Borba, M. R., Da Hora, V. P., Chies, J. A. B., 2020 Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 1, 1-20.
- Eguiguren, P., Fischer, R., Günter, S., 2019. Degradation of Ecosystem Services and Deforestation in Landscapes With and Without Incentive-Based Forest Conservation in the Ecuadorian Amazon. *Forests* 1, 1-26.
- Farias, L. F., 2023. Ditadura Civil Militar e Contrarreforma Agrária em Mato Grosso: Luta pela terra em meio ao avanço da fronteira amazônica. *Outros Tempos: Pesquisa em Foco – História* 35, 277–304.
- Ferrante, L., Fearnside, P. M., 2022. Mining and Brazil's Indigenous peoples. *Science* 6578, 276-279.
- Fearnside, P., 2017. Deforestation of the Brazilian Amazon. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science* 1, 1-50.
- Fearnside, P. M. Amazon Forest Maintenance as a Source of Environmental Services. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* 1, 1-20.
- Fredson, B. A. S., Castro, M., Santos Y., 2023. A gestão do território no Amazonas: O Estado e as centralidades territory management in amazonas: the state and centralities. *Revista Tocantinense de Geografia* 2317, 1–19.
- Fisher, B., Turner, R. K., Morling, P., 2009 Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 1, 1–19.
- Foley, J. A., Asner, G. P., Costa, M. H., Coe, M. T.; Defries, R.; Gibbs, H. K.; Howard, E. A.; Olson, S.; Patz, J.; Ramankutty, N.; Snyder, P., 2009. Amazonia revealed: Forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1, 25–32.
- Fortin, J. A., Cardille, J. A., Perez, E., 2020. Multi-sensor detection of forest-cover change across 45 years in Mato Grosso, Brazil. *Remote Sensing of Environment* 111266, 1-20.
- Freitas, F. L. M., Sparovek, G., Berndes, G., Persson, U. M., Englund, O., Barretto, A., Mörtberg, U., 2018. Potential increase of legal deforestation in Brazilian Amazon after Forest Act revision. *Nature Sustainability* 11, 665–670.
- Gao, L., Ebtehaj, A., Chaubell, M. J., Sadeghi, M., Li, X., Wigneron, J. P., 2021. Reappraisal of SMAP inversion algorithms for soil moisture and vegetation optical depth. *Remote Sensing of Environment* 264, 1-20.
- Gastauer, M., Cavalcante, R. B. L., Caldeira, C. F., Nunes, S. S., 2020. Structural Hurdles to Large-Scale Forest Restoration in the Brazilian Amazon. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8, 1-21.
- Gollnow, F., Hissa, L. B. V., Rufin, P., Lakes, T., 2018. Property-level direct and indirect deforestation for soybean production in the Amazon region of Mato Grosso, Brazil. *Land Use Policy*, 78, 377–385.
- Grecchi, R. C., Beuchle, R., Shimabukuro, Y. E., Aragão, L. E. O. C., Arai, E., Simonetti, D., Achard, F., 2017. An integrated remote sensing and GIS approach for monitoring areas affected by selective logging: A case study in northern Mato Grosso, Brazilian Amazon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 61, 70–80.
- Holzer, J. M., Hobbs, I., Baird, J., Hickey, G., 2022. How is the ecosystem services concept

- used as a tool to foster collaborative ecosystem governance? A systematic map protocol. *Environmental Evidence* 11, 1–8.
- IBGE, 1998. Manual técnico de geologia. 1 ed. Rio de Janeiro.
- IBGE, 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. 2 ed. Rio de Janeiro.
- IBGE, 2015. Manual técnico de pedologia. 3 ed. Rio de Janeiro.
- IBGE, 2009. Manual técnico de geomorfologia. 2 ed. Rio de Janeiro.
- INPE, 2019. Metodologia Utilizada nos Projetos PRODES e DETER. 1 ed. São Paulo.
- INPE, 2021. Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Disponível: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso: 20 set. 2021.
- Kalamandeen, M., Gloor, E., Mitchard, E., Quincey, D., Ziv, G.; Spracklen, D., Spracklen, B., Adami, M., Aragão, L. E. O. C., Galbraith, D., 2018. Pervasive Rise of Small-scale Deforestation in Amazonia. *Scientific Reports*, 8, 1–10.
- Keys, P. W., Wang-Erlandsson, L., Gordon, L. J., 2016. Revealing invisible Water: Moisture recycling as an ecosystem service. *PLoS ONE*, 11, 1–16.
- Kirby, K. R., Laurance, W. F., Albernaz, A. K., Schroth, G., Fearnside, P. M., Bergen, S., Venticinque, E. M., Da Costa, C., 2006. The future of deforestation in the Brazilian Amazon. *Futures*, 38, 432–453.
- Klemick, H., 2011. Shifting cultivation, forest fallow, and externalities in ecosystem services: Evidence from the Eastern Amazon. *Journal of Environmental Economics and Management* 61 1–22.
- Knoke, T., Paul, C., Rammig, A., Gosling, E., Hildebrandt, P., Härtl, F., Peters, T., Richter, M., Diertl, K. H., Castro, L. M., Calvas, B., Ochoa, S., Valle-Carrión, L. A., Hamer, U., Tischer, A., Potthast, K., Windhorst, D., Homeier, J., Wilcke, W., Velescu, A., Gerique, A., Pohle, P., Adams, J., Breuer, L., Mosandl, R., Beck, E., Weber, M., Stimm, B., Silva, B., Verburg, P. H., Bendix, J., 2020. Accounting for multiple ecosystem services in a simulation of land-use decisions: Does it reduce tropical deforestation?. *Global Change Biology* 1, 1–18.
- Kohler, M. R., Bampi, A. C., Silva, C. A. F., Arantes, A., Gaspar, W. J., 2021. O desmatamento da Amazônia brasileira sob o prisma da pecuária: a degradação dos recursos hídricos no contexto da região norte de Mato Grosso. *Research, Society and Development* 10, 1–24.
- Kohler, M. R., Bampi, A. C., Castrillon, I., Lima, T. E., 2021. Desmatamento e degradação das microbacias hidrográficas de captação ao abastecimento urbano: a produção do déficit hídrico na cidade de Alta Floresta, MT. *Ciência Geográfica* 25, 1–24.
- Kuschnig, N., Cuaresma, J. C., Krisztin, T., Giljum, S., 2021. Spatial spillover effects from agriculture drive deforestation in Mato Grosso, Brazil. *Scientific Reports* 11, 1–9.
- Lai, S. L., Chen, D. N., 2020. A research on the relationship between environmental sustainability management and human development. *Sustainability (Switzerland)* 12, 1–20.
- Lapola, D. M., Pinho, P., Barlow, J., Aragão, L. E. O. C., Berenguer, E., Carmenta, R., Liddy, H. M., Seixas, H., Silva, C. V. J., Silva-Junior, C. H. L., Alencar, A. A. C., Anderson, L. O., Armenteras, D. P., Brovkin, V., Calders, K., Chambers, J., Chini, L., Costa, M. H., Faria, B. L., Fearnside, P. M., Ferreira, J., Gatti, L., Hugo Gutierrez-Velez, V., Han, Z., Hibbard, K., Koven, C., Lawrence, P., Pongratz, J., Portela, B. T. T., Rounsevell, M., Ruane, A. C., Schaldach, R., Da Silva, S. S., Von Randow, C., Walker, W. S., 2023. The drivers and impacts of Amazon Forest degradation Extended summary. *Science* 379, 1–32.
- Le Clec'h, S., Jégou, N., Decaens, T., Dufour, S., Grimaldi, M., Oszwald, J., 2018.a. From Field Data to Ecosystem Services Maps: Using Regressions for the Case of Deforested Areas Within the Amazon. *Ecosystems* 21, 216–236.
- Le Clec'h, S., Sloan, S., Gond, V., Cornu, G., Decaens, T., Dufour, S., Grimaldi, M., Oszwald, J., 2018. Mapping ecosystem services at the regional scale: the validity of an upscaling approach. *International Journal of Geographical Information Science* 32, 1593–1610.
- Levy, S. A.; Cammelli, F.; Munger, J.; Gibbs, H. K.; Garrett, R. D., 2023. Deforestation in the Brazilian Amazon could be halved by scaling up the implementation of zero-deforestation cattle commitments. *Global Environmental Change* 80, 1–20.
- Lima, L. S., Coe, M. T., Soares Filho, B. S., Cuadra, S. V., Dias, L. C. P., Costa, M. H., Lima, L. S., Rodrigues, H. O., 2014. Feedbacks between deforestation, climate, and hydrology in the Southwestern Amazon: Implications for the provision of ecosystem services. *Landscape Ecology* 29, 261–274.
- Lourençoni, T., Da Silva Junior, C. A., Lima, M., Teodoro, P. E., Pelissari, T. D., Dos Santos, R. G., Teodoro, L. P. R., Luz, I. M., Rossi, F. S., 2021. Advance of soy commodity in the

- southern Amazonia with deforestation via PRODES and Imazon Geo: a moratorium-based approach. *Scientific Reports* 11, 1-15.
- Londres, M., Schmink, M., Börner, J., Duchelle, A. E., Frey, G. P., 2023. Multidimensional forests: Complexity of forest-based values and livelihoods across Amazonian socio-cultural and geopolitical contexts. *World Development* 165, 1-15.
- Maeda, E. E., Abera, T. A., Siljander, M., Aragão, L. E. O. C., De Moura, Y. M., Heiskanen, J., 2021. Large-scale commodity agriculture exacerbates the climatic impacts of Amazonian deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 7, 1-20.
- Marques, F. C., Telles, T. S., 2022. Os efeitos espaciais são fatores determinantes dos preços das terras agrícolas no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 61, 1-20.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment, 2003. *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Washington. Disponível: <http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>. Acesso: 20 out. 2020.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. Millennium ed. Washington. Disponível: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. Acesso: 20 out. 2020.
- Meneses, P. R.; Almeida, T., 2012. *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*, 1 ed. Brasília.
- Milheiras, S. G., Mace, G. M., 2019. Assessing ecosystem service provision in a tropical region with high forest cover: Spatial overlap and the impact of land use change in Amapá Brazil. *Ecological Indicators* 99, 1-21.
- Morton, D. C., Defries, R. S., Shimabukuro, Y. E., Anderson, L. O., Arai, E., Espírito-Santo, F.D. B., Freitas, R., Morissette, J., 2006. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103, 14637–14641.
- Moffette, F., Skidmore, M., Gibbs, H. K., 2021. Environmental policies that shape productivity: Evidence from cattle ranching in the Amazon. *Journal of Environmental Economics and Management* 109, 1-21.
- Müller, H., Griffiths, P., Hostert, P., 2016. Long-term deforestation dynamics in the Brazilian Amazon—Uncovering historic frontier development along the Cuiabá–Santarém highway. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 44, 1-21.
- Navrud, S., Strand, J., 2018. Valuing Global Ecosystem Services: What Do European Experts Say? Applying the Delphi Method to Contingent Valuation of the Amazon Rainforest. *Environmental and Resource Economics* 70, 249–269.
- Nerfa, L., Rhemtulla, J. M., Zerriffi, H., 2020. Forest dependence is more than forest income: Development of a new index of forest product collection and livelihood resources. *World Development* 125, 1–13.
- Nóbrega, R. L. B., Ziembowicz, T., Torres, G. N., Guzha, A. C., Amorim, R. S. S., Cardoso, D., Johnson, M. S., Santos, T. G., Couto, E., Gerold, G., 2020. Ecosystem services of a functionally diverse riparian zone in the Amazon–Cerrado agricultural frontier. *Global Ecology and Conservation* 21, 819–834.
- Pinillos, D., Bianchi, F. J. J. A., Pocard-Chapuis, R., Corbeels, M., Tittonell, P., Schulte, R. P. O., 2020. Understanding Landscape Multifunctionality in a Post-forest Frontier: Supply and Demand of Ecosystem Services in Eastern Amazonia. *Frontiers in Environmental Science* 7, 1–16.
- Pinheiro, J. A., Bampi, A. C., Silva, C. A. F., 2022. O projeto de assentamento conjunto Terranova I na borda meridional da Amazônia Mato-Grossense: efeitos territoriais da ocupação. *Inter espaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade* 5, 1–27.
- Palacios-Agundez, I., Rodríguez-Loinaz, G., Hagemann, N., Sylla, M., Spyra, M., 2022. Teaching the ecosystem service concept: experience from academia. *Ecology and Society* 27, 1–14.
- Parsamehr, K., Gholamalifard, M., Kooch, Y., Azadi, H., Scheffran, J., 2023. Impact of Land Cover Changes on Reducing Greenhouse Emissions: Site Selection, Baseline Modeling, and Strategic Environmental Assessment of REDD+ Projects. *Land Degradation & Development* 129, 1–16.
- Perozo, D., Zuchi Da Conceição, P. H., 2022. Is Deforestation a Synonym for Development? A Study Based on Principal Component Analysis (Pca) in Mato Grosso, Brazil. *SSRN Electronic Journal* 10, 1-20.
- Pereira, E. J. A. L., De Santana Ribeiro, L. C., Da Silva Freitas, L. F., De Barros Pereira, H. B., 2020. Brazilian policy and agribusiness damage the Amazon rainforest. *Land Use Policy* 92, 1-6.
- Preto, M. F., Garcia, A. S., Nakai, É. S., Casarin, L. P., Vilela, V. M. De F. N., Ballester, M. V.

- R., 2022. The role of environmental legislation and land use patterns on riparian deforestation dynamics in an Amazonian agricultural frontier (MT, Brazil). *Land Use Policy* 118, 1-13.
- Portela, R., Rademacher, I., 2001. A dynamic model of patterns of deforestation and their effect on the ability of the Brazilian Amazonia to provide ecosystem services. *Ecological Modelling* 143, 115–146.
- Reader, M. O., Eppinga, M. B., De Boer, H. J., Damm, A., Petchey, O. L., Santos, M. J., 2022. The relationship between ecosystem services and human modification displays decoupling across global delta systems. *Communications Earth & Environment* 3, 1–13.
- Rosa, I. M. D., Souza, C., Ewers, R. M., 2012. Changes in Size of Deforested Patches in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology* 26, 932–937.
- Ruaro, R., Alves, G. H. Z., Tonella, L., Ferrante, L., Fearnside, P. M., 2022. Loosening of environmental licensing threatens Brazilian biodiversity and sustainability. *Journal of the Geographical Society of Berlin* 153, 1-20.
- Santos, A. M., Silva, C. F. A., Almeida Junior, P. M., Rudke, A. P., Melo, S. N. D., 2021. Deforestation drivers in the Brazilian Amazon: assessing new spatial predictors. *Journal of Environmental Management* 294, 20-22.
- Santos, R. C., Lima, M., Silva Junior, C. A., Battistola, L. D., 2019. Disordered conversion of vegetation committees connectivity between forest fragments in the Brazilian Legal Amazon. *Applied Geography* 111, 1-22.
- Strand, J., Soares-Filho, B., Costa, M. H., Oliveira, U., Ribeiro, S. C., Pires, G. F., Oliveira, A., Rajão, R., May, P., Van Der Hoff, R., Siikamäki, J., Da Motta, R. S., Toman, M., 2018. Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon Forest's Ecosystem Services. *Nature Sustainability*, 1, 1-18.
- Schielein, J., Börner, J., 2018. Recent transformations of land-use and land-cover dynamics across different deforestation frontiers in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy* 76, 1-20.
- Stevenson, H., Auld, G., Allan, J. I., Elliott, L., Meadowcroft, J., 2021. The practical fit of concepts: Ecosystem services and the value of nature. *Global Environmental Politics* 21, 3–22.
- SIDRA. Sistema de Recuperação Automática, 2022. Produção Agropecuário Municipal - PAM - 1985-2020. Disponível: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>. Acesso: 20 jan. 2022.
- SIDRA. Sistema de Recuperação Automática, 2022. Área plantada (Hectares /1990/2000/2010/2020). Disponível: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>. Acesso: 20 jan. 2022.
- SIDRA. Sistema de Recuperação Automática, 2022. Efetivo dos rebanhos municípios. Disponível: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado>. Acesso: 20 jan. 2022.
- Silva, C. A., Lima, M., 2018. Soy Moratorium in Mato Grosso: Deforestation undermines the agreement. *Land Use Policy* 71, 1-21.
- Siqueira-Gay, J., Sánchez, L. E., 2021. The outbreak of illegal gold mining in the Brazilian Amazon boosts deforestation. *Regional Environmental Change* 21, 1-5.
- Silva, R. V., Souza, C. A., Ferreira, E., 2022. As transformações sociais, econômicas e ambientais no município de Sinop, Mato Grosso. *Research, Society and Development* 11, 1-20.
- Swangjang, K., 2022. Linkage of Sustainability to Environmental Impact Assessment Using the Concept of Ecosystem Services: Lessons from Thailand. *Sustainability (Switzerland)* 14, 1–18.
- Souza, C. M., Siqueira, J. V., Sales, M. H., Fonseca, A. V., Ribeiro, J. G., Numata, I., Cochrane, M. A., Barber, C. P., Roberts, D. A., Barlow, J., 2013. Ten-year landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing* 5, 5493–5513.
- Stabile, M. C. C., Guimarães, A. L., Silva, D. S., Ribeiro, V., Macedo, M. N., Coe, M. T., Pinto, E., Moutinho, P., Alencar, A. Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation. *Land Use Policy*, 91, 1-21.
- Stickler, C. M., Nepstad, D. C., Azevedo, A. A., Mcgrath, D. G., 2013. Defending public interests in private lands: Compliance, costs and potential environmental consequences of the Brazilian Forest Code in Mato Grosso. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 368, 1-13.
- Snyder, H., 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research* 104, 1-20.
- Soterroni, A. C., Mosnier, A., Carvalho, A. X. Y., Câmara, G., Obersteiner, M., Andrade, P. R., Souza, R. C., Brock, R., Pirker, J., Kraxner, F., Havlík, P., Kapos, V., Jzu Ermgassen, E. K. H., Valin, H., Ramos, F. M., 2018. Future environmental and agricultural impacts of Brazil's Forest Code. *Environmental Research Letters* 13, 1-21.
- Urzedo, D. I., Neilson, J., Fisher, R., Junqueira, R. G. P., 2020. A global production network for ecosystem services: The emergent governance

- of landscape restoration in the Brazilian Amazon. *Global Environmental Change* 61, 59–62.
- Van Eck, N. J., Waltman, L., 2020. VOSviewer Manual Version 1.6.15. Ed. Universiteit Leiden. Países Baixos. Disponível em: <<https://www.vosviewer.com/getting-started?vosviewer-manual>>. Acesso: 9 jun. 2021.
- Walker, R., Moran, E., Anselin, L., 2000. Deforestation and cattle ranching in the Brazilian Amazon: External capital and household processes. *World Development* 28, 683–699.
- Zemp, D. C., Schleussner, C. F., Barbosa, H. M. J., Hirota, M., Montade, V., Sampaio, G., Staal, A., Wang-Erlandsson, L., Rammig, A., 2017. Self-amplified Amazon Forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. *Nature communications* 8, 1-10.
- Zemp, D. C., Schleussner, C. F., Barbosa, H. M. J., Rammig, A., 2017.b. Deforestation effects on Amazon forest resilience. *Geophysical Research Letters* 44, 6182–6198.