



Universidade do Estado do Pará
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado

Jefferson Inayan de Oliveira Souto

**Avaliação de Impactos de Mudanças de Paisagem nos
Serviços Ecossistêmicos: Uma Abordagem com Cenários
Futuros**

Belém-PA
2020

Universidade do Estado do Pará
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado



Jefferson Inayan de Oliveira Souto

**Avaliação de Impactos de Mudanças de Paisagem nos Serviços
Ecosistêmicos: Uma Abordagem com Cenários Futuros**

Belém-PA
2020

Jefferson Inayan de Oliveira Souto

**Avaliação de Impactos de Mudanças de Paisagem nos Serviços
Ecosistêmicos: Uma Abordagem com Cenários Futuros**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Universidade do Estado do Pará.

Orientadora: Profa. Dra. Norma Ely Santos Beltrão.

Coorientador: Profa. Dra. Renata Melo e Silva de Oliveira

Belém-PA

2020

Jefferson Inayan de Oliveira Souto

Avaliação de Impactos de Mudanças de Paisagem nos Serviços Ecossistêmicos: Uma Abordagem com Cenários Futuros

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.
Universidade do Estado do Pará.

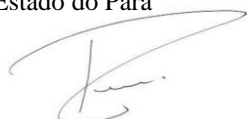
Data da defesa: 14/02/2020

Banca Examinadora:



— Orientador(a)

Profa. Dra. Norma Ely Santos Beltrão
Doutora em Economia Agrícola
Universidade do Estado do Pará



— Coorientador(a)

Profa. Dra. Renata Melo e Silva de Oliveira
Doutor em Engenharia e Gestão Industrial
Universidade do Estado do Pará



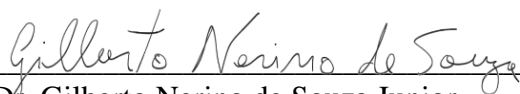
— 1º Examinador(a)

Prof. Dr. José Alberto Silva de Sá
Doutor em Engenharia Elétrica
Universidade do Estado do Pará



— 2º Examinador(a)

Dr. Ulisses Silva Guimarães
Doutor em Ciências Cartográficas
Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia



— 3º Examinador(a)

Dr. Gilberto Nerino de Souza Junior
Doutor em Engenharia Elétrica
Universidade Federal Rural da Amazônia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP),
Biblioteca do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, UEPA, Belém - PA.

S726a Souto, Jefferson Inayan de Oliveira

Avaliação de impactos de mudanças de paisagem nos serviços ecossistêmicos: uma abordagem com cenários futuros. / Jefferson Inayan de Oliveira Souto; Orientadora Norma Ely Santos Beltrão; Coorientadora Renata Melo e Silva de Oliveira. -- Belém, 2020.

79 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém, 2020.

1. Sensoriamento remoto. 2. Ecossistemas. 3. Conservação da natureza. I. Beltrão, Norma Ely Santos. II. Oliveira, Renata Melo e Silva de. III. Título.

CDD 621.3678098115

À minha querida família, por todo o seu apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial à minha querida mãe, Laura Souto, que sempre esteve ao meu lado me conduzindo durante minha formação acadêmica com palavras de apoio e determinação para sempre dar o melhor de mim. Agradeço a minha esposa, Frozina Souto e ao nosso anjo azul, Maria Souto, razões da minha força de vontade e fonte de alegria durante os momentos de alegria e tristeza.

Agradeço a Doutora Norma Ely Santos Beltrão pela valiosa orientação. Aos gatilhos mentais, os ensinamentos direcionados aos serviços ecossistêmicos e, principalmente, pelo profissional acadêmico que demonstrou em plena seriedade. Sempre otimista e determinada em querer aprender cada vez mais, provando ser uma docente de excelência e única e, atualmente, fonte de inspiração para a minha jornada nos próximos anos.

Agradeço a Doutora Renata Melo e Silva de Oliveira por sua coorientação. Aos momentos simbólicos de revisão e correções textuais de artigos científicos que foram muitos importantes para ampliar minha forma de escrita e enxergar novos horizontes de pesquisas científicas que possam a vir se destacar entre os pesquisadores nacionais e internacionais.

Agradeço aos colegas do mestrado acadêmico em Ciências Ambientais, destacando a Ariadne Trindade, Paulo Tavares, Paulo Vitor e Vítor Gomes. A secretaria acadêmica, Lionete e Fabrícia, pela paciência e disponibilidade em resolver minhas pendências acadêmicas. Ao coordenador Dr. Altem Nascimento, sempre otimista e visionário de uma universidade integradora, incentivando a disseminação de conhecimento entre os discentes e aqueles à procura de oportunidade em aprender.

Agradeço aos demais docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará, por terem acreditado no potencial de um meteorologista em ascensão. Pelas suas disciplinas com teor interdisciplinar, importantes para ampliar minha visão holística sobre a Amazônia, de máximo respeito a biodiversidade e aos povos e comunidades tradicionais dignas de admiração.

“If you want to go fast, go alone. If you want to go far, go together” (Unknown).

RESUMO

A manutenção de ecossistemas naturais e suas funções no mundo tem se tornado um tema relevante para a qualidade de vida das populações. Nessa perspectiva, as pesquisas que envolvem o mapeamento de serviços ecossistêmicos através de dados e técnicas de sensoriamento remoto têm recebido grande destaque. Desta forma, a presente dissertação teve por objetivo identificar, classificar e mapear os serviços ecossistêmicos existentes na mesorregião do Nordeste Paraense através da aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto. A dissertação é composta por dois artigos científicos, sendo: i) integração de dados de sensoriamento remoto para mapeamento do uso e cobertura do terra associado a oferta e demanda de serviços ecossistêmicos na mesorregião do Nordeste Paraense; e ii) modelagem de cenários da oferta e demanda de serviços ecossistêmicos na mesorregião do Nordeste Paraense através dos padrões de tendência do uso e cobertura da terra produzidos na integração de dados de sensoriamento remoto para os serviços de regulação, provisão e culturais. O desenvolvimento dessa pesquisa definiu através do mapeamento de uso e cobertura da terra os municípios mais impactados são aqueles compostos por atividades da agropecuária. Em relação a oferta e demanda de serviços ecossistêmicos, o segundo artigo mostrou que na mesorregião do Nordeste Paraense, a demanda ultrapassa a oferta em todos os municípios intensamente modificados, e que os municípios com grande quantidade de cobertura vegetal são os únicos que apresenta valores de oferta ultrapassando a demanda nas três macro classes de serviços ecossistêmicos estimados. Foi possível a identificação de possibilidades para inserção dos conceitos e valores dos serviços ecossistêmicos à nível de gestão local, destacando-se a possibilidade de aprimoramento da qualidade de vida dos habitantes através da adequada gestão das áreas densamente vegetadas.

Palavras-chave: Florestas tropicais; Amazônia; Oferta e demanda; Serviços ecossistêmicos; Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The maintenance of natural ecosystems and their functions in world has become an essential issue for the quality of life of the society has a major impact on citizens' well-being. Therefore, researches that involve the mapping of ecosystem services through remote sensing data/techniques have received significant attention. Thus, the present dissertation aimed to identify, classify and map the existing ecosystem services in the Northeastern Pará through the application of remote sensing tools. The thesis is composed of two scientific papers, which are: i) integration of remote sensing data for mapping of land use and land cover associated with the supply and demand of ecosystem services in the Northeastern Pará; and ii) modeling land use and land cover scenarios in the Northeastern Pará using the trend patterns produced in the integration of remote sensing data for regulation, provision and cultural services. The development of this research produced the use and land cover mapping for the area of study identified that the municipalities most impacted are those composed of agricultural activities. Regarding the ecosystem services supply and demand, the two article showed that, in the Northeastern Pará, the demand exceeds the supply in all intensely modified municipalities, and that municipalities with a large amount of plant cover are the only ones that present values of supply exceeding demand in the three macro classes of estimated ecosystem services. It was possible to identify opportunities for insertion of ecosystem services concepts and benefits at the level of local management, highlighting the possibility of improving the quality of life of the inhabitants through the proper administration of densely vegetated areas.

Keywords: Tropical forests; Amazon; Supply and demand; Ecosystem services; Remote sensing.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 2

TABELA 1	Fonte de dados utilizados neste estudo.	51
TABELA 2	Dados de entrada e mudança da terra.	53
TABELA 3	Matriz de transição (baseado em dados de satélite de 1985 a 2018).	55
TABELA 4	Estatística da área de vários tipos de uso e cobertura da terra para o observado e modelado em 2018.	57

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- FIGURA 1** Mapa do Nordeste do Pará e a porcentagem de cobertura arbórea com base no Global Forest Change Dataset (HANSEN et al., 2013). 27
- FIGURA 2** Mudanças no LULC de 1987 a 2018 no Nordeste do Pará, de acordo com o mais recente Projeto MapBiomas (Coleção 4.0). As principais categorias de LULC no nordeste do Pará; 1: Floresta; 2: Formação Natural Não Florestal; 3: Agricultura; 4: Área Não Vegetada e 5: Água. 31
- FIGURA 3** Mapa da transição do uso da terra de outros tipos de uso da terra durante 1987 a 2018. As principais categorias de LULC no nordeste do Pará; PARA: Floresta; NFNF: Formação Natural Não Florestal; LONGE: Agricultura; NVA: Área Não Vegetada e WAT: Água. 32
- FIGURA 4** Soma da oferta potencial de serviços de ecossistemas florestais (ES) pelos municípios do Nordeste do Pará. 34
- FIGURA 5** Potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos com base na pontuação Z e do índice G_i^* . 35
- FIGURA 6** Clusters de Serviços do Ecossistema (clusters de ES) representando pacotes de prestação de serviços do ecossistema: a) distribuição espacial de clusters de ES, b) Gráficos em estrela ilustrando os níveis médios de fornecimento de serviços do ecossistema para serviços de ecossistemas individuais (produção agrícola, produção de pastagens, armazenamento de carbono, controle de erosão), regulação do fluxo de água, regulação climática, recreação florestal) observada nos três grupos. Quanto maior a área abrangida pela linha que liga os valores médios dos indicadores de serviço do ecossistema, maior a capacidade do respectivo cluster de fornecer vários serviços do ecossistema. 36

ARTIGO 2

- FIGURA 1** Mapa da área de estudo (Nordeste do Pará). 50
- FIGURA 2** Fluxograma para simulação de cenário LULC. 53

FIGURA 3	Mapas LULC baseados em satélite do Nordeste do Pará para os anos 1985, 2001 e 2018.	55
FIGURA 4	Algoritmo de classificação de mapeamento para modelagem preditiva em 2018.	56
FIGURA 5	Interfaces de uso / cobertura da terra (LUC) e resultados de avaliação para cenários selecionados. (a) LUC 2018 (referência); (b) LUC 2038 e; (c) LUC 2058. Os gráficos de aranha resultantes exibem os resultados do cenário (linha preta) e os resultados do padrão inicial (Referência, linha cinza). As diferentes cores nos mapas representam as classes individuais de uso do solo.	58
FIGURA 6	Soma da oferta potencial de serviços do ecossistema florestal pelos municípios do Nordeste do Pará.	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL	18
2. ARTIGO 1: Mapeamento da oferta de serviços ecossistêmicos no leste da Amazônia: Análise de mudanças e implicações para a conservação	223
1. Introdução	23
2. Materiais e métodos.....	26
2.1. Área de estudo.....	26
2.2. Processamento de dados	26
2.2.1. Descrição do Google Earth Engine.....	26
2.2.2. Projeto MapBiomass.....	27
2.2.3. Relação LULC e mudança de paisagem nos serviços ecossistêmicos	27
2.2.4. Avaliação do potencial dos serviços ecossistêmicos	28
2.2.5. Método estatístico	29
2.2.6 Análise baseada na Gi* statistics	29
3. Resultados.....	30
3.1. Mudança do uso da terra e transição em nível regional	30
3.2. Mapa do potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos	32
3.3. Serviços ecossistêmicos em nível local.....	35
4. Discussão	36
5. Considerações metodológicas	38
6. Conclusão	39
Referências	39
3. ARTIGO 2: Análise do modelo espacial para simular o uso da terra e mudança de cobertura no leste da Amazônia: Implicações na futura oferta de serviços ecossistêmicos	47
1. Introdução	47
2. Materiais e métodos.....	49
2.1. Área de estudo.....	49
2.2. Processamento de dados	50
2.2.1. Modelagem de serviços ecossistêmicos	51
2.2.2. Cenários LULC com Land Change Modeler	52
2.2.3. Dados.....	52
2.2.4. Regras e restrições	53
2.2.5. Análise baseada na Gi* statistics	53
3. Resultados.....	54
3.1. Mapeamento de uso e cobertura da terra por imagens de satélite.....	54
3.2. Mudanças de uso e cobertura da terra	55
3.3. Influência da expansão agropecuária na vegetação.....	56
3.4. Impactos das mudanças do uso da terra nos serviços ecossistêmicos	57
3.5. Redução ou eliminação de trade-offs dos serviços ecossistêmicos.....	57
3.6. Detecção dos pontos quentes e frios.....	59
4. Discussão	60
4.1. O efeito das escalas nos serviços ecossistêmicos.....	60
4.2. Uma estrutura para integrar padrões de serviços ecossistêmicos e associações de ecossistemas em diferentes escalas espaciais.....	61
5. Conclusão	62
Referências	63
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
ANEXO 1 – Diretrizes de Submissão Revista Ecological Economics/Elsevier e Ecological Modelling/Elsevier	70

1. INTRODUÇÃO GERAL

Um ecossistema possui uma complexa dinâmica entre comunidades de plantas, animais e microrganismos, além de um ambiente abiótico, interagindo como uma unidade funcional (MA, 2005). Os ecossistemas podem ser descritos em toda a escala espacial, de pequenos trechos como, por exemplo, de manguezais aos biomas de extensas florestas (KARSTENS et al., 2019). O ecossistema abrange sistemas naturais (florestas) e ecossistemas modificados pelo homem (ecossistemas agrícolas ou urbanos) (WEI; ZHAN, 2019). Assim, uma paisagem geralmente envolve vários ecossistemas e inclui a heterogeneidade espacial e as interações entre esses ecossistemas, cuja sua definição é descrita como uma área heterogênea composta por um conjunto de ecossistemas em interação (florestas, apicuns, pântanos, assentamentos) (GIBSON; QUINN, 2017).

Nessa perspectiva, o conceito de Serviço Ecossistêmico (SE) é evidenciado desde à década de 1970, quando os benefícios dos processos ecológicos e ecossistemas naturais para a sociedade foram reconhecidos para ampliar os recursos de conservação da natureza (WESTMAN, 1977; EHRLICH; MOONEY, 1983; DE GROOT, 1987). O termo serviço ecossistêmico (ou serviço ecológico) tem sido usado em muitos estudos, porém um conceito claro de serviços ecossistêmicos na literatura científica foi publicado apenas na década de 1990 (DE GROOT, 1992; DAILY et al., 1997). Uma primeira tentativa de avaliação econômica de serviços ecossistêmicos, foi fornecida por Costanza et al. (1997).

A definição de serviços ecossistêmicos mudou com o tempo, dependendo da ênfase dada à base ecológica ou ao uso econômico (BRAAT; DE GROOT, 2012). Alguns exemplos são: as condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais e as espécies que os compõem sustentam e cumprem a vida humana descrito por Daily et al. (1997); os benefícios que as populações humanas derivam, direta ou indiretamente, das funções do ecossistema descrito por Costanza et al. (1997); os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas descrito por MA (2003); as contribuições diretas e indiretas dos ecossistemas para o bem-estar humano descrito por TEEB (2010), e as contribuições diretas que os ecossistemas fazem para o bem-estar humano descrito por Haines–Young e Potschin (2011).

Esses conceitos têm sido cada vez mais utilizados desde a publicação da *Millennium Ecosystem Assessment* (MA, 2003). A MA foi a primeira avaliação internacional de políticas científicas a fornecer uma visão abrangente das consequências da mudança do ecossistema para o bem-estar humano. Atualmente, essa avaliação é usada como base para alcançar o uso sustentável de recursos e a conservação da natureza (DAILY; MATSON, 2008; CAPOTORTI et al., 2016; GIRARDELLO

et al., 2019). A MA distinguiu entre serviços de provisão, como provisão de alimentos e água fresca; serviços de regulação, como a regulação do clima e da qualidade do ar; serviços culturais, como benefícios estéticos e recreativos; e serviços de suporte, como formação de solo e ciclagem de nutrientes. Contudo, muitos estudos enfatizaram as dificuldades de incluir serviços ecossistêmicos em estruturas de tomada de decisão e esquemas de desenvolvimento sustentável desde o surgimento da MA (COSTANZA et al., 2014). A melhor maneira de definir e aprimorar o conceito para quantificar os serviços dos ecossistemas de maneira consistente e usá-los como base para a tomada de decisões ainda é muito debatida (NÓBREGA et al., 2020).

Conseqüentemente, o estudo global descrito no *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB, 2008, 2010), propôs uma definição onde reconhece que os serviços beneficiam as pessoas de maneiras múltiplas, diretas e indiretas. O estudo de TEEB forneceu uma visão mais aprofundada da importância econômica dos ecossistemas. Como resultado, os serviços ecossistêmicos ganharam importância no nível político, ilustrado pelo estabelecimento da *International science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES) (DÍAZ et al., 2015). O estudo TEEB reclassificou os serviços ecossistêmicos em serviços de provisão (alimentos, água doce, matérias-primas, recursos genéticos, recursos medicinais, recursos ornamentais); serviços de regulação (regulação da qualidade do ar, regulação climática, moderação de eventos extremos, regulação do fluxo de água, tratamento de resíduos, prevenção de erosão, manutenção da fertilidade do solo, polinização, controle biológico); serviços de suporte (manutenção do ciclo de vida das espécies, manutenção da diversidade genética); e serviços culturais (informação estética, recreação e ecoturismo, inspiração para cultura, arte e design, experiência espiritual, informação para desenvolvimento cognitivo).

Nessa perspectiva, com os estudos sobre serviços ecossistêmicos, foi possível compreender como o manejo da terra influencia a biodiversidade, o funcionamento do ecossistema e, conseqüentemente a composição dos serviços ecossistêmicos (MACE et al., 2012; QUINTAS-SORIANO et al., 2016; OTHONIEL et al., 2019). De fato, o gerenciamento da terra se refere às atividades humanas que afetam direta ou indiretamente a cobertura da terra e visam fornecer serviços específicos (VERBURG et al., 2015), sendo definido como o uso da terra e sua intensidade impulsionada pelas atividades humanas, como o corte e queima (ADHIKARI et al., 2019). O manejo da terra é provavelmente o fator mais importante que influencia a prestação de serviços ecossistêmicos no nível da paisagem (DENG; GIBSON, 2016). Por exemplo, as atividades que levam à restauração da vegetação alteram os serviços ecossistêmicos, diminuindo a erosão, estabilizando o suprimento de água e aumentando o sequestro de carbono (LIU et al., 2016).

Além disso, o manejo da terra também afeta a vegetação, que pode se degradar como consequência do uso intensivo ou do manejo predatório da terra (GARCÍA-LLAMAS et al., 2018), sendo este uso o objetivo no qual os humanos exploram a cobertura da terra (por exemplo, florestas). Esse objetivo é alcançado pelas práticas de gestão da terra (VERBURG et al., 2012). As práticas ou atividades de manejo que caracterizam o uso da terra e sua intensidade incluem irrigação, uso de resíduos químicos, manejo de animais e máquinas, e medidas de conservação da natureza (GREEN et al., 2019; MAIER et al., 2019). A intensidade do uso da terra pode variar de leve ou extensa com intervenção humana mínima (por exemplo, baixa intensidade) a gerenciamento intensivo e muito intensivo (por exemplo, alta intensidade) com muitas intervenções humanas e conversão do ecossistema original em infraestrutura humana permanente ou em terra arável para produção de alimentos (FOLEY et al., 2005; DE GROOT et al., 2010). Como diferentes práticas de manejo da terra ou suas consequências, como expansão agrícola e pecuária (GOLDSTEIN et al., 2012), vegetação ou degradação ecológica (ALFONSO et al., 2016) ou medidas de restauração (BULLOCK et al., 2011), afetam os serviços ecossistêmicos atualmente compreendidos (CROSSMAN et al., 2013).

Nessa perspectiva, o objetivo geral desta pesquisa é avaliar o processo histórico (1985 a 2018) do uso da terra sobre uma paisagem em degradação no leste da Amazônia e as implicações sobre os serviços ecossistêmicos, com ênfase em técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. Têm-se como objetivos específicos: i) a contextualização da oferta e demanda como ferramenta na avaliação dos serviços ecossistêmicos visando identificar padrões na mudança de paisagem; ii) quantificar o fornecimento de serviços de provisão, regulação e cultural no mapeamento de análises estatísticas para identificar áreas suscetíveis como tomada de decisões; iii) comparar cenários futuros com a expansão de atividades econômicas que podem impactar nos benefícios fornecidos pelos serviços ecossistêmicos.

A hipótese da pesquisa é que a aplicação da avaliação dos serviços ecossistêmicos tem sido crescente e se mostra adequado para analisar regiões em áreas amazônicas. As questões norteadoras são: quais os principais serviços afetados pelo uso excessivo e contínuo do uso da terra? Que perspectiva de cenário futuro podem impactar o fornecimento natural de serviços ecossistêmicos?

O primeiro artigo dessa dissertação avaliou o processo de mudança de paisagem no leste da Amazônia sobre a mesorregião Nordeste Paraense, enquanto mecanismo de degradação da cobertura vegetal e biodiversidade local, com o enfoque em indicadores de serviços ecossistêmicos. Os SE de provisão e regulação são os mais comumente mencionados. Sendo possível a percepção da crescente inserção do sensoriamento remoto na perspectiva de monitoramento de SE.

Por fim, para o segundo artigo, foi realizado uma modelagem futura por aprendizado de máquina das principais tendências de mudanças de paisagem no Nordeste Paraense, e conseqüentemente as implicações de conservação sobre os serviços ecossistêmicos para tomada de decisões mais efetivas no gerenciamento de uma paisagem em degradação. Verificando se a aplicação do modelo é adequada para subsidiar estudos em áreas amazônicas, dada a complexidade regional e o método estatístico com a inserção de técnicas por sensoriamento remoto.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

ADHIKARI, S.; ADHIKARI, A.; WEAVER, D. K.; et al. Impacts of Agricultural Management Systems on Biodiversity and Ecosystem Services in Highly Simplified Dryland Landscapes. *Sustainability*, v. 11, n. 11, p. 3223–3230, 2019.

ALFONSO, A.; ZORONDO–RODRÍGUEZ, F.; SIMONETTI, J. A. Perceived changes in environmental degradation and loss of ecosystem services, and their implications in human well-being. *International Journal of Sustainable Development World Ecology*, v. 24, n. 6, p. 561–574, 2016.

BRAAT, L.C.; DE GROOT, R. The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, v. 1, n. 2, p. 4–15, 2012.

BULLOCK, J. M.; ARONSON, J.; NEWTON, A. C.; et al. Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities. *Trends in Ecology Evolution*, v. 26, n. 10, p. 541–549, 2011.

CAPOTORTI, G.; DEL VICO, E.; ANZELLOTTI, I.; et al. Combining the Conservation of Biodiversity with the Provision of Ecosystem Services in Urban Green Infrastructure Planning: Critical Features Arising from a Case Study in the Metropolitan Area of Rome. *Sustainability*, v. 9, n. 1, p. 10–18, 2016.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 1, p. 253–260, 1997.

COSTANZA, R.; DE GROOT, R.; SUTTON, P.; et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, v. 26, n. 1, p. 152–158, 2014.

CROSSMAN, N.D.; BRYAN, B.A.; DE GROOT, R.S.; et al. Land science contributions to ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 5, n. 2, p. 509–514, 2013.

DAILY, G.; POSTEL, S.; BAWA, K.; et al. *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*. Island Press, Washington D.C. p. 392, 1997.

DAILY, G.C.; MATSON, P.A. Ecosystem services: From theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 1, p. 9455–9456, 2008.

DE GROOT, R.S. Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. *Environmentalist*, v. 7, n. 1, p. 105–109, 1987.

DE GROOT, R.; FISHER, B.; CHRISTIE, M.; et al. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation, in: Kumar, P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London, pp. 9–40, 2010.

DENG, X.; LI, Z.; GIBSON, J. A review on trade–off analysis of ecosystem services for sustainable land–use management. *Journal of Geographical Sciences*, v. 26, n. 7, p. 953–968, 2016.

DÍAZ, S.; DEMISSEW, S.; CARABIAS, J.; et al. The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 14, n. 2, p. 1–16, 2015.

EHRlich, P.R.; MOONEY, H.A. Extinction, Substitution, and Ecosystem Services. *BioScience*, v. 33, n. 2, p. 248–254, 1983.

FOLEY, J.A.; DE FRIES, R.; ASNER, G.P.; et al. Global consequences of land use. *Science* v. 309, n. 1, p. 570–574, 2005.

GARCÍA–LLAMAS, P.; GEIJZENDORFFER, I. R.; GARCÍA–NIETO, A. P.; et al. Impact of land cover change on ecosystem service supply in mountain systems: a case study in the Cantabrian Mountains (NW of Spain). *Regional Environmental Change*, v. 16, n. 3, p. 9–40, 2018.

GIBSON, D.; QUINN, J. Application of Anthromes to Frame Scenario Planning for Landscape–Scale Conservation Decision Making. *Land*, v. 6, n. 2, p. 33–40, 2017.

GIRARDELLO, M.; SANTANGELI, A.; MORI, E.; et al. Global synergies and trade–offs between multiple dimensions of biodiversity and ecosystem services. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 19–33, 2019.

GOLDSTEIN, J. H.; CALDARONE, G.; DUARTE, T. K.; et al. Integrating ecosystem–service tradeoffs into land–use decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 109, n. 19, p. 7565–7570, 2012.

GREEN, J. M. H.; CROFT, S. A.; DURÁN, A. P.; et al. Linking global drivers of agricultural trade to on–the–ground impacts on biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 20, n. 9, p. 11–22, 2019.

HAINES–YOUNG, R.; POTSCHIN, M. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), 2011. Update, European Environmental Agency.

KARSTENS, S.; INÁCIO, M.; SCHERNEWSKI, G. Expert–Based Evaluation of Ecosystem Service Provision in Coastal Reed Wetlands Under Different Management Regimes. *Frontiers in Environmental Science*, v. 7, n. 3, p. 1–14, 2019.

LIU, S.; DONG, Y.; CHENG, F.; et al. Practices and opportunities of ecosystem service studies for ecological restoration in China. *Sustainability Science*, v. 11, n. 6, p. 935–944, 2016.

MA (2003) *Ecosystems and Human Well–Being: A Framework for Assessment*, Millennium Ecosystem Assessment (MA), Island Press, Washington D.C.

MA (2005) *Ecosystems and Human Well–Being – Current State-Trends, Volume 1.*; Millennium Ecosystem Assessment (MA), Island Press, Washington D.C.

MACE, G.M.; NORRIS, K.; FITTER, A.H. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology Evolution*, v. 27, n. 2, p. 19–26, 2012.

MAIER, S.; LINDNER, J.; FRANCISCO, J. Conceptual Framework for Biodiversity Assessments in Global Value Chains. *Sustainability*, v. 11, n. 7, p. 1841–1850.

NÓBREGA, R. L. B.; ZIEMBOWICZ, T.; TORRES, G. N.; et al. Ecosystem services of a functionally diverse riparian zone in the Amazon–Cerrado agricultural frontier. *Global Ecological and Conservation*, v. 21, n. 2, p. 8–19, 2020.

OTHONIEL, B.; RUGANI, B.; HEIJUNGS, R.; et al. An improved life cycle impact assessment principle for assessing the impact of land use on ecosystem services. *Science of The Total Environment*, v. 9, n. 1, p. 2019.

QUINTAS–SORIANO, C.; CASTRO, A. J.; CASTRO, H.; et al. Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well–being in Spanish drylands. *Land Use Policy*, v. 54, n. 2, p. 534–548, 2016.

TEEB (2008) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Interim report European Communities, p. 64.

TEEB (2010) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature*. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB.

VERBURG, P.; VAN ASSELEN, S.; VAN DER ZANDEN, E.; et al. The representation of landscapes in global scale assessments of environmental change. *Landscape Ecology*, v. 28, n. 4, p.1067–1080, 2012.

VERBURG, P. H.; CROSSMAN, N.; ELLIS, E. C.; et al. Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*, v. 12, n. 2, p. 29–41, 2015.

WEI, F.; ZHAN, X. Delineating Urban Growth Boundaries with Ecosystem Service Evaluation. *Sustainability*, v. 11, n. 19, p. 5390–5401.

WESTMAN, W.E. How Much Are Nature's Services Worth? *Science*, v. 197, n. 1, p. 960–964, 1977.

2. ARTIGO 1: Mapeamento da oferta de serviços ecossistêmicos no leste da Amazônia: análise de mudanças e implicações para a conservação

Autores: Jefferson Inayan de Oliveira Souto, Norma Ely Santos Beltrão, Renata Melo e Silva de Oliveira.

Submissão: Revista Ecological Economics/Elsevier (ISSN 0921-8009. Qualis A1 Interdisciplinar) – 1º semestre de 2020.

Mapeamento da oferta de serviços ecossistêmicos no leste da Amazônia: Análise de mudanças e implicações para a conservação

Jefferson Inayan de Oliveira Souto^a, Norma Ely Santos Beltrão^a, Renata Oliveira^a

^aPós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado do Pará (UEPA), Marco, 66.095-100, Belém (PA), Brasil

Resumo: Este estudo explorou os efeitos da mudança de paisagem na provisão de serviços ecossistêmicos em uma área tropical no leste da Amazônia, em particular as compensações e sinergias entre serviços em três categorias: provisionamento, regulação e cultural. Nosso foco é o Nordeste do Pará, localizado no leste da Amazônia, onde a expansão de pastagens e agricultura provocou uma extensa perda de floresta natural e seus benefícios vitais para as pessoas. Os serviços foram avaliados entre 1987 e 2018 usando a estatística baseada em Getis. Quantificamos as trocas históricas entre atividades antropogênicas e serviços vitais de regulação, constatando que houve um aumento de 37,3% na produção de alimentos, levando a reduções no controle de erosão (47,8%), fluxo de água (47,4%), armazenamento de carbono (41,7%) e regulação do clima (59,9%). Como o uso da terra tem um grande impacto na oferta de serviços do ecossistema, um entendimento das mudanças e trocas descritas neste artigo pode apoiar o planejamento e o gerenciamento, em áreas específicas com várias atividades antropogênicas e em outras regiões com alternativas limitadas para geração de renda. Nossas descobertas sugerem que os planos de desenvolvimento regional devem incluir incentivos para maximizar a regulamentação e o fornecimento de serviços ecossistêmicos.

1. Introdução

Os Serviços Ecossistêmicos (ES) se referem aos benefícios diretos e indiretos que as pessoas obtêm dos ecossistemas (COSTANZA et al., 1997; MA, 2005), incluindo serviços de fornecimento (alimentos, matérias-primas), serviços de regulação (regulação da água, regulação climática), serviços de suporte (formação de solos, manutenção da biodiversidade) e serviços culturais (recreação, turismo) (COSTANZA et al., 2007, 2014; MAES et al., 2016). As abordagens dos serviços ecossistêmicos são vistas por muitos como uma maneira promissora de considerar melhor os ecossistemas no processo de decisão, porque procuram tornar visíveis as múltiplas contribuições da natureza para a sociedade e as compensações associadas (LIU et al., 2015). Estabelecer os conceitos básicos para sustentar condições de longo prazo para vida, saúde, alimentação, relações socioambientais e outros aspectos do bem-estar humano (COMBERTI et al., 2015; JACOBS et al., 2016).

Existem algumas relações possíveis entre impacto potencial e fornecimento de serviços que podem ser esperadas. Embora exista uma variedade contínua de serviços ecossistêmicos, muitos serviços estão intimamente ligados às atividades humanas (DE GROOT et al., 2012; O'HIGGINS et al., 2019). No entanto, os serviços ativamente explorados adicionam pressões constantes ao ecossistema. As pressões associadas a uma atividade específica podem afetar os componentes do ecossistema que não são o alvo dessa atividade (DURU et al., 2015). Por exemplo, nas florestas, convertendo-a em áreas não-florestadas, mas pode erosão do solo, degradação do solo e evapotranspiração reduzida, outros componentes dos ecossistemas (STAVI et al., 2016; BAVEYE et

al., 2016; ZEMP et al., 2017). Assim, podemos esperar que o risco de impacto seja maior naqueles locais que também têm maior potencial para fornecer uma gama mais ampla de serviços, pois várias atividades (explorando vários serviços) implicam múltiplas pressões.

Os sistemas de uso da terra têm potencial para fornecer vários serviços ecossistêmicos (BURKHARD et al., 2010; MASTRANGELO et al., 2014; SCHINDLER et al., 2014), devido a trocas funcionais e sinergias entre os diferentes componentes da multifuncionalidade dentro da terra. Portanto, um entendimento abrangente do sistema terrestre multifuncional e de seu ES derivado é evitar trocas indesejadas e muitas vezes desconhecidas e melhorar as sinergias entre ES (ROSENTHAL et al., 2014; MORI et al., 2016). O mapeamento dos serviços ecossistêmicos foi listado como um requisito essencial para melhorar o reconhecimento e a implementação dos serviços ecossistêmicos na tomada de decisões institucionais (HOWE et al., 2014; SANNIGRAHI et al., 2018).

De fato, devido ao impacto antropogênico nos ecossistemas nas últimas décadas, o declínio da biodiversidade e a degradação de habitats provocaram a formulação de metas específicas de políticas internacionais (ARIMA et al., 2014; AZEVEDO-RAMOS et al., 2018; CORREA et al., 2019). Os esforços atuais sobre os valores dos serviços ecossistêmicos são cruciais para o gerenciamento sustentável dos ecossistemas, porque os valores representam os acordos sociais sobre o que é certo e bom ser valorizado (PASCUAL et al., 2017; KENTER, 2018). No entanto, algumas regiões, como a Amazônia brasileira, mostraram mudanças rápidas e crescentes no uso da terra, incluindo extração de madeira, construção de estradas e desenvolvimento agrícola, que são as principais causas de desmatamento e degradação (CROUZEILLES et al., 2017; CARVALHO et al., 2019). Além do declínio das reservas de carbono armazenadas, o desmatamento afeta os processos do ciclo hidrológico, o escoamento da água, a qualidade da água e a aceleração da erosão do solo (OVERBECK et al., 2015).

As observações da Terra, coletadas por sensoriamento remoto e dados in situ, incluem imagens ou dados brutos (por exemplo, imagens de satélite), bem como produtos derivados de processamento substancial (por exemplo, precipitação, conteúdo de clorofila na água) (GODAR et al., 2015; SCHIELEIN et al., 2018). Esses dados têm um enorme potencial para melhorar a tomada de decisões com base em serviços ecossistêmicos, o que frequentemente requer informações que devem ser precisas, atualizadas, comparáveis globalmente e relevantes localmente, além de fornecer dados uniformes sobre grandes áreas, disponíveis em intervalos regulares e relativamente baixo custo ou mesmo gratuito (CORD et al., 2017; PETTORELLI et al., 2017; PICOLI et al., 2020). Além disso, os dados de sensoriamento remoto têm o potencial de melhorar a parametrização dos modelos de serviços ecossistêmicos, fornecendo dados biofísicos relevantes e, através da fusão com o censo e outras informações estatísticas, informações sobre os beneficiários dos serviços ecossistêmicos.

Revisões recentes destacaram oportunidades de uso de dados de sensoriamento remoto na avaliação de serviços ecossistêmicos, incluindo resumos de sensores de satélite e produtos associados que poderiam ser usados para avaliar serviços ecossistêmicos específicos (FENG et al., 2010; AYANU et al., 2012; ANDREW et al. 2014). O valor potencial dos dados de sensoriamento remoto para avaliação de serviços ecossistêmicos também é destacado por vários governos e organizações intergovernamentais, que estabeleceram iniciativas para incluir observações da Terra na ciência de serviços ecossistêmicos.

De fato, o uso de dados de sensoriamento remoto nas avaliações de serviços ecossistêmicos se tornou muito maior em número e variedade nos últimos anos. Recentemente, Tavares et al. (2019) demonstraram que aproximadamente 70% da literatura de serviços de ecossistema revisada integrou sensoriamento remoto e serviços de ecossistema (ARAUJO BARBOSA et al., 2015), e a técnica de sensoriamento remoto usada foi aplicada principalmente aos conjuntos de dados Landsat. Em menor grau, os estudos usaram índices de vegetação (por exemplo, Índice de Vegetação com Diferenças Normalizadas), modelos digitais de elevação (DEMs) e temperatura da superfície (EIGENBROD et al., 2010; CORD et al., 2017; RAMIREZ-REYES et al., 2019).

As relações entre os ecossistemas, seu potencial como fornecedor de serviços e os benefícios associados aos serviços dos ecossistemas são críticos para alcançar o desenvolvimento sustentável, mas essas relações precisam ser entendidas em escala local. Por exemplo, fatores como a diversidade biológica da floresta declinam, o clima e as atividades humanas são fatores cruciais para manter a viabilidade social e ecológica. A vegetação desempenha um papel importante no controle de inundações, fluxo de água e qualidade; a cobertura vegetal nas bacias hidrográficas a montante pode afetar a quantidade, a qualidade e a variabilidade do suprimento de água em algumas regiões. Florestas, zonas úmidas e áreas protegidas com ações de manejo apropriadas geralmente fornecem água limpa a um custo muito menor do que os substitutos artificiais, como as estações de tratamento de água. Portanto, ao definir a dinâmica de uso da terra no Nordeste do Pará como área de estudo, este estudo emprega uma análise dos serviços ecossistêmicos e dos fatores de perturbação humana para construir padrões de segurança socioeconômica, visando reduzir os efeitos negativos das atividades humanas nos serviços ecossistêmicos. Os objetivos deste estudo são: (1) identificar a dinâmica dos tipos de uso da terra, combinando informações históricas de sensoriamento remoto; (2) explorar uma abordagem de mapeamento de ES que utiliza tipos distintos de trajetórias de uso e cobertura da terra para transferir valores de tendência de ES para um nível da Amazônia Oriental; finalmente, (3) realizar uma análise geoestatística de agrupamentos para identificação e interpretação espaço-temporal dos atuais pacotes de ES.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo é o Nordeste do Pará, Brasil (00 ° 30 ' - 03 ° 55 ' S, 46 ° 12 ' - 50 ° 28 ' W). A área total é de aproximadamente 6,68% (83316,25 km²) da área do estado do Pará (PA), com 49 municípios principais (Figura 1) (IBGE, 2018). A região é uma das áreas mais densamente antropizadas do leste da Amazônia (INPE, 2018). Durante o século passado, as atividades humanas transformaram muito as áreas mais acessíveis, abrindo novas estradas e introduzindo novos habitats associados ao uso da pecuária e da agricultura em seus ecossistemas nativos.

Os tipos de vegetação predominantes são Ombrophyllous Densa Forest e Grasslands, com um clima diverso, de climas tropicais a monções. A região experimenta duas estações de poço: chuvosa (dezembro a maio) e seca (junho a novembro). A precipitação média anual é de 1600 - 2300 mm e a temperatura média anual é de 26,0 - 30,5 ° C, o que influencia bastante as estações agrícolas na região (MORAES et al., 2005).

2.2. Processamento de dados

Neste estudo, usamos o Google Earth Engine (GEE) para obter imagens para um período e região de interesse específicos, com uma interface de programa de aplicativo que realiza mosaicos e mapeamentos de estimativas de uso e cobertura da terra, e estrutura de perda de floresta usando imagens de satélite (GORELICK et al., 2017).

2.2.1. Descrição do Google Earth Engine

O GEE é um portal da web que fornece imagens de satélite de séries temporais globais e dados vetoriais, com base na nuvem e acesso a software e algoritmos para processamento de dados. Os dados disponíveis são de vários satélites, como a série Landsat completa; Espectrômetro de Imagem com Resolução Moderada (MODIS); Sentinel, entre outros. A lista completa pode ser obtida na página da web.

Vários novos estudos demonstraram as vantagens de tais abordagens sobre regiões tropicais em, por exemplo, mapeamento de perturbações e degradação florestal usando imagens Landsat e MODIS (DE OLIVEIRA et al., 2016; CARREIRAS et al., 2014; ZHOU et al., 2019; WANG et al., 2019). A metodologia combina dados de alta resolução espacial e temporal da série Landsat para aumentar a eficiência do mapeamento entre uso e cobertura da terra (LULC), serviços ecossistêmicos e porcentagem de cobertura arbórea no mundo.

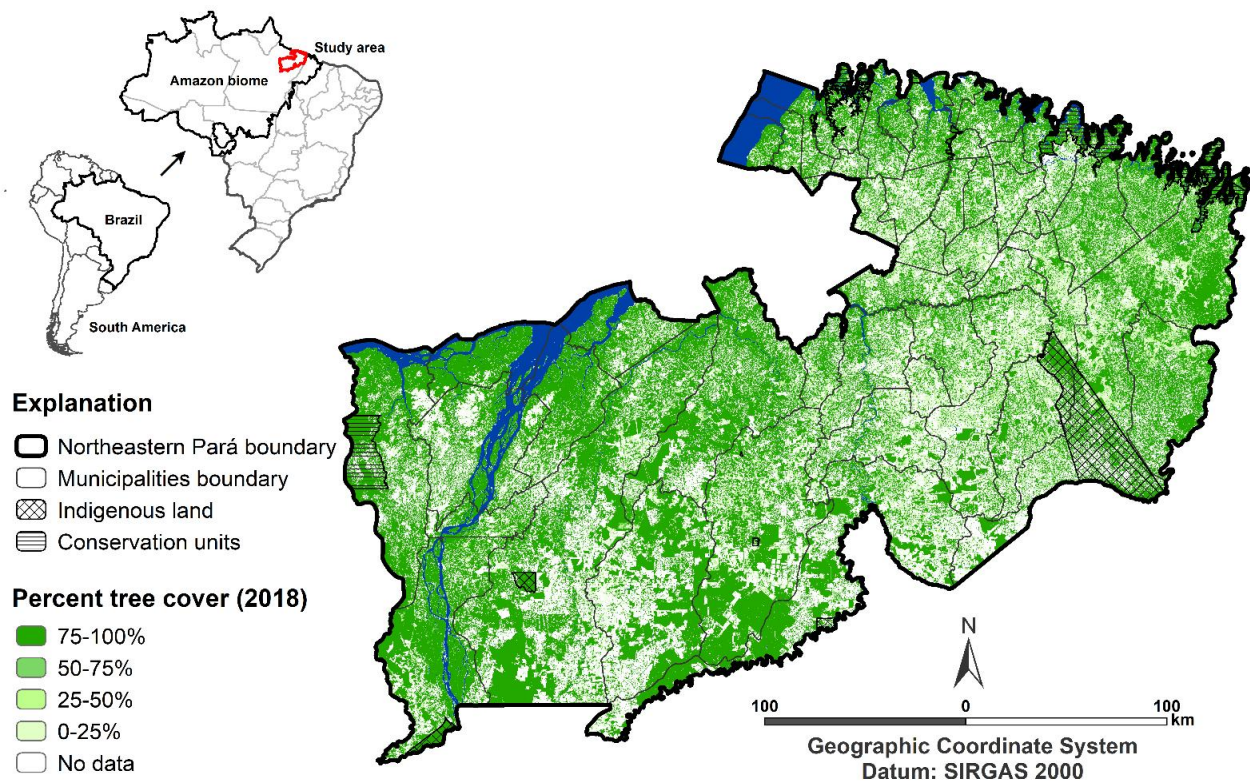


Figura 1. Mapa do Nordeste do Pará e a porcentagem de cobertura arbórea com base no Global Forest Change Dataset (HANSEN et al., 2013).

2.2.2 Projeto MapBiomias

Outro conjunto de dados importante, promissor para a extensão de áreas de cultivo / pastagem e monitoramento de expansão é o MapBiomias (MAPBIOMAS, 2019). O MapBiomias fornece mapas de cobertura do solo baseados no Landsat desagregados em 5 categorias amplas (e até 15 categorias detalhadas) para todos os anos de 1985 a 2017. Uma dessas categorias é “agricultura”, que eles se desagregam em “pastagem”, “agricultura”, e “agricultura ou pasto” para áreas de confusão entre os dois.

A principal limitação do produto MapBiomias é que eles não seguem as diretrizes atuais de boas práticas (STEHMAN, 2013), que recomenda estimar a área a partir das observações da amostra de referência e avaliar a precisão da mudança de cobertura do solo mapeada. A versão mais recente do projeto MapBiomias (Coleção 4.0) ainda não possui uma avaliação de precisão de qualquer tipo.

2.2.3. Relação LULC e mudanças de paisagem nos serviços ecossistêmicos

O potencial fornecimento de sete ES florestais foi analisado. Os ES foram selecionados entre os tipos mais extensos de classificação do ES (MA, 2005; TEEB, 2010), considerando sua representatividade e importância específica para a área de estudo. Assim, selecionamos ES

estritamente associados aos ecossistemas florestais capazes de serem analisados usando as informações fornecidas por nossos dados. Foram considerados os seguintes sete ES: (a) produção agrícola, (b) produção de pastagens, (c) armazenamento de carbono, (d) controle de erosão, (e) regulação do fluxo de água, (f) regulação climática e (g) recreação florestal.

2.2.4. Avaliação da oferta de serviços ecossistêmicos

O método de avaliação está descrito em Lima et al. (2017). Para cada ES, o fornecimento potencial individual foi avaliado com base em diferentes tipos de informações: (1) estatísticas de cobertura florestal da região de estudo, (2) literatura científica e (3) critério de especialistas com base nos dados observados e relatados anteriormente informações sobre ES. Estabelecemos critérios para classificar a oferta potencial de cada ES. O critério de especialista foi usado para complementar a avaliação de alguns ES, para os quais os dados eram difíceis de obter, por exemplo, serviço de armazenamento de carbono. Os especialistas envolvidos nesse processo incluem um engenheiro ambiental com experiência em engenharia e modelagem e engenharia industrial, um engenheiro civil com experiência em desenvolvimento rural, análise e sustentabilidade de ecossistemas, um meteorologista com experiência em dinâmica paisagística, mudança e variabilidade climática e aquecimento global. Informações específicas sobre a classificação das capacidades potenciais de fornecimento de cada um dos sete ES selecionados, os diferentes critérios e dados utilizados são fornecidos por Lima et al. (2017).

Basicamente, identificamos quais municípios, de toda a área de estudo, têm potencial para suprir cada ES. Com base nas três fontes de dados acima mencionadas, os polígonos selecionados foram classificados em sete categorias de oferta potencial de ES: não relevante (0-15%), muito baixo (15-30%), baixo (30-45%), intermediário (45-60%), alto (60-75%) e muito alto (75-100%). O método e a atribuição de classes (método matricial) foram descritos anteriormente (BURKHARD et al. 2009, 2012, 2014). Por exemplo, para a produção agrícola, as espécies arbóreas florestais que poderiam fornecer frutos para consumo humano (ou seja, cinco espécies arbóreas) foram identificadas com base na Produção Agrícola Municipal do conjunto de dados do IBGE. Os fragmentos onde essas espécies específicas de árvores são comumente encontradas foram identificados e classificados de acordo com sua cobertura espacial (%) nas sete classes potenciais de suprimento de ES. Para a regulação do clima, conjuntos de dados históricos de longo prazo que geralmente representam os últimos 30 anos foram identificados usando estatísticas meteorológicas para a área. Os polígonos cobertos por esses conjuntos de dados foram então atribuídos às sete possíveis classes de fornecimento de ES.

2.2.5. Método estatístico

Para cada ES, foi criado um mapa com potencial oferta de serviços. Cada um dos sete mapas foi então analisado em níveis espaciais locais usando um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os sete ES foram analisados em 49 municípios da área de estudo. As unidades administrativas são frequentemente usadas como referências espaciais nas estatísticas oficiais e desempenham um papel importante nos processos de planejamento e tomada de decisão. Portanto, era importante analisar como a distribuição espacial do suprimento de ES é representada nos níveis básicos de administração espacial. Para esse fim, foi atribuído a cada célula um valor entre 0 (nenhum suprimento potencial relevante) e 5 (suprimento potencial muito alto). Os valores das células de cada município foram somados para produzir um mapa com a classificação do potencial fornecimento de ES da floresta dentro dos limites espaciais municipais da área. A estatística Getis-Ord G_i foi calculada (como descrito acima) para cada ES para detectar grupos de municípios com altos ou baixos níveis de oferta potencial de ES.

2.2.6. Análise baseada em G_i^* statistics

Neste artigo, a estatística Getis-Ord G_i foi usada para identificar pontos quentes e frios do serviço de conservação do solo (SC). Como uma ferramenta integrada no ArcGIS 10.5, essa abordagem leva cada pixel raster dentro do contexto de recursos vizinhos para o cálculo e gera uma nova classe de recursos com z-score, p-value e nível de confiança. Recursos com alto escore z e pequeno valor p demonstram resfriados estatisticamente significativos. A magnitude do valor absoluto do escore z explica a intensidade do agrupamento (GETIS et al., 1992; MITCHELL, 2005). Essa abordagem pode ajudar a identificar pontos de acesso e resfriados com diferentes níveis significativos, com base nos quais as partes interessadas podem definir prioridades correspondentes de acordo com os requisitos reais. O princípio deste método é mostrado da seguinte forma:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\left[\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1} \right]}} \quad (1)$$

onde G_i^* é o z-score das camadas i . x_j é o valor atribuído as camadas j ; w_{ij} são os pesos entre camadas i e j , é a distância entre os polígonos j para cada raster i é devido à ausência entre distâncias, $w_{ij} = 1$; caso contrário $w_{ij} = 0$; n é o número total de pixels e

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}, S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n-1} - (\bar{X})^2} \quad (2)$$

A identificação e o mapeamento dos pontos ativos e frios podem visualizar áreas prioritárias de maneira espacial e explícita, o que é útil para a formulação de políticas direcionadas.

3. Resultados

3.1. Mudança de uso da terra e transições em nível regional

Os mapas de uso da terra de 1987, 2001 e 2018 para o nordeste do Pará são mostrados na Figura 2. Os tipos de uso da terra mais comumente distribuídos no nordeste do Pará são áreas de pastagem. Os resultados da detecção de mudanças no uso da terra mostraram duas tendências claramente reconhecíveis; (a) o declínio das áreas florestais; e (b) aumento rápido nas áreas de pastagem. Os padrões de uso da terra nessa região sofreram mudanças drásticas nos últimos 32 anos, principalmente de 2001 a 2018 (Figura 2). De 1987 a 2001, a floresta diminuiu de 69.224,10 para 56.408,78 km², enquanto a pastagem aumentou de 6.271,11 para 19.386,17 km². Além disso, a infraestrutura urbana apresentou um crescimento de 67,43 para 104,44 km². Em contraste, as áreas de manguezais permaneceram inalteradas.

No geral, as pastagens aumentaram acentuadamente em 34,9% entre 1987 e 2018. O mapa de transição do uso da terra (Figura 3) foi calculado para ajudar a entender a conversão do uso da terra entre tipos de uso da terra entre dois períodos vizinhos (1987 e 2018). Mudanças significativas ocorreram após 2001, e a redução da cobertura florestal foi o padrão geral de mudança. A maior parte da conversão de outra vegetação natural não florestal contribuiu para pastagens e florestas, cuja queda foi de 1,9 e 1,7%, respectivamente. Essas duas conversões de uso da terra (ou seja, outra formação natural não florestal em floresta e agricultura em floresta) foram os dois principais tipos de transformação da terra que foram induzidos pela restauração ecológica.

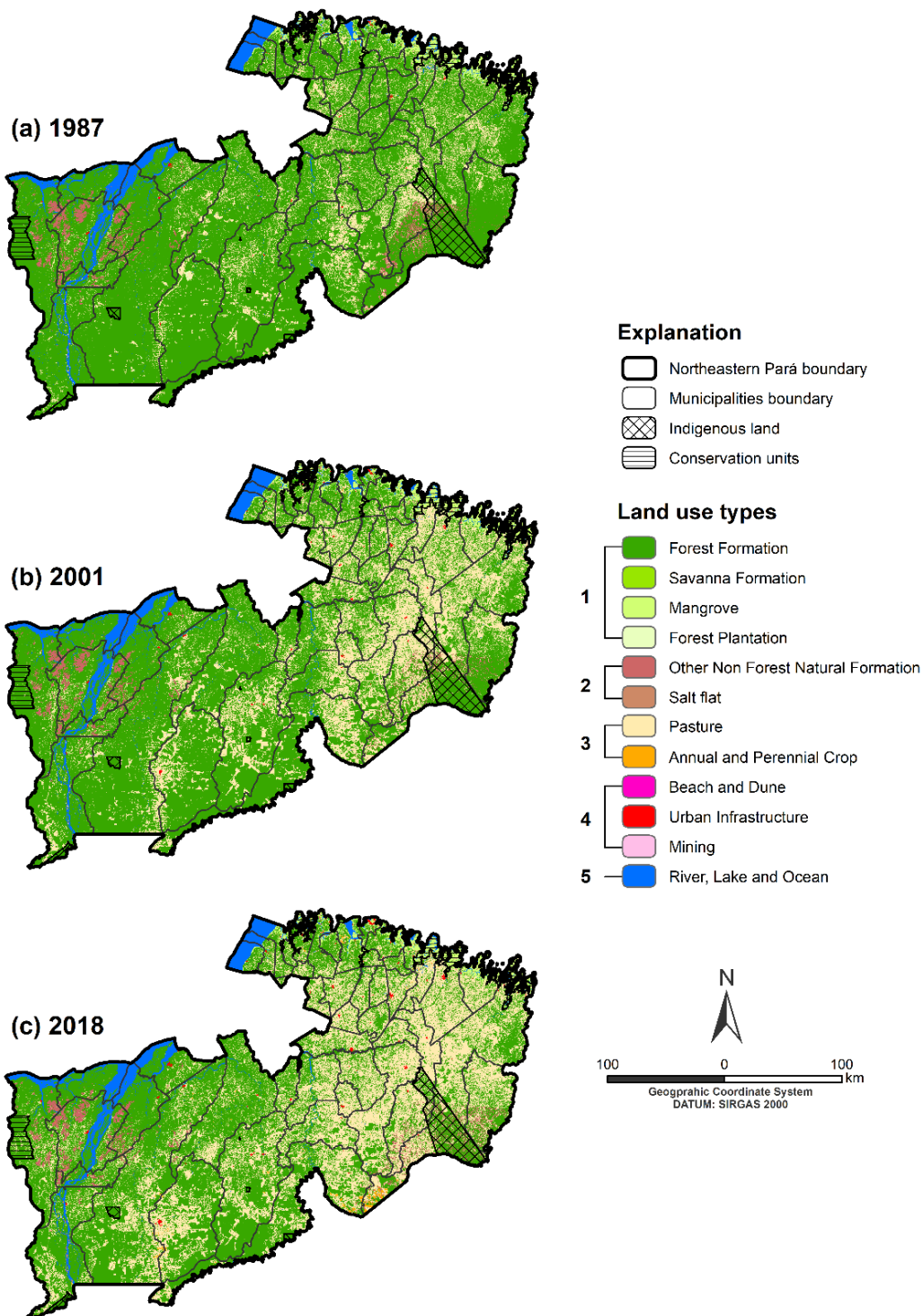


Figura 2. Mudanças no LULC de 1987 a 2018 no Nordeste do Pará, de acordo com o mais recente Projeto MapBiomass (Coleção 4.0). As principais categorias de LULC no nordeste do Pará; 1: Floresta; 2: Formação Natural Não Florestal; 3: Agricultura; 4: Área Não Vegetada e 5: Água.

As trajetórias de mudança entre 1987 e 2018 foram comparadas pixel por pixel para examinar possíveis mudanças no uso da terra. A Figura 3 mostra o mapa final representando a transição do uso da terra de outros tipos de uso da terra durante o período do estudo. Por exemplo, a cor da escala verde indica conversões da floresta para outros tipos de uso da terra (formação natural não florestal,

agricultura, área não vegetada e água). Os resultados da detecção de mudanças apontam que durante o período do estudo houve conversões de áreas florestais (87,6%) para agricultura (26,6%), principalmente pastagens. As áreas de cultivo, dentro e nas imediações das áreas florestais, permaneceram no mesmo tipo de uso (6,33%). As conversões de terras de outras categorias de uso foram relativamente menores (2,13%).

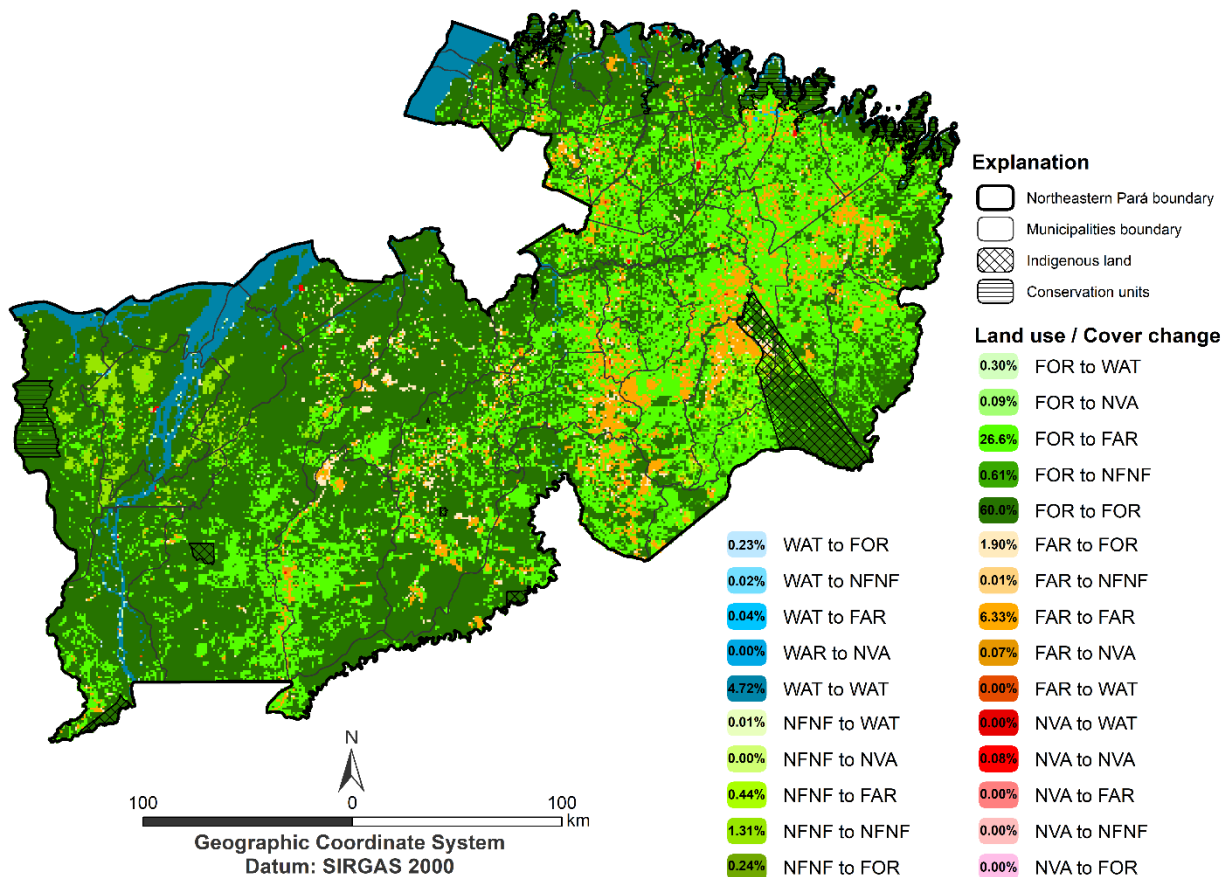


Figura 3. Mapa da transição do uso da terra de outros tipos de uso da terra durante 1987 a 2018. As principais categorias de LULC no nordeste do Pará; PARA: Floresta; NFNF: Formação Natural Não Florestal; LONGE: Agricultura; NVA: Área Não Vegetada e WAT: Água.

3.1. Mapas de oferta potencial de serviços de ecossistemas florestais

Os mapas da Figura 4 mostram o suprimento potencial dos sete ES selecionados da floresta e o padrão de suprimento espacial de cada ES na área de estudo. Diferenças substanciais nas áreas de suprimento potencial relevantes não foram observadas para cada ES. Essa região é maior para alguns ES, como produção de pastagens e culturas, e menor para outros, especialmente para recreação florestal. A maioria das áreas que fornecem alimentos estão nas partes centrais da área de estudo. As zonas sem potencial fornecimento relevante de suprimento de alimentos cobrem 28,8% da área de estudo, enquanto essas zonas cobrem entre 35 e 65,6% para as cinco classes restantes. Os municípios com alta e muito alta oferta potencial de serviços de armazenamento de carbono compreendem 30,6%

da área de estudo e estão localizados principalmente em áreas próximas à costa e à região leste. Os serviços de controle de erosão e regulação climática mostram um padrão semelhante, com áreas menores sem fornecimento relevante (43,5% para o ES) e uma distribuição mais ampla na área de estudo. Para esses dois ES florestais, as zonas com potencial médio, alto e muito alto de ES fornecem > 29% de toda a área. A regulação do fluxo de água mostra um padrão bastante diferente dos outros ES. Nenhuma área de suprimento relevante é encontrada em apenas 9,6% da área, principalmente na parte leste. Essencialmente, mais de 75% da área é coberta por áreas intermediárias, com alto e muito alto potencial de regulação de erosão. Finalmente, a recreação florestal inclui grandes zonas sem suprimento relevante (61,3% da área de estudo) e o suprimento cultural muito alto compreende 39,7% da área e está localizado principalmente em áreas de densidade de cobertura florestal ou nas zonas costeiras.

No geral, a análise do potencial fornecimento das sete ES florestais na área de estudo pode produzir resultados diferentes daqueles obtidos no nível regional. A análise em nível local mostra diferenças na distribuição espacial do SE. No entanto, os tamanhos dos municípios obviamente influenciam os resultados, com valores mais altos obtidos nos maiores municípios. Além disso, para a produção agrícola, os municípios com valores mais altos estão nos valores orientais da produção de pastagens (e pontos de acesso correspondentes) ocorrem em zonas próximas às cidades centrais urbanas. De fato, para os pontos críticos identificados, 48,9% dos quais eram cobertos por gado e agricultura, enquanto apenas 23,6% dos pontos frios cobertos por vegetação (Figura 4). Uma proporção total de 15,8% dos resfriados foi encontrada na agricultura. Assim, os hotspots geralmente têm alta cobertura vegetal.

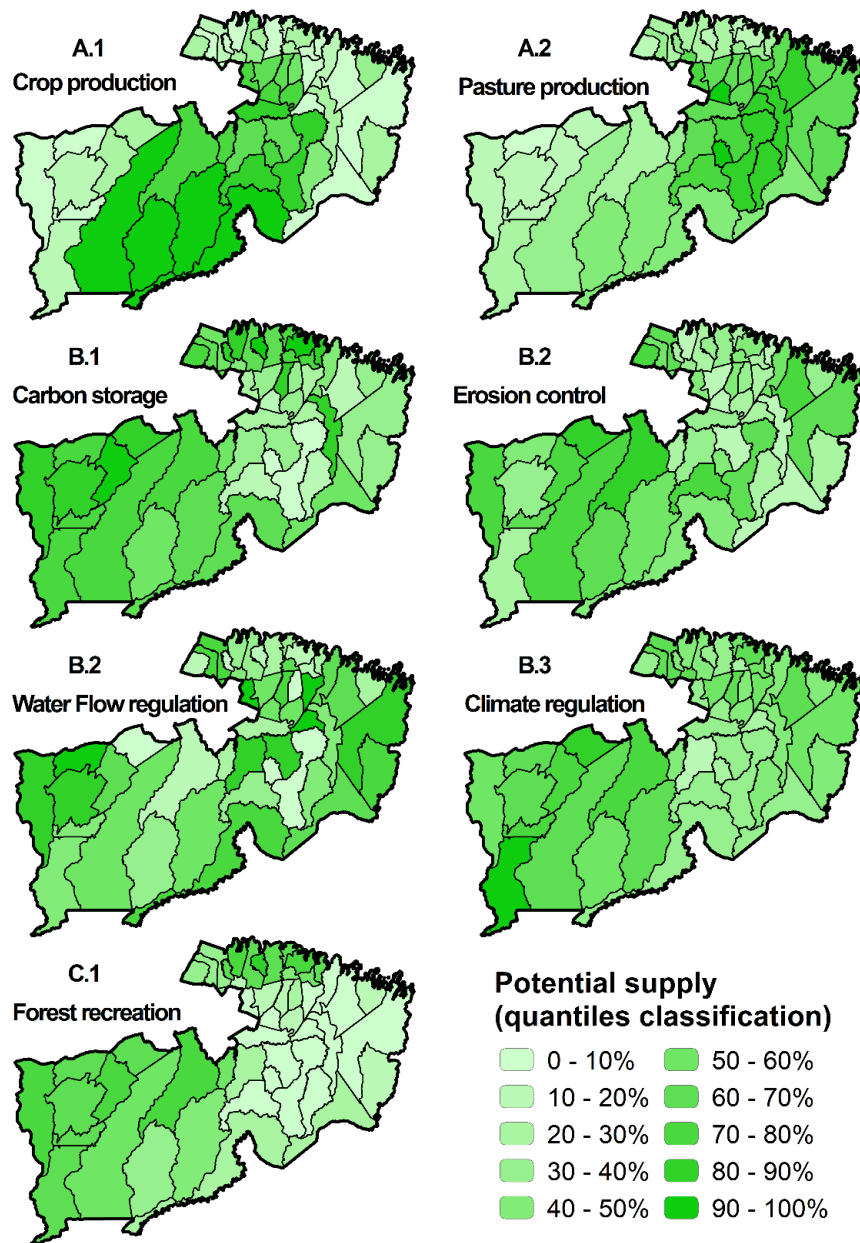


Figura 4. Soma da oferta potencial de serviços de ecossistemas florestais (ES) pelos municípios do Nordeste do Pará.

O cálculo da estatística Getis-Ord G_i^* permitiu a identificação de pontos ativos e frios no potencial fornecimento de cada ES (Figura 5). Hotspots e resfriados são zonas com agrupamento espacial de recursos com valores altos / baixos de fornecimento de ES. Eles mostram diferentes distribuições espaciais para os sete SE. Por exemplo, hotspots de produção agrícola estão agrupados nas zonas central e oeste, enquanto existe um grande ponto de resfriamento cobrindo quase toda a parte oriental da área de estudo. Os pontos quentes de armazenamento de carbono aparecem na costa da zona central e ocidental. O controle de erosão, a regulação do fluxo de água e a regulação do clima mostram distribuições semelhantes, e os serviços de regulação da erosão mostram pontos quentes na parte oeste da área de estudo, distribuídos seguindo a direção nas áreas de densidade de cobertura florestal.

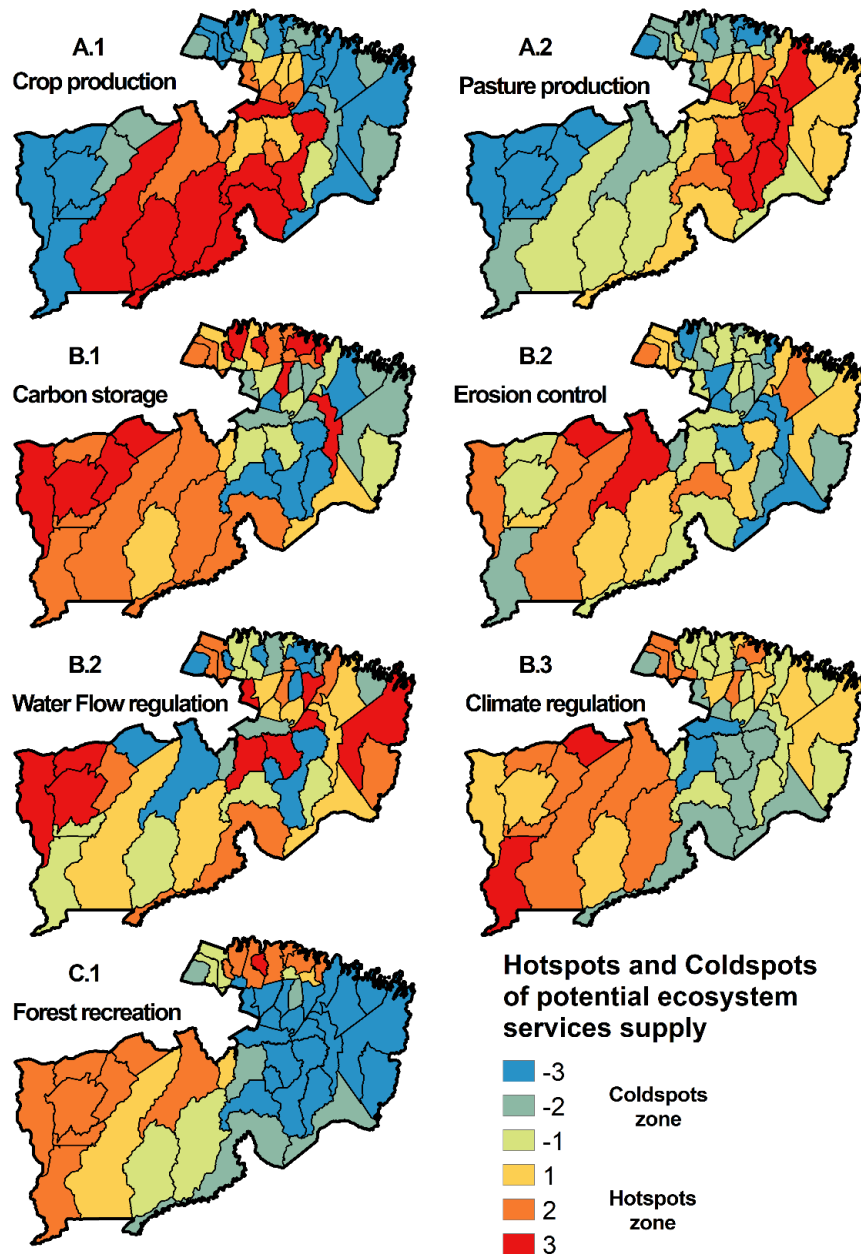


Figura 5. Potencial de fornecimento de serviços ecossistêmicos com base na pontuação Z e do índice G_i^* .

3.3 Serviços ecossistêmicos em nível local

O Valor Total do Serviço Ecossistêmico (Figura 2) (TESV) foi baixo em áreas gerenciadas intensivamente e em áreas densamente povoadas. Altos valores de TESHV ocorreram em municípios com alta participação na cobertura de florestas e pastagens e na região costeira do Nordeste do Pará. Foram encontrados três clusters (clusters ES, Figura 6) de pacotes de serviços do ecossistema (Cluster 1: $n = 18$, Cluster 2: $n = 24$, Cluster 3: $n = 7$). O primeiro cluster de ES compreendeu municípios localizados na parte da área de estudo, dominada pela agricultura e cobertura florestal. Inclui o número considerável de municípios próximos às principais rotas de transporte que se conectam às principais cidades urbanas. Esses municípios fornecem quase exclusivamente grandes quantidades de

produção agrícola. O segundo cluster ES abrange a maioria dos municípios, que apresentam baixa proporção de florestas e alto crescimento de pastagens. Este cluster fornece um baixo suprimento de fluxo de água, armazenamento de carbono e controle de erosão. O terceiro cluster do ES incluiu municípios nas baixas convergências e é caracterizado por proporções equilibradas de florestas e pastagens, incluindo áreas de proteção e grandes rios. Esses municípios têm uma prestação relativamente uniforme de todos os serviços ecossistêmicos. As características naturais únicas desta parte da área de estudo atraem visitantes, levando a uma alta oferta de recreação na floresta ao ar livre.

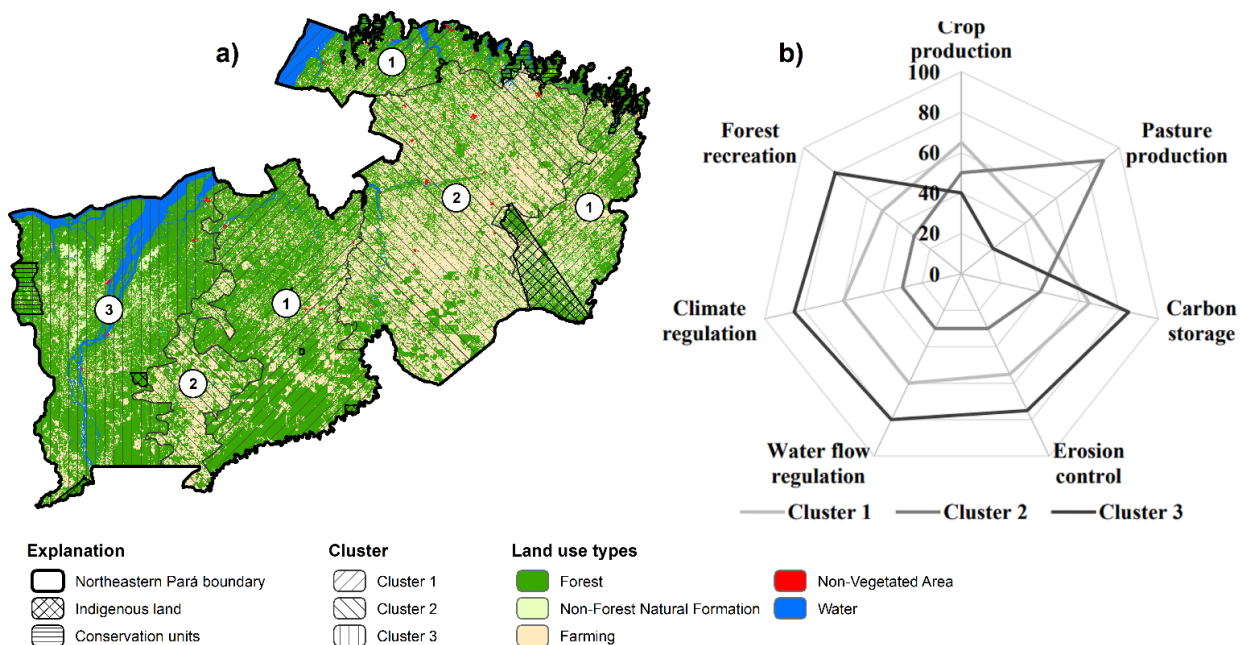


Figura 6. Clusters de Serviços do Ecossistema (clusters de ES) representando pacotes de prestação de serviços do ecossistema: a) distribuição espacial de clusters de ES, b) Gráficos em estrela ilustrando os níveis médios de fornecimento de serviços do ecossistema para serviços de ecossistemas individuais (produção agrícola, produção de pastagens, armazenamento de carbono, controle de erosão), regulação do fluxo de água, regulação climática, recreação florestal) observada nos três grupos. Quanto maior a área abrangida pela linha que liga os valores médios dos indicadores de serviço do ecossistema, maior a capacidade do respectivo cluster de fornecer vários serviços do ecossistema.

4. Discussão

Em nosso estudo, construímos vínculos conhecidos entre o fornecimento de LULC e ES (Chen et al. 2019) para abordar uma importante lacuna de conhecimento referente ao desenvolvimento de avaliações de ES transfronteiriças atuais (RENARD et al. 2015). Combinamos as principais conclusões de dois estudos científicos para avançar no entendimento das interações ES sob a mudança de longo prazo do LULC (TOMSCHA et al., 2016) sobre a floresta tropical no leste da Amazônia. O primeiro estudo, de Lima et al. (2017), utilizaram uma abordagem histórica para derivar o padrão de múltiplas ES para um conjunto de estudos de caso representativos na savana brasileira. Adaptamos

essa abordagem, integrando-a a um conjunto de novos indicadores de ES e estudos de caso para aumentar sua robustez. Nosso objetivo foi cobrir particularmente a maior parte da variedade de padrões de ES para os componentes espaciais e temporais usando dados sociais, ecológicos e climáticos de longo prazo disponíveis. O segundo trabalho de Koschke et al. (2014), identificaram um número distinto de trajetórias LULC desenhadas para representar as projeções mais importantes sobre a dinâmica da paisagem. Usamos esses resultados para desenvolver uma função simples de transferência de ES para dimensionar as tendências de ES de uma paisagem para um nível no leste da Amazônia. O uso combinado desses pools de métodos nos permitiu obter mais insights sobre as interações entre as mudanças LULC e as funcionalidades de ES fornecidas pelas paisagens da floresta amazônica (WUNDER et al., 2018; PARRON et al., 2019).

No entanto, esses processos eram frequentemente acompanhados de processos de abandono de terras em locais desfavoráveis (QIN et al. 2019) e crescimento urbano. A direção na qual uma paisagem se desenvolve pode ter impactos diretos na provisão de ES subjacente (LIMA et al. 2017). De acordo com Strand et al. (2018), diferentes composições da paisagem fornecem diferentes conjuntos de ES sobre as florestas da Amazônia brasileira. As paisagens agrícolas, por exemplo, são tipicamente propensas ao provisionamento de ES, como culturas cultivadas ou forragens, em vez de ES culturais, enquanto as florestas tendem a fornecer mais serviços de regulação, como sequestro de carbono ou controle de erosão do solo (COMBERTI et al., 2015). A conexão entre o LULC florestal e a ES reguladora é encontrada em vários ambientes e está amplamente documentada em outros estudos (DALLIMER et al., 2014; ROCES-DÍAZ et al., 2018; LIN et al., 2020). O rebrota florestal implica um aumento potencial nos serviços de provisionamento florestal, como a produção agrícola. Regiões propensas a ES culturais geralmente estão próximas de assentamentos urbanos e se beneficiam de boa acessibilidade ou são de excepcional beleza (SCHIRPKE et al., 2013). Portanto, as ES culturais sofrem tipicamente de expansão urbana, pastagem e intensificação agrícola em planícies férteis (principalmente cultivo permanente), mas se beneficiam de um uso agrícola mais extenso (GAWITH et al., 2019).

A oferta de serviços de recreação florestal e armazenamento de carbono foi dominada pela permanência da floresta. Portanto, eles mostraram as melhores tendências para ES reguladores e culturais, enfatizando um forte vínculo entre florestas e tipos específicos de ES (RENARD et al. 2015). Os pacotes de provisões mistas geralmente forneciam pelo menos um ES para cada um dos tipos de serviço (regulamentar e cultural) e estavam intimamente relacionados ao cluster dinâmico (a vegetação influencia positivamente). Constatamos que algumas áreas costeiras eram particularmente importantes para a regulação e o suprimento cultural, refletidas diretamente no fornecimento de serviços agro-urbanos (produção de pastagens) devido à presença de áreas protegidas. Além disso, a dinâmica do ES no Nordeste do Pará, representada por esses clusters, não se alinha aos modelos

conceituais que representam as variações da oferta de ES ao longo de um gradiente de intensidade de uso da terra, conforme proposto por De Groot et al. (2010). Em vez disso, depende da combinação das diferentes variáveis socioeconômicas, como história da paisagem e condições topo-climáticas, e das interações específicas dessas localizações (CROUZAT et al. 2015). No entanto, legados sociais, como descrito por Locatelli et al. (2013) e Vallet et al. (2018) para regiões e paisagens específicas em zonas tropicais descrevem componentes cruciais e inovadores que precisam ser considerados e estudados para avançar no entendimento de sistemas humano-ambientais acoplados (BENNET, 2017).

5. Considerações metodológicas

Nosso estudo revela que medidas agroambientais podem ser implementadas principalmente em municípios localizados em regiões com oferta desfavorável de múltiplos serviços ecossistêmicos no Nordeste do Pará, exigindo apenas pequenas mudanças de práticas agrícolas ou investimento em recursos (PFAFF et al., 2015; SATHLER et al., 2018; BEBBINGTON et al., 2018). Os pagamentos em regiões produtivas agrícolas, como a região centro-sul, costumam ser muito baixos para competir com o potencial de renda fornecido pelas opções estabelecidas de produção de pastagens. Isso pode ser parcialmente devido a mudanças nas condições de mercado, como incentivos às exportações brasileiras (VERBURG et al., 2014; SOUZA-RODRIGUES, 2018).

Além disso, existem algumas limitações que precisam ser abordadas ao tirar conclusões do presente trabalho. Primeiro, a seleção dos estudos de caso contou com o estudo de Lima et al. 2017, que classificou a savana brasileira em oito serviços ecossistêmicos, utilizando principalmente socioeconômicos, ambientais e climáticos. Isso leva a algumas limitações em nossa abordagem em termos de validade para todo o período em estudo (1987 a 2018). No entanto, consideramos esse aspecto de menor importância, pois os principais padrões de uso da terra eram muito semelhantes. Segundo, um subsequente aumento de escala do estudo de caso para um nível de toda a área, usando uma função de transferência de ES derivada de características topoclimáticas e de uso da terra, não pode explicar completamente toda a dinâmica socioecológica complexa que ocorre no Nordeste do Pará. No entanto, forma uma base sólida para extrapolar tendências amplas de ES em toda a região, especialmente dada a inclusão de importantes desenvolvimentos históricos na paisagem (por exemplo, expansão de pastagens). Terceiro, as tendências de ES dependem de um pool de dados disponível em quatro pontos no tempo. A dinâmica ocorrida entre esses períodos não pôde ser considerada. Quarto, o estudo utilizou conjuntos de dados de diferentes fontes e com diferentes níveis de resolução e qualidade. Portanto, para alguns ES, podemos ter subestimado ou superestimado as variações na provisão ao longo do tempo. Quinto, usamos um conjunto limitado de indicadores para

analisar a dinâmica dentro e entre os tipos de ES e LULC e, portanto, podemos não ter capturado fatores importantes, como mudanças nas preferências da sociedade (por exemplo, serviços culturais) e mudanças climáticas (por exemplo, regulamentação Serviços). No entanto, tentamos fornecer uma análise representativa de alguns dos ES mais cruciais do Nordeste do Pará. Uma análise completa das múltiplas inter-relações no leste da Amazônia não era o escopo deste estudo, pois não existe um banco de dados adequado para essa análise. Assim, nos concentramos na identificação dos principais desenvolvimentos de tendência ES da Amazônia Oriental. Esses desenvolvimentos podem nos ajudar a entender e gerenciar melhor toda a complexidade do SE em torno de uma área degradada na Amazônia brasileira.

6. Conclusão

Este artigo delimitou a história do desenvolvimento e inter-relações do ES para explorar as múltiplas funcionalidades das paisagens da floresta amazônica. Os mapas de tendências de ES produzidos para toda a região Nordeste do Pará fornecem uma ferramenta valiosa para demonstrar espacialmente as influências de longo prazo das mudanças de LULC no desenvolvimento de ES e destacar locais onde é provável que ocorram pontos quentes ou frios ES. Compreender a diversidade de padrões espaço-temporais na floresta amazônica é importante para equilibrar as decisões de gestão da terra em vários níveis administrativos, tanto para terras usadas intensivamente quanto para áreas protegidas legalmente.

Além disso, nossos resultados podem promover a integração de avaliações de ES nos impactos ambientais das trajetórias transformadoras contínuas de uso e cobertura do solo nas políticas brasileiras de gestão de biomas da Amazônia e, assim, atender aos requisitos da COP-25. É essencial promover essa integração, pois os pacotes de ES são geralmente o resultado de relacionamentos socioecológicos de longo prazo que ocorrem em toda a paisagem. Portanto, gerenciar as relações subjacentes desses sistemas humano-naturais por meio de políticas e medidas adequadas pode oferecer a melhor oportunidade para manter e aprimorar as funcionalidades das paisagens da floresta amazônica no futuro.

Referências

- Andrew, M. E.; Wulder, M. A.; Nelson, T. A. Potential Contributions of Remote Sensing to Ecosystem Service Assessments. *Progress in Physical Geography*, V. 38, N. 3, P. 328–353, 2014. Doi:10.1177/0309133314528942
- Araujo Barbosa, C. C.; Atkinson, P. M.; Dearing, J. A. Remote Sensing of Ecosystem Services: A Systematic Review. *Ecological Indicators*, V. 52, P. 430–443, 2015. doi:10.1016/J.Ecolind.2015.01.007

- Arima, E.Y.; Barreto, P.; Araújo, E.; Soares-Filho, B. Public Policies Can Reduce Tropical Deforestation: Lessons and Challenges From Brazil. *Land Use Policy*, V41, 465–473, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.06.026>
- Ayanu, Y. Z.; Conrad, C.; Nauss, T.; Wegmann, M.; Koellner, T. Quantifying And Mapping Ecosystem Services Supplies And Demands: A Review Of Remote Sensing Applications. *Environmental Science & Technology*, V. 46, N. 16, P. 8529–8541, 2012. [Doi:10.1021/Es300157u](https://doi.org/10.1021/Es300157u)
- Azevedo-Ramos, C., & Moutinho, P. (2018). No man’s land in the Brazilian Amazon: Could undesignated public forests slow Amazon deforestation? *Land Use Policy*, 73, 125–127. [doi:10.1016/j.landusepol.2018.01.005](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.005)
- Baveye, P. C.; Baveye, J.; Gowdy, J. Soil “Ecosystem” Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground. *Frontiers in Environmental Science*, V. 4, 2016. [Doi:10.3389/Fenvs.2016.00041](https://doi.org/10.3389/Fenvs.2016.00041)
- Bebbington, A. J., Humphreys Bebbington, D., Sauls, L. A., Rogan, J., Agrawal, S., Gamboa, C., ... Verdum, R. (2018). Resource extraction and infrastructure threaten forest cover and community rights. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201812505. [doi:10.1073/pnas.1812505115](https://doi.org/10.1073/pnas.1812505115)
- Bennett, E. M. (2017). Changing the agriculture and environment conversation. *Nature Ecology & Evolution*, 1(1), 0018. [doi:10.1038/s41559-016-0018](https://doi.org/10.1038/s41559-016-0018)
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., Windhorst, W., 2009. Landscapes’ capacities to provide ecosystem services – a concept for land-cover based assessments. *Landsc. Online* 15, 1–22.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F. ‘Landscapes’ Capacities to Provide Ecosystem Services – A Concept for Land-Cover Based Assessments. *Landscape Online*, V. 15, P. 1-22, 2010. [Doi: 10.3097/Lo.200915](https://doi.org/10.3097/Lo.200915)
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F., 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecol. Indic.* 21, 17–29.
- Burkhard, B.; Kandziora, M.; Hou, Y.; Müller, F. Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands–Concepts for Spatial Localization, Indication and Quantification. *Landscape Online*, V.34, P. 1–32, 2014. [Doi:10.3097/Lo.201434](https://doi.org/10.3097/Lo.201434)
- Carreiras, J.M.; Jones, J.; Lucas, R.M.; Gabriel, C. Land Use \nd Land Cover Change Dynamics Across the Brazilian Amazon: Insights From Extensive Time-Series Analysis Of Remote Sensing Data. *Plos One*, V. 9, E104144, 2014. [Doi:10.1371/Journal.Pone.0104144](https://doi.org/10.1371/Journal.Pone.0104144)
- Carvalho, W. D.; Mustin, K.; Hilário, R. R.; Vasconcelos, I. M.; Eilers, V.; Fearnside, P. M. Deforestation Control in The Brazilian Amazon: A Conservation Struggle Being Lost as Agreements And Regulations Are Subverted And Bypassed. *Perspectives In Ecology And Conservation*, V. 104, P. 1-9. 2019. [Doi:10.1016/J.Pecon.2019.06.002](https://doi.org/10.1016/J.Pecon.2019.06.002)
- Chen, W., Chi, G., & Li, J. (2019). The spatial association of ecosystem services with land use and land cover change at the county level in China, 1995–2015. *Science of The Total Environment*. [doi:10.1016/j.scitotenv.2019.03.139](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.139)
- Comberti, C.; Thornton, T. F.; Wyllie De Echeverria, V.; Patterson, T. Ecosystem Services or Services to Ecosystems? Valuing Cultivation and Reciprocal Relationships Between Humans and Ecosystems. *Global Environmental Change*, V. 34, P. 247–262, 2015. [doi:10.1016/J.Gloenvcha.2015.07.007](https://doi.org/10.1016/J.Gloenvcha.2015.07.007)
- Cord, A. F.; Brauman, K. A.; Chaplin-Kramer, R.; Huth, A.; Ziv, G.; Seppelt, R. Priorities to Advance Monitoring of Ecosystem Services Using Earth Observation. *Trends in Ecology & Evolution*, V. 32, N. 6, P. 416–428, 2017. [doi:10.1016/j.tree.2017.03.003](https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.03.003)

- Costanza, R.; D'arge, R.; De Groot, R.; et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 1, p. 253–260, 1997.
- Costanza, R.; Fisher, B.; Ali, S.; Beer, C.; Bond, L.; Boumans, R.; Et Al., Quality of Life: An Approach Integrating Opportunities, Human Needs, And Subjective Well-Being. *Ecological Economics*, V. 61, P. 267–276, 2007. Doi:10.1016/J.Ecolecon.2006.02
- Costanza, R.; De Groot, R.; Sutton, P.; Van Der Ploeg, S.; Anderson, S.J.; Kubiszewski, I.; Et Al. Changes in The Global Value Of Ecosystem Services. *Global Environmental Change*, V. 26, 152–158, 2014. Doi:10.1016/J.Gloenvcha.2014.04.002
- Correa, J.; Van Der Hoff, R.; Rajão, R. Amazon Fund 10 Years Later: Lessons from The World's Largest Redd+ Program. *Forests*, V. 10, N. 3, 272, 2019. Doi:10.3390/F10030272
- Crouzat, E., Mouchet, M., Turkelboom, F., Byczek, C., Meersmans, J., Berger, F., ... Lavorel, S. (2015). Assessing bundles of ecosystem services from regional to landscape scale: insights from the French Alps. *Journal of Applied Ecology*, 52(5), 1145–1155. doi:10.1111/1365-2664.12502
- Crouzeilles, R.; Feltran-Barbieri, R.; Ferreira, M. S.; Strassburg, B. B. N. Hard Times for The Brazilian Environment. *Nature Ecology & Evolution*, V. 1, N. 9, P. 1213–1213. Doi:10.1038/S41559-017-0303-7
- Dallimer, M., Jacobsen, J. B., Lundhede, T. H., Takkis, K., Giergiczny, M., & Thorsen, B. J. (2014). Patriotic Values for Public Goods: Transnational Trade-Offs for Biodiversity and Ecosystem Services? *BioScience*, 65(1), 33–42. doi:10.1093/biosci/biu187
- De Groot, R.; Brander, L.; Van Der Ploeg, S.; Costanza, R.; Bernard, F.; Braat, L.; ... Van Beukering, P. Global Estimates of The Value Of Ecosystems And Their Services In Monetary Units. *Ecosystem Services*, V. 1, N. 1, P. 50–61, 2012. Doi:10.1016/J.Ecoser.2012.07.005
- De Oliveira, J. V.; Ferreira, D. B. S.; Sahoo, P. K.; Sodré, G. R. C.; De Souza, E. B.; Queiroz, J. C. B. Differences In Precipitation And Evapotranspiration Between Forested And Deforested Areas In The Amazon Rainforest Using Remote Sensing Data. *Environmental Earth Sciences*, V. 77, N. 6, 2018. Doi:10.1007/S12665-018-7411-9
- Duru, M.; Therond, O.; Martin, G.; Martin-Clouaire, R.; Magne, M. A.; Justes, E.; ... Sarthou, J. P. How to Implement Biodiversity-Based Agriculture to Enhance Ecosystem Services: A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, V. 35, P. 4, P. 1259–1281, 2015. Doi:10.1007/S13593-015-0306-1
- Eigenbrod, F.; Armsworth, P. R.; Anderson, B. J.; Heinemeyer, A.; Gillings, S.; Roy, D. B.; ... Gaston, K. J. The Impact of Proxy-Based Methods on Mapping the Distribution Of Ecosystem Services. *Journal of Applied Ecology*, V. 47, N. 2, P. 377–385, 2010. Doi:10.1111/J.1365-2664.2010.01777.X
- Feng, X.; Fu, B.; Yang, X.; Lü, Y. Remote Sensing of Ecosystem Services: An Opportunity for Spatially Explicit Assessment. *Chinese Geographical Science*, V. 20, N. 6, P. 522–535, 2010. Doi:10.1007/S11769-010-0428-Y
- Gawith, D; Hodge, I. Focus rural land policies on ecosystem services, not agriculture. *Nature ecology & evolution*, v. 3, 1136-1139, 2019. doi: 10.1038/s41559-019-0934-y
- Getis A, Ord J K, 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24(3): 189–206.
- Godar, J.; Gardner, Toby A.; Jorge Tizado, E.; Pacheco, Pablo, 2015. Actor-Specific Contributions to The Deforestation Slowdown in The Brazilian Amazon. *Proceedings of The National Academy of Sciences Of The United States Of America*, V. 112, N. 23, P. 201508418, 2014. Doi:10.1073/Pnas.1508418112

- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. doi:10.1016/j.rse.2017.06.031
- Hansen, M. C.; Potapov, P. V.; Moore, R.; Hancher, M.; Turubanova, S. A.; Tyukavina, A.; ... Townshend, J. R. G. High-Resolution Global Maps Of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, V. 342, N. 6160, P. 850–853, 2013. Doi:10.1126/Science.1244693
- Howe, C.; Suich, H.; Vira, B.; Mace, G. M. Creating Win-Wins from Trade-Offs? Ecosystem Services for Human Well-Being: A Meta-Analysis Of Ecosystem Service Trade-Offs And Synergies In The Real World. *Global Environmental Change*, V. 28, P. 263–275, 2014. Doi:10.1016/J.Gloenvcha.2014.07.005
- IBGE, 2019. Atlas Do Censo Demográfico 2010. [https://Biblioteca.Ibge.Gov.Br/Index.Php/](https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/).
- INPE. 2019. Image Catalog of Remote Sensing. [http://Www.Dgi.Inpe.Br/Cdsr/](http://www.dgi.inpe.br/cdsr/)
- Jacobs, S.; Dendoncker, N.; Martín-López, B.; Barton, D. N.; Gomez-Baggethun, E.; Boeraeve, F.; ... Washbourne, C.-L. A New Valuation School: Integrating Diverse Values of Nature in Resource And Land Use Decisions. *Ecosystem Services*, V. 22, P. 213–220, 2016. Doi:10.1016/J.Ecoser.2016.11.007
- Kenter, J. O. (2018). IPBES: Don't throw out the baby whilst keeping the bathwater; Put people's values central, not nature's contributions. *Ecosystem Services*, 33, 40–43. doi:10.1016/j.ecoser.2018.08.002
- Koschke, L.; Lorz, C.; Fürst, C.; Lehmann, T.; Makeschin, F. Assessing Hydrological and Provisioning Ecosystem Services In A Case Study In Eastern Central Brazil. *Ecological Processes*, V. 3, N. 1, 2014. Doi:10.1186/2192-1709-3-2
- Lima, J.E.F.W.; De Gois Aquino, F.; Chaves, T.A.; Lorz, C. Development of A Spatially Explicit Approach for Mapping Ecosystem Services In Brazilian Savanna—Mapes. *Ecological Indicators*, V. 82, 513–525, 2017. Doi:10.1016/J.Ecolind.2017.07.028
- Lin, B. B., & Egerer, M. H. (2020). Global social and environmental change drives the management and delivery of ecosystem services from urban gardens: A case study from Central Coast, California. *Global Environmental Change*, 60, 102006. doi:10.1016/j.gloenvcha.2019.102006
- Liu, J.; Mooney, H.; Hull, V.; Davis, S. J.; Gaskell, J.; Hertel, T.; ... Li, S. Systems Integration for Global Sustainability. *Science*, V. 347, N. 6225, 1258832, 2015. Doi:10.1126/Science.1258832
- Locatelli, B., Imbach, P., & Wunder, S. (2013). Synergies and trade-offs between ecosystem services in Costa Rica. *Environmental Conservation*, 41(01), 27–36. doi:10.1017/s0376892913000234
- Millennium Ecosystem Assessment (MA), 2005. *Millennium Ecosystem Assessment*, Washington, D.C.; Usa.
- Maes, J.; Liqueste, C.; Teller, A.; Erhard, M.; Paracchini, M.L.; Barredo, J.I.; Et Al. An Indicator Framework for Assessing Ecosystem Services In Support Of The Eu Biodiversity Strategy To 2020. *Ecosystem Services*, V. 17, P. 14–23, 2016. Doi:10.1016/J.Ecoser.2015.10.023
- MAPBIOMAS: Collection 4.0 of Brazil's Annual Series of Land Use and Land Cover Maps Mapbiomas (Ed.), www.mapbiomas.org, 2019.
- Mastrangelo, M. E., Weyland, F., Villarino, S. H., Barral, M. P., Nahuelhual, L., & Littera, P. Concepts and Methods For Landscape Multifunctionality And A Unifying Framework Based On Ecosystem Services. *Landscape Ecology*, V. 29, N. 2, P. 345-358. Doi:10.1007/S10980-013-9959-9
- Mitchell, A., 2005. *The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2: Spatial Measurements and Statistics*. Redlands. CA: Esri Press.

- Moraes, B. G.; Costa, J. M. N.; Costa, A. C. L.; Costa, M. H. Variação Espacial E Temporal Da Precipitação No Estado Do Pará. *Acta Amazonica*, V. 35, P. 207-217, 2005. doi: 10.1590/S0044-59672005000200010
- O'higgins, T.; Nogueira, A. A.; Lillebo, A. I. A Simple Spatial Typology For Assessment Of Complex Coastal Ecosystem Services Across Multiple Scales. *Science Of The Total Environment*. 649, 1452–1466, 2019. Doi:10.1016/J.Scitotenv.2018.08.420
- Overbeck, G. E.; Vélez-Martin, E.; Scarano, F. R.; Lewinsohn, T. M.; Fonseca, C. R.; Meyer, S. T.; ... Pillar, V. D. Conservation In Brazil Needs To Include Non-Forest Ecosystems. *Diversity And Distributions*, V. 21, N. 12, P. 1455–1460, 2015. Doi:10.1111/Ddi.12380
- Parron, L. M., Fidalgo, E. C. C., Luz, A. P., Campanha, M. M., Turetta, A. P. D., Pedreira, B. C. C. G., & Prado, R. B. (2019). Research on ecosystem services in Brazil: a systematic review. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14(3). doi:10.4136/ambi-agua.2263
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., ... Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26-27, 7–16. doi:10.1016/j.cosust.2016.12.006
- Pettorelli, N.; Schulte To Bühne, H.; Tulloch, A.; Dubois, G.; Macinnis-Ng, C.; Queirós, A. M.; ... Nicholson, E. Satellite Remote Sensing Of Ecosystem Functions: Opportunities, Challenges And Way Forward. *Remote Sensing In Ecology And Conservation*, V. 4, N. 2, P. 71–93, 2017. Doi:10.1002/Rse2.59
- Pfaff, A.; Robalino, J.; Sandoval, C.; Herrera, D. Protected Area Types, Strategies And Impacts In Brazil's Amazon: Public Protected Area Strategies Do Not Yield A Consistent Ranking Of Protected Area Types By Impact. *Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences*, V. 370, N. 1681, P. 20140273. Doi:10.1098/Rstb.2014.0273
- Picoli, M. C. A., Rorato, A., Leitão, P., Camara, G., Maciel, A., Hostert, P., & Sanches, I. D. (2020). Impacts of Public and Private Sector Policies on Soybean and Pasture Expansion in Mato Grosso—Brazil from 2001 to 2017. *Land*, 9(1), 20. doi:10.3390/land9010020
- Qin, Y., Xiao, X., Dong, J., Zhang, Y., Wu, X., Shimabukuro, Y., ... Moore, B. (2019). Improved estimates of forest cover and loss in the Brazilian Amazon in 2000–2017. *Nature Sustainability*. doi:10.1038/s41893-019-0336-9
- Ramirez-Reyes, C.; Brauman, K. A.; Chaplin-Kramer, R.; Galford, G. L.; Adamo, S. B.; Anderson, C. B.; ... Wright, T. M. Reimaging The Potential Of Earth Observations For Ecosystem Services Assessments. *Science Of The Total Environment*, V. 665, P. 1053-1063, 2019. Doi:10.1016/J.Scitotenv.2019.02.150
- Renard, D., Rhemtulla, J. M., & Bennett, E. M. (2015). Historical dynamics in ecosystem service bundles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(43), 13411–13416. doi:10.1073/pnas.1502565112
- Roces-Díaz, J. V., Vayreda, J., Banqué-Casanovas, M., Díaz-Varela, E., Bonet, J. A., Brotons, L., ... Martínez-Vilalta, J. (2018). The spatial level of analysis affects the patterns of forest ecosystem services supply and their relationships. *Science of The Total Environment*, 626, 1270–1283. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.150
- Rosenthal, A.; Verutes, G.; Mckenzie, E.; Arkema, K. K.; Bhagabati, N.; Bremer, L. L.; ... Vogl, A. L. Process Matters: A Framework For Conducting Decision-Relevant Assessments Of Ecosystem Services. *International Journal Of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, V. 11, N. 3, P. 190–204, 2014. Doi:10.1080/21513732.2014.966149

- Sannigrahi, S.; Bhatt, S.; Rahmat, S.; Paul, S. K.; Sen, S. Estimating Global Ecosystem Service Values And Its Response To Land Surface Dynamics During 1995–2015. *Journal Of Environmental Management*, V. 223, P. 115–131, 2018. Doi:10.1016/J.Jenvman.2018.05.091
- Sathler, D., Adamo, S. B., & Lima, E. E. C. (2018). Deforestation and local sustainable development in Brazilian Legal Amazonia: an exploratory analysis. *Ecology and Society*, 23(2). doi:10.5751/es-10062-230230
- 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, 81–94. doi:10.1016/j.landusepol.2018.04.052
- Schindler, S., Sebesvari, Z., Damm, C., Euller, K., Mauerhofer, V., Schneidergruber, A., ... Wrbka, T. Multifunctionality Of Floodplain Landscapes: Relating Management Options To Ecosystem Services. *Landscape Ecology*, V. 29, N. 2, P. 229-244, 2014. Doi: 10.1007/S10980-014-9989-Y
- Schirpke, U., Leitinger, G., Tasser, E., Schermer, M., Steinbacher, M., & Tappeiner, U. (2013). Multiple ecosystem services of a changing Alpine landscape: past, present and future. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 9(2), 123–135. doi:10.1080/21513732.2012.751936
- Souza-Rodrigues, E. Deforestation In The Amazon: A Unified Framework For Estimation And Policy Analysis. *The Review Of Economic Studies*, 2018. Doi:10.1093/Restud/Rdy070
- Stavi, I.; Bel, G.; Zaady, E. Soil Functions And Ecosystem Services In Conventional, Conservation, And Integrated Agricultural Systems. A Review. *Agronomy For Sustainable Development*, V. 36, N. 2, 2016. doi:10.1007/S13593-016-0368-8
- Stehman, S. V. Estimating area from an accuracy assessment error matrix. *Remote Sensing of Environment*, v. 132, n. 2, p. 202–211, 2013. doi: 10.1016/j.rse.2013.01.016
- Strand, J., Soares-Filho, B., Costa, M. H., Oliveira, U., Ribeiro, S. C., Pires, G. F., ... Toman, M. (2018). Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon Forest's Ecosystem Services. *Nature Sustainability*, 1(11), 657–664. doi:10.1038/s41893-018-0175-0
- Tavares, P. A., Beltrão, N., Guimarães, U. S., Teodoro, A., & Gonçalves, P. (2019). Urban Ecosystem Services Quantification through Remote Sensing Approach: A Systematic Review. *Environments*, 6(5), 51. doi:10.3390/environments6050051
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). 2010. *Mainstreaming the Economics of Nature: a Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB*. Economics of Ecosystems and Biodiversity, Geneva, Switzerland.
- Tomscha, S. A., & Gergel, S. E. (2016). Ecosystem service trade-offs and synergies misunderstood without landscape history. *Ecology and Society*, 21(1). doi:10.5751/es-08345-210143
- Vallet, A., Locatelli, B., Levrel, H., Wunder, S., Seppelt, R., Scholes, R. J., & Oszwald, J. (2018). Relationships Between Ecosystem Services: Comparing Methods for Assessing Tradeoffs and Synergies. *Ecological Economics*, 150, 96–106. doi:10.1016/j.ecolecon.2018.04.002
- Verburg, R.; Filho, S. R.; Lindoso, D.; Debortoli, N.; Litre, G.; Bursztyn, M. The Impact Of Commodity Price And Conservation Policy Scenarios On Deforestation And Agricultural Land Use In A Frontier Area Within The Amazon. *Land Use Policy*, V. 37, P. 14–26, 2014. Doi:10.1016/J.Landusepol.2012.10.003
- Wang, Y.; Ziv, G.; Adami, M.; Mitchard, E.; Batterman, S. A.; Buermann, W.; ... Galbraith, D. Mapping Tropical Disturbed Forests Using Multi-Decadal 30 M Optical Satellite Imagery. *Remote Sensing Of Environment*, V. 221, P. 474–488, 2019. Doi: 10.1016/J.Rse.2018.11.028

Wunder, S., Brouwer, R., Engel, S., Ezzine-de-Blas, D., Muradian, R., Pascual, U., & Pinto, R. (2018). From principles to practice in paying for nature's services. *Nature Sustainability*, 1(3), 145–150. doi:10.1038/s41893-018-0036-x

Zemp, D. C.; Schleussner, C.-F.; Barbosa, H. M. J.; Hirota, M.; Montade, V.; Sampaio, G.; Wang-Erlandsson, A. S.; Rammig, A. Self-Amplified Amazon Forest Loss Due To Vegetation-Atmosphere Feedbacks. *Nature Communications*, V. 8, P. 14681, 2017. Doi:10.1038/Ncomms14681

Zhou, L.; Wang, Y.; Chi, Y.; Wang, S.; Wang, Q. Contrasting Post-Fire Dynamics Between Africa And South America Based On Modis Observations. *Remote Sensing*, V. 11, N. 9, P. 1074, 2019. Doi:10.3390/Rs11091074

3. ARTIGO 2: Análise do modelo espacial para simular o uso da terra / mudança de cobertura no leste da Amazônia: implicações na futura oferta de serviços ecossistêmicos

Autores: Jefferson Inayan de Oliveira Souto, Norma Ely Santos Beltrão, Renata Melo e Silva de Oliveira.

Submissão: Revista Ecological Modelling/Elsevier (0304-3800. Qualis A2 Interdisciplinar) – 1º semestre de 2020.

Análise do modelo espacial para simular o uso da terra e mudança de cobertura no leste da Amazônia: implicações na futura oferta de serviços ecossistêmicos

Jefferson Inayan de Oliveira Souto^a, Norma Ely Santos Beltrão^a, Renata Oliveira^a

^aPostgraduate in Environmental Sciences, State University of Pará (UEPA), Marco, 66.095-100, Belém (PA), Brazil

Resumo: As mudanças no uso e cobertura da terra estão provocando mudanças sem precedentes nos ecossistemas e processos ambientais em diferentes escalas. Este estudo teve como objetivo identificar os potenciais fatores de uso da terra no leste da Amazônia, combinando análise estatística e sensoriamento remoto. Para fazer isso, um modelo de mudança de uso da terra foi calibrado e avaliado usando o modelo Land Change Modeler (LCM). O LCM é uma estrutura de análise de decisão com vários critérios baseada em autômatos celulares para simular a conversão do uso da terra com base em fatores socioeconômicos e ambientais. As trajetórias anteriores de uso da terra (1987–2018) foram avaliadas usando um mapa de referência derivado do Landsat (concordância de 88%). Os resultados mostram que os principais fatores de mudança no uso da terra na área de estudo foram declividade, pastagem e distâncias de várias infra-estruturas (estradas e água). Também foi prevista uma trajetória futura potencial de mudança no uso da terra em um cenário de pastagem (2018-2058). Os resultados mostram que as áreas agrícolas continuarão a crescer de 49,5% em 2018 para 67,5% em 2058 no leste da Amazônia a uma taxa decrescente quando comparadas com o período de 1985 a 2018. As florestas também diminuirão a uma taxa muito maior.

1. Introdução

O crescimento e a intensificação de eventos antropogênicos em regiões tropicais, especialmente os de atividades de uso da terra, como pastagens (SALA et al., 2017) e expansão urbana (ZHANG et al., 2017), levaram à degradação e fragmentação de habitats, que causaram extensa perda de biodiversidade (Castro et al., 2019). Vários esforços de compensação ecológica foram investidos para mitigar essas tensões induzidas pelo homem e restaurar terras e habitats degradados (CERRETELLI et al., 2018), incluindo migração de comunidades locais e conversão de legados associados ao uso da terra, como áreas residenciais, terras agrícolas e locais. estradas para terras naturais, como florestas e pastagens (VARGAS et al., 2018).

Investimentos no alívio da intensidade do uso da terra e ameaças associadas a habitats valiosos são comumente reconhecidos como um processo essencial e tipicamente de primeira etapa no planejamento sistemático de conservação (CHAN et al., 2006; LIN et al., 2019). No entanto, as lacunas de conhecimento na prática das partes interessadas em priorizar locais para essas ações de mitigação reduziram a eficiência de muitos esforços de conservação (LATERRA et al., 2016; ASSANDRI et al., 2018). Isso leva a uma grande preocupação entre as partes interessadas, ou seja, onde alocar recursos limitados de maneira eficaz a ações que visem eliminar impactos antropogênicos nos habitats sob várias restrições.

O conceito de suprimento de Serviços Ecossistêmicos (ES), que avalia os benefícios dos serviços ecossistêmicos que os seres humanos recebem dos sistemas naturais, foi proposto inicialmente por

Costanza et al. (1997). Seu valor econômico é determinado a partir das interações entre o suprimento do ecossistema e as necessidades humanas e sociais (RENDÓN et al., 2019). Como os sistemas naturais são de vital importância para o bem-estar econômico, o valor do ecossistema inclui uma avaliação das várias maneiras pelas quais os sistemas humano e natural interagem, com o objetivo de garantir que a “natureza” seja totalmente refletida nos processos de tomada de decisão do governo (BÖCK et al., 2018). O método de avaliação da transferência de benefícios usa estudos ou dados de avaliação existentes para estimar o ES em um local e depois transfere esses resultados para o ES em locais semelhantes (MEXIA et al., 2018).

De fato, o uso da terra é o objetivo para o qual os humanos exploram a cobertura da terra (por exemplo, pastoreio ou produção de feno nas pastagens). Esse objetivo é alcançado pelas práticas de gestão da terra (VERBURG et al., 2009). As práticas ou atividades de manejo que caracterizam o uso da terra e sua intensidade incluem irrigação, uso de pesticidas, manejo do gado e medidas de conservação da natureza (BENNETT et al., 2009). Essas atividades de gerenciamento definem o tipo e a intensidade do uso da terra. No que diz respeito à intensidade do uso da terra (LUI), é caracterizada pela quantidade de insumos e extração humanos. O LUI varia de leve ou extensivo, com intervenção humana mínima (ou seja, baixa intensidade), a gerenciamento intensivo e muito intensivo (ou seja, alta intensidade) com muitas intervenções humanas e conversão do ecossistema original em infraestrutura humana permanente ou em terra arável para produção de alimentos (DE GROOT et al., 2010; FOLEY et al., 2005, 2011; DE SOUZA et al., 2018).

Atualmente, diferentes práticas de gestão da terra ou suas consequências, como intensidade agrícola (TEMME et al., 2011), vegetação ou medidas de degradação ou restauração ecológica, afetam os serviços ecossistêmicos e são mais bem compreendidas (CROSSMAN et al., 2013). Além disso, foram feitos avanços no entendimento de como o manejo de um determinado tipo de ecossistema afeta os serviços ecossistêmicos (por exemplo, Yang et al. (2012) para pradarias; Ojea et al. (2012) para florestas). As taxas atuais, extensões e intensidades de mudanças no uso e cobertura da terra estão provocando mudanças sem precedentes nos ecossistemas e processos ambientais nas escalas local, regional e global (XUE et al., 2017), levando a crescentes preocupações ambientais sobre mudanças climáticas, biodiversidade perda, degradação do solo, erosão do solo e poluição da água e do ar. A interação das mudanças no uso da terra e a cobertura da terra com vários subsistemas do sistema terrestre, incluindo hidrologia, sistema climático, ciclagem biogeoquímica, complexidade ecológica e degradação do solo, tornam o estudo desse assunto complexo (QUEIROZ et al., 2017).

Monitorar e mediar as consequências negativas do uso e da mudança da cobertura da terra, mantendo a produção de recursos essenciais, tornou-se, portanto, uma das principais prioridades dos

pesquisadores e formuladores de políticas em todo o mundo (VAN OUDENHOVEN et al., 2018). Entretanto, analisar as forças sociopolíticas, econômicas, culturais e biofísicas fundamentais que podem impulsionar a dinâmica do uso e cobertura da terra e prever uma provável trajetória de mudanças futuras constitui um dos principais desafios da pesquisa sobre o uso da terra (MARTINEZ-HARMS et al., 2017). A modelagem do uso da terra é frequentemente usada para prever trajetórias de paisagens futuras. Uma abordagem típica da modelagem de mudanças no uso da terra envolve investigar como diferentes variáveis se relacionam com as tendências e transições históricas de mudanças na cobertura da terra no passado e usar essas relações para criar modelos que projetam uma provável trajetória futura de uso da terra (KOO et al., 2018)

As ferramentas de mapeamento e modelagem são aplicadas em diferentes escalas espaciais e temporais, dependendo da natureza do problema estudado e da escala de análise. Vários estudos recentes mapearam a oferta de vários serviços ecossistêmicos nos níveis global (NAIDOO et al., 2008), continental (SCHULP et al., 2012) ou nacional (BATEMAN et al., 2011). Por exemplo, os modelos no nível da paisagem alimentam diretamente o suporte local à decisão e o planejamento espacial, enquanto os modelos globais fornecem informações sobre tendências e padrões globais e podem apoiar a formulação de políticas internacionais ou contribuir para avaliações internacionais de políticas científicas (WATSON et al., 2012).

Finalmente, este estudo tem como objetivo identificar os potenciais fatores de uso da terra no nordeste do Pará, localizados no leste da Amazônia, combinando análise estatística e sensoriamento remoto. Uma trajetória futura potencial de mudança no uso da terra foi prevista em um cenário de pastagem, a fim de fornecer informações críticas aos planejadores e formuladores de políticas de uso da terra para uma gestão mais eficaz e proativa no leste da Amazônia. Para esse fim, um modelo de mudança no uso da terra foi aplicado, calibrado e avaliado usando o modelo Land Change Modeler (LCM). O LCM é uma estrutura de análise de decisão com vários critérios baseada em autômatos celulares para simular a conversão do uso da terra com base em fatores socioeconômicos e ambientais (REDDING et al., 2019). Neste estudo, estamos simulando mudanças na cobertura do solo, usando condutores de uso da terra, bem como mapas de referência e de linha de base da terra.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo é o Nordeste do Pará, Brasil ($00^{\circ} 30' - 03^{\circ} 55' S$, $46^{\circ} 12' - 50^{\circ} 28' W$). A área total é de aproximadamente 6,68% (83.316 km²) da área do estado do Pará (PA) com 49

municípios principais (Figura 1) (IBGE, 2019). A região é uma das áreas mais densamente antropizadas do leste da Amazônia (INPE, 2018). Durante o século passado, as atividades humanas transformaram muito as áreas mais facilmente acessíveis na abertura de novas estradas, e seus ecossistemas estão frequentemente espalhados por habitats associados ao crescimento da agricultura.

Os tipos de vegetação predominantes são florestas de grande porte, com um clima diversificado, de climas tropicais a monções. A região experimenta duas estações de poço: chuvosa (dezembro a maio) e seca (junho a novembro). A precipitação média anual é de 1600 - 2300 mm e a temperatura média anual é de 26,0 - 30,5 °C, o que controla significativamente as estações agrícolas na região (MORAES et al., 2005).

2.2. Processamento de dados

Neste estudo, usamos os recursos fornecidos pelo Google Earth Engine (GEE) e uma interface de programa aplicativo que realiza mosaicos, mapeamentos, modelagem do uso / cobertura da terra e estimativas para a estrutura de perda de floresta usando imagens de satélite. Além disso, no GEE, as análises são executadas paralelamente em muitas máquinas na plataforma de processamento baseada em nuvem do Google com alta eficiência computacional, mesmo quando se baseia em mosaicos de imagens multitemporais.

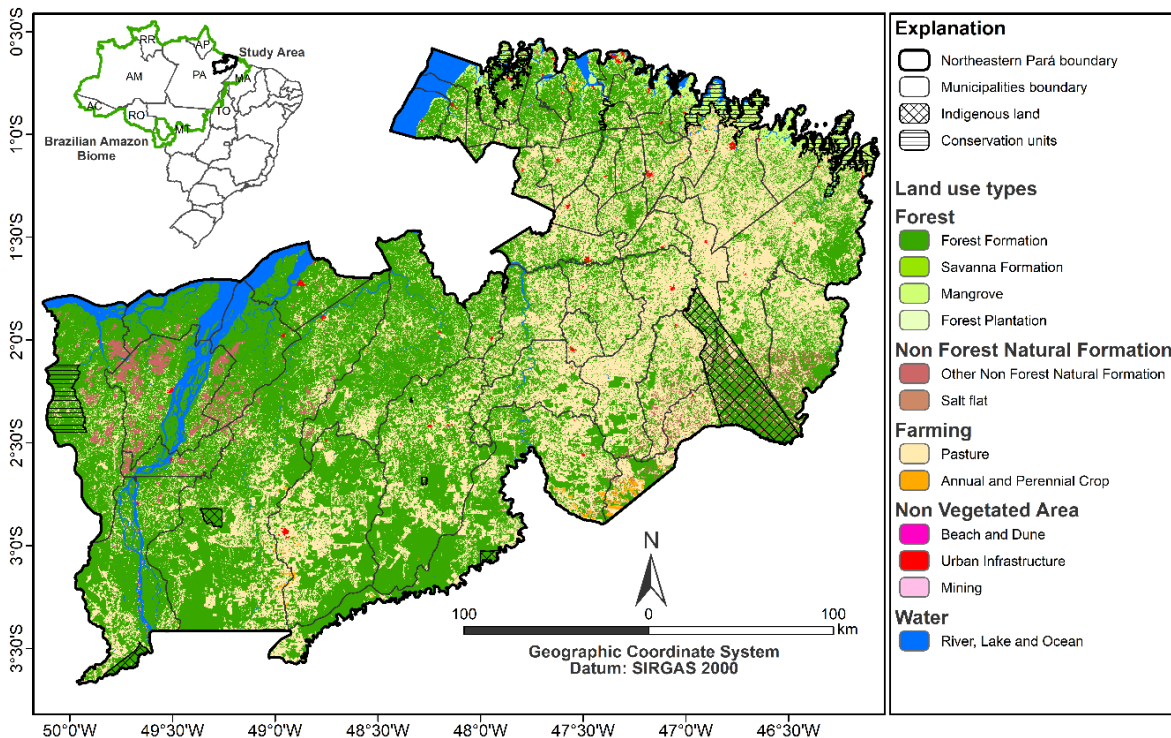


Figura 1. Mapa da área de estudo (Nordeste do Pará).

2.2.1. Modelagem de serviços ecossistêmicos

Utilizamos o modelo InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs), juntamente com algumas outras análises básicas para calcular a provisão e o valor dos serviços de ecossistemas a partir de aquisições de terras públicas para conservação. O InVEST permite que seu usuário avalie o fornecimento de vários serviços de ecossistema em cenários de mudança do LULC em um cenário escolhido pelos modeladores.

O InVEST utiliza funções de produção ecológica que são explicadas pelo padrão LULC e outros parâmetros ecológicos (Tabela 1) para determinar a provisão biofísica (por exemplo, toneladas de armazenamento de carbono) dos serviços ecossistêmicos produzidos em uma paisagem em evolução. Vários artigos usaram o InVEST para quantificar os serviços ecossistêmicos produzidos em uma paisagem.

O InVEST foi utilizado em Lukë et al. (2018) para comparar pontuações para vários serviços ecossistêmicos e biodiversidade para cenários definidos pelas partes interessadas de mudança de LULC na bacia da Nicarágua. Em Clerici et al. (2019), o InVEST foi usado para avaliar serviços ecossistêmicos para cenários reais e alternativos de mudança no uso da terra dos Andes colombianos. Mais recentemente, o InVEST foi usado em Saad et al., (2018) para explorar o grau de alinhamento entre serviços ecossistêmicos e estratégias de conservação da biodiversidade no município de São Paulo.

Tabela 1. Fontes de dados utilizadas neste estudo.

Data	Description	Sources
Basic information	Administrative boundaries, administrative center, roads, and rivers in the study area	IBGE, CRS
Land use/cover	LULC derived by interpretation of Landsat remote sensing images from 1987 to 2018 at 30 m spatial resolution	MAPBIOMAS
NDVI	MOD13Q1, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) grid data at 250 m spatial resolution	NASA-MODIS
DEM	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Digital Elevation Model (DEM) at 90 m spatial resolution	USGS
Soil data	Version 1.2 of the Harmonized World Soil Database (HWSD) at 500 m spatial resolution: Soil texture, soil particle size, and organic carbon content of topsoil	FAO
Vegetation data	Global Forest Change Dataset containing the spatial distribution of vegetation cover at 30 m spatial resolution	GEE
Climate data	Temperature, precipitation and evapotranspiration data from TerraClimate, as at 4000 m spatial resolution	GEE

*IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; CRS: Remote Sensing Center; NASA: National Aeronautics and Space Administration; MODIS: Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer; USGS: United States Geological Survey; FAO: Food and Agriculture Organization; GEE: Google Earth Engine.

2.2.2. Cenários de LULC por Land Change Modeler

As projeções de uso / cobertura da terra foram criadas usando o Land Change Modeler (LCM) 2.0. O LCM foi usado para modelar tipos de uso contínuo da terra com base em padrões espaciais de 1987 a 2018; especificamente, transições de cobertura terrestre para floresta, formação natural não florestal, agricultura, área não vegetada. O procedimento LCM envolve análise de mudanças, determinação de fatores de mudança, aplicação de regras e restrições, previsões de transição baseadas em cadeia de Markov e validação do modelo (ISLAM et al., 2018) (Figura 2).

2.2.3. Dados

Este estudo trata de várias camadas temáticas desenvolvidas usando imagens de satélite, censo de dados socioeconômicos e folhas topográficas. Os mapas de uso e cobertura do solo (LULC) foram produzidos usando conjuntos de dados de satélite para entender a dinâmica do crescimento urbano de 1987 a 2018 derivada da MapBiomas Coleção 4.0. Juntamente com o LULC, vários fatores de crescimento regional, como declividade, proximidade e acessibilidade a estradas e rios, proximidade à borda da floresta (porcentagem de cobertura de árvores) e locais de assentamento, foram preparados como camadas rasterizadas para fins de modelagem (Tabela 2).

Para obter os melhores valores limite possíveis, um modelo foi calibrado cuidadosamente para manter o LULC simulado próximo ao LULC real, tanto estatisticamente quanto espacialmente. A tendência dos valores-limite obtidos foi avaliada para projeções futuras de uso e cobertura do solo para os anos de 2018, 2038 e 2024. Os locais de treinamento foram desenvolvidos a partir dos dados de referência do MapBiomas coletados para gerar uma assinatura para cada tipo de cobertura do solo.

Os tipos de uso da terra foram reclassificados em 5 grupos, ou seja, Floresta, Formação Natural Não Florestal, Agricultura, Área Não Vegetada e Água. Uma precisão geral de 85,6% e um coeficiente Kappa de 0,88 foram atingidos no mapa simulado de 2018. O LULC, a rede viária e outras camadas temáticas foram integradas usando o ArcGIS 10.3 (ESRI, Redlands, EUA), enquanto a calibração e a projeção futura foram realizadas no Python 3.4, usando as bibliotecas GDAL 2, Numpy 1.14, Matplotlib 2.2 e Scikit-Learn 0.19.

Variáveis como tecnologia e cultura foram ignoradas devido à indisponibilidade dos dados. Neste estudo, todos os dados são processados em uma escala de grade regular de 1000×1000 m no ArcGIS 10.3 antes de serem adicionados ao modelo LCM. Exceto pela varredura de distâncias euclidianas, todos os outros fatores são variáveis contínuas.

Tabela 2. As entradas de dados e as mudanças de uso da terra.

Variables	Description	Dataset	Sources
Population	Gridded population dataset	GPW	GEE
Settlement	Settlement locations	GHSL	GEE
Protected areas	Terrestrial protected areas	WDPA	GEE
Livestock	Gridded livestock dataset	CSRMAPS	UFMG
Crop	Gridded map dataset	CSRMAPS	UFMG
Distance to roads	Euclidean distance to roads	CSRMAPS	UFMG
Distance to rivers	Euclidean distance to rivers	HYDROSAT	ANA
Elevation, slope and aspect	Elevation (DEM) and derived	DEM	USGS
Distance from forest edge	Distance from forest edge	GFCD	GEE
Land use Map	Land use maps	MAPBIOMAS	GEE

*GPW: Gridded Population of World; GHSL: Global Human Settlement Layer; WDPA: World Database on Protected Areas; UFMG: Federal University of Mato Grosso; ANA: Agência Nacional de Águas; DEM: Digital Elevation Model; GFCD: Global Forest Cover dataset.

2.2.4. Regras e restrições

Regras e restrições também foram aplicadas ao modelo. Uma camada booleana que expressa áreas de conservação e desenvolvimento restrito foi adicionada ao modelo para que os tipos de uso da terra não ocorressem em áreas sob crescimento urbano e áreas protegidas. Essa camada espacial inclui áreas de terras indígenas e unidades de conservação federais e estaduais no Nordeste do Pará.

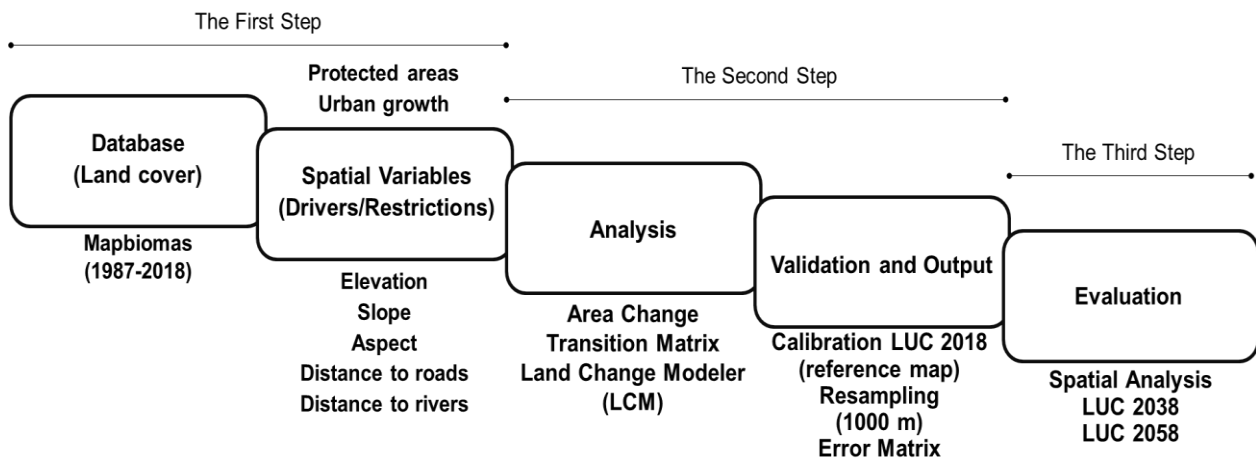


Figura 2. Fluxograma para simulação de cenário LULC.

2.2.6. Análise baseada em Gi* statistics

Neste artigo, a estatística Getis-Ord Gi foi usada para identificar pontos quentes e frios do serviço de conservação do solo (SC). Como uma ferramenta integrada no ArcGIS 10.5, essa abordagem leva cada pixel raster dentro do contexto de recursos vizinhos para o cálculo e gera uma nova classe de

recursos com z-score, p-value e nível de confiança. Recursos com alto escore z e pequeno valor p demonstram resfriados estatisticamente significativos. A magnitude do valor absoluto do escore z explica a intensidade do agrupamento (GETIS et al., 1992; MITCHELL, 2005). Essa abordagem pode ajudar a identificar pontos de acesso e resfriados com diferentes níveis significativos, com base nos quais as partes interessadas podem definir prioridades correspondentes de acordo com os requisitos reais. O princípio deste método é mostrado da seguinte forma:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\left[\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1} \right]^{1/2}}} \quad (1)$$

onde G_i^* é o z-score das camadas i . x_j é o valor atribuído as camadas j ; w_{ij} são os pesos entre camadas i e j , é a distância entre os polígonos j para cada raster i é devido à ausência entre distâncias, $w_{ij} = 1$; caso contrário $w_{ij} = 0$; n é o número total de pixels e

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}, S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n-1} - (\bar{X})^2} \quad (2)$$

A identificação e o mapeamento dos pontos ativos e frios podem visualizar áreas prioritárias de maneira espacial e explícita, o que é útil para a formulação de políticas direcionadas.

3. Resultados

3.1. Mapeamento do uso da terra por satélite e cobertura do solo

Verificou-se que as terras agrícolas (baseadas em satélite) reais aumentaram de 513,67 km² para 27.867,44 km² durante o período 1985-2018, com uma variação de 27,1%. A observação periódica mostra que a área agrícola era de 513,67 km² (6,1% da área total) em 1985, que aumentou 19387,17 km² (23,3%) em 2001 com 17,1% e depois aumentou novamente, com um aumento na área de 27.867, Crescimento de 44 km², principalmente no sudoeste e centro-leste do nordeste do Pará (Fig. 3 e Tabela 3).

A mudança geral na área florestal desde 1985 a 2018 foi observada em -27,3%. A cobertura vegetal ocupou 72.422,48 km² em 1985 (86,9%), que diminuiu para 58.573,95 km² (2001) com variação de -16,4%. Mais tarde, diminuiu para 49.708,91 km² (59,7%) em 2018 com variação de -10,6%. A área coberta por formação natural não florestal foi de 1.775,17 km² (2,1%) no ano de 1985, que caiu para 1.250,76 km² (1,5%) em 2001 com variação de -0,6%. Em 2018, essa área aumentou

para 1.493,32 km² (1,8%) com variação de 0,3%. O aumento geral na área Não Vegetada foi de 0,2%. Todas as demais características colocadas na área Não Vegetada cobriram uma área total de 74,66 km² (0,1%) em 1985, que aumentou para 118,88 km² (0,2%) em 2018, e as massas de água não mudou substancialmente durante o período. O estudo mostra a influência direta do rápido crescimento da agricultura em outras classes LULC durante o período 1985–2018.

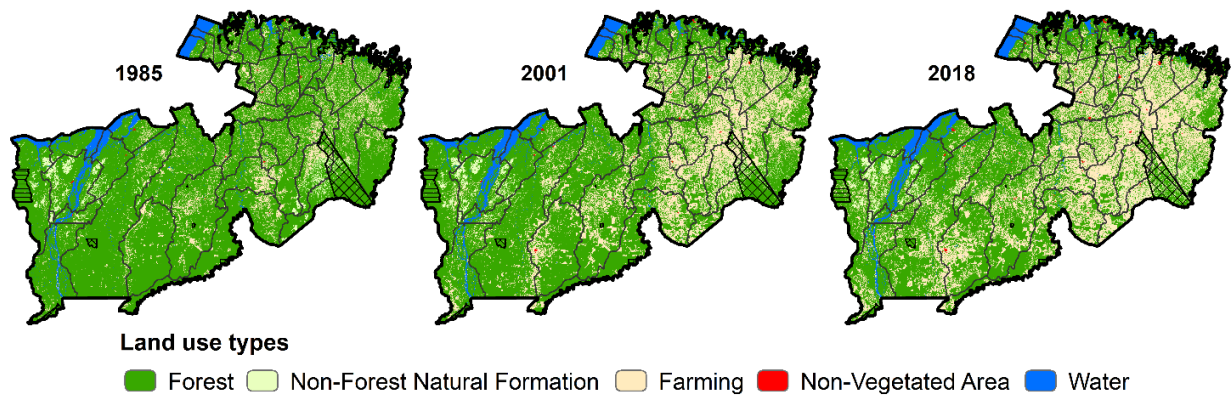


Figura 3. Mapas LULC baseados em satélite do Nordeste do Pará para os anos 1985, 2001 e 2018.

Tabela 3. Matriz de transição (baseada em satélite de 1985 a 2018).

LULC	FOR	NFNF	FAR	NVA	WTR
FOR	39.773,95	321,98	1.8513,51	70,21	169,46
NFNF	125,08	915,91	291,32	1,61	3,23
FAR	1.023,24	4,84	405,18	4,68	9,68
NVA	1,61	0,81	1,61	56,49	4,03
WTR	121,85	1,13	18,56	5,65	3.411,06

*FOR: Forest; NFNF: Non-forest natural formation; FAR: Farming; NVA: Non-vegetated area; WTR: Water.

3.2. Uso do solo e mudança de cobertura

A área florestal aumentou substancialmente de 2018 (observado) para 2018 (simulado). De fato, área de floresta de 49.708,91 km² ou 59,7% em 2018 (observada) e 51.128,91 km² ou 61,4% em 2018 (simulada). Da mesma forma, a área agrícola nesse período foi de 27.867,44 km² ou 33,5% e 26.867,44 km² ou 32,3%, respectivamente (tabela 4). Pelo contrário, a formação natural não florestal e a área não vegetada diminuíram no mesmo período simulado. Formação natural não florestal de 1.493,32 km² ou 1,8% e 1.373,32 km² ou 1,6% em 2018 (observada) e Área não vegetada de 217,14 km² ou 0,3% e 177,14 km² ou 0,2 % em 2018 (simulado, Figura 3). Além disso, a precisão geral

derivada e o coeficiente de chapéu Kappa para o mapa temático LULC classificado em 2018 (simulado) foram 91,36% e 94,32%, respectivamente.

3.3 Influência do crescimento futuro da agricultura em vegetação variada

Os tipos de uso da terra ilustrados pelo modelo baseado no LCM indicam um aumento líquido de 24.523,84 km² na área agrícola e uma taxa agrícola de 29,4% nos anos de 2018 a 2058 (Figura 4). Isso terá um impacto considerável em outras categorias de LULC (perda líquida: 1.150,20 km²) e na cobertura vegetal (perda líquida: 24.512,33 km²). O estudo mostra que as taxas de crescimento da agricultura no Nordeste do Pará serão mais altas no período de 2038 a 2058 do que no período de 1987 a 2018. Isso servirá de ímpeto para a grande perda de outras categorias de LULC no período de 2038 a 2058 em comparação com o período de 1987 a 2018, enquanto a cobertura vegetal testemunhará um impacto semelhante durante os dois períodos.

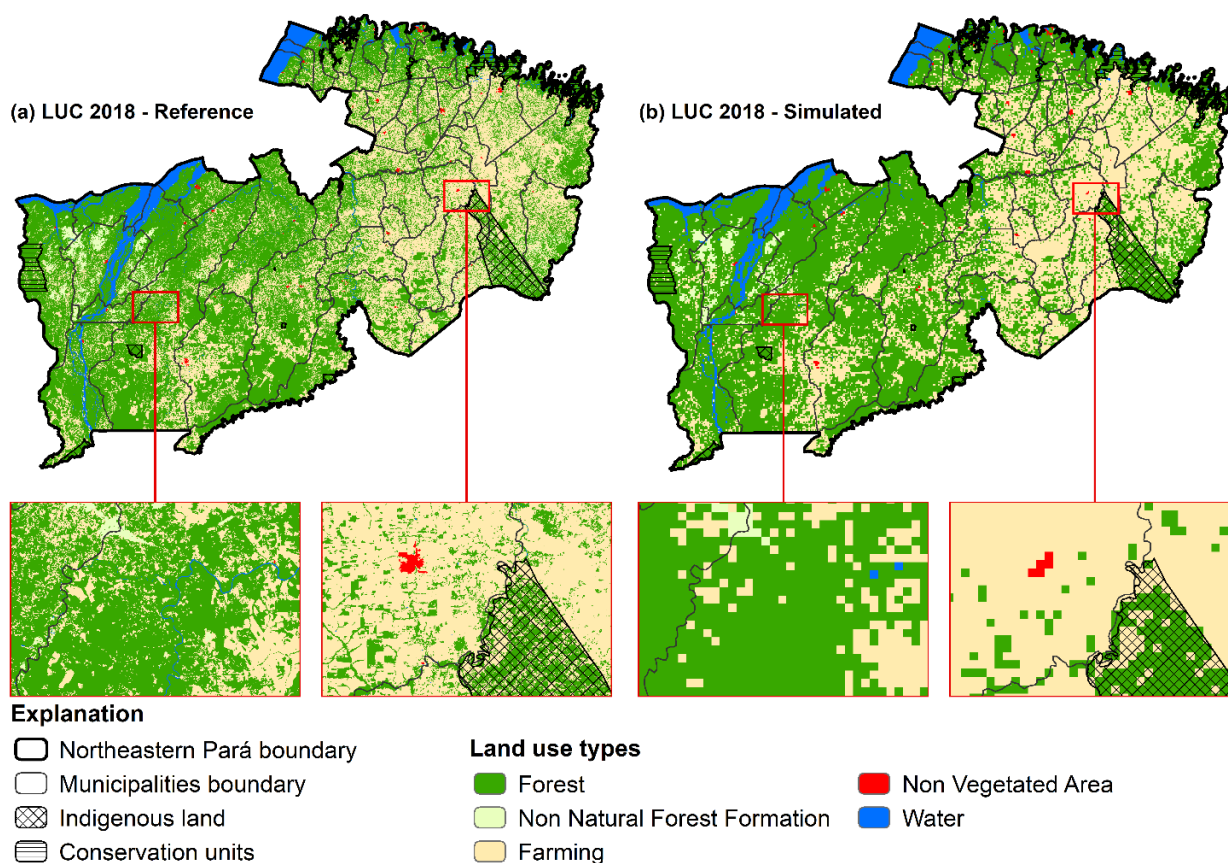


Figura 4. Algoritmo de classificação de mapeamento para modelagem preditiva em 2018.

Tabela 4. Estatísticas de área de vários tipos de uso da terra para o ano de 2018 (observado) e simuladas para 2018.

LULC types	LULC 2018 (observed)		LULC 2018 (simulated)	
	Area/km ²	Area (%)	Area/km ²	Area (%)
Forest	49.708,91	59.7	51.128,91	61,4
Non-Forest Natural Formation	1.493,32	1.8	1.373,32	1,6
Farming	27.867,44	33.5	26.867,44	32,3
Non-Vegetated Area	217,14	0.3	177,14	0,2
Water	4.015,44	4.8	3.755,44	4,5
Total	83,302,25	100.00	83.302,25	100.00

3.4. Impactos das mudanças observadas no LULC nos serviços ecossistêmicos

Como resultados da previsão de LULC de dois cenários diferentes (Figura 5), os tipos significativos de LULC com área crescente entre 2018, 2038 e 2058 foram tipos de uso de terras florestais e agrícolas. Por outro lado, os tipos LULC não dominantes com área decrescente no mesmo período foram área não vegetada, formação natural não florestal e corpos d'água. A mudança do LULC nesses cenários (2038 e 2058) é ditada pela mudança histórica do LULC entre 1987 e 2018, que representa o desenvolvimento socioeconômico na área de estudo.

Além disso, o aumento da provisão de alimentos (62,2%) ocorreu às custas, no entanto, de reduções significativas no armazenamento de carbono (-58,2%), controle de erosão (-57,8%), regulação do fluxo de água (61,9%), regulação do clima (56,3 %) e recreação florestal (-6,7%) (Figura 5a). Os resultados mostram trocas significativas entre o serviço de provisionamento e os serviços reguladores e culturais. Descobrimos que a floresta tropical natural diminuiu 28,3% em 2058 em relação às condições observadas em 2018, e todos os serviços de regulação também diminuiram (armazenamento de carbono, 21,9%; controle de erosão, 23,6%; regulação do fluxo de água, 40,4%; regulação do clima, 21,2%) (Figura 5c). Esses resultados de modelagem mostram que o crescimento da agricultura aumentou significativamente os serviços de provisionamento de ecossistemas, mas também reduziu drasticamente os serviços de regulação de ecossistemas e a floresta tropical natural no nordeste do Pará.

3.5. Redução ou eliminação de trade-offs de serviços ecossistêmicos

O gerenciamento complexo de ecossistemas poderia efetivamente reduzir ou até eliminar as trocas entre o fornecimento, a regulação e os serviços culturais do ecossistema. O cenário 2038 e 2058 mantém áreas naturais de floresta e agricultura alinhadas com os dados observados em 2018.

Isso mantém o armazenamento de carbono altamente alterado das condições observadas em 2018 e não apenas diminui os serviços de regulação (em -60%), mas também contribui significativamente para diminuir a recreação florestal (17,4%). A retenção de florestas naturais não mantém necessário o potencial para recreação e turismo no Nordeste do Pará.

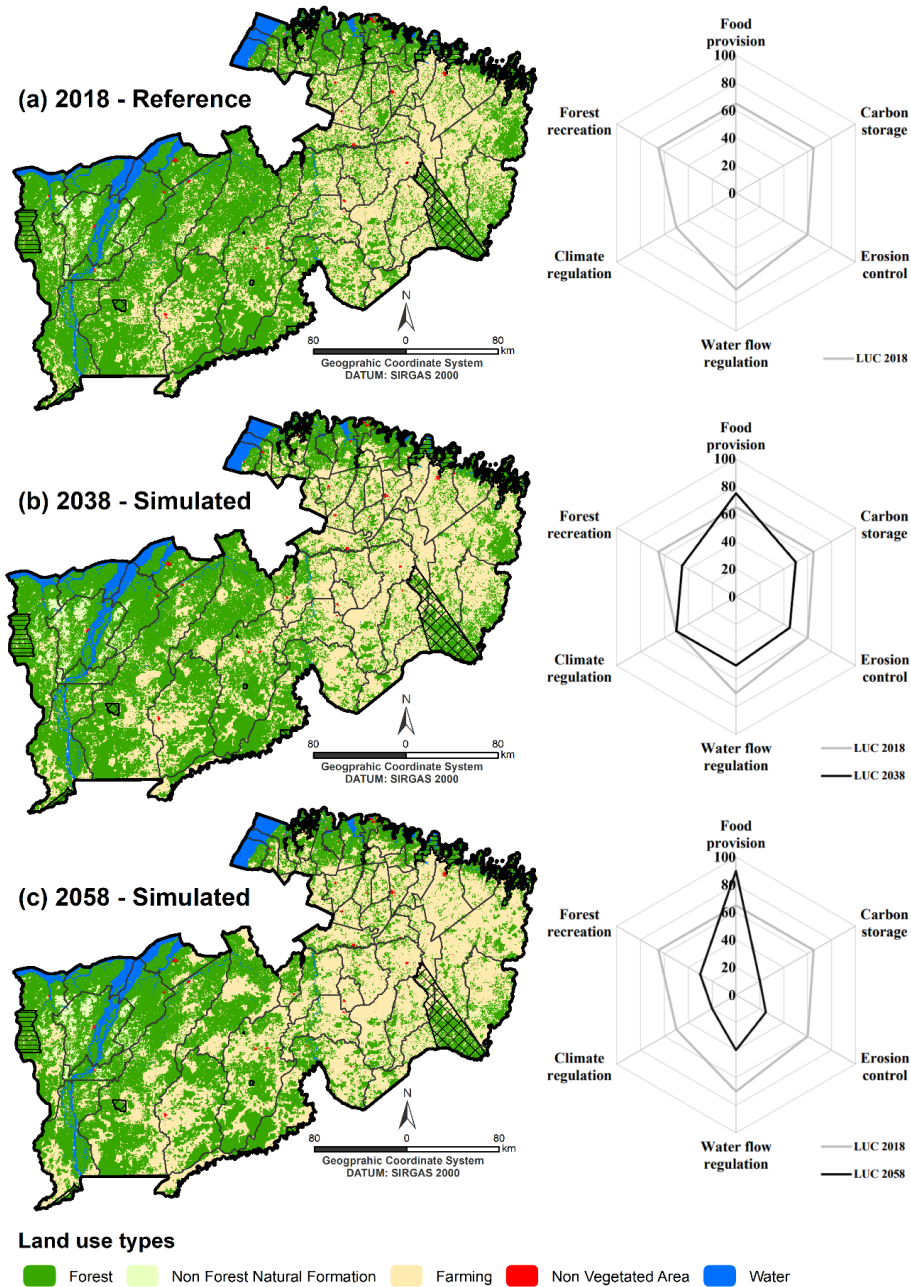


Figura 5. Interfaces de uso / cobertura da terra (LUC) e resultados de avaliação para cenários selecionados. (a) LUC 2018 (referência); (b) LUC 2038 e; (c) LUC 2058. Os gráficos de aranha resultantes exibem os resultados do cenário (linha preta) e os resultados do padrão inicial (Referência, linha cinza). As diferentes cores nos mapas representam as classes individuais de uso do solo.

3.6. Detecção de pontos quentes e frios

Com base na análise da distribuição da oferta de provisão, pode-se observar uma clara diferença entre as regiões oeste e leste do nordeste do Pará. Em 2018, a região leste apresentou um grande ponto quente e a região oeste apresentou um ponto frio expressivo em seus municípios. Da mesma forma, em 2038, os aglomerados de valores altos apareceram a leste da área de estudo e valores baixos apareceram no oeste da área de estudo. No ano seguinte (2058), essa polarização permaneceu, mas de maneira mais intensa.

Isso mostra uma evolução na disponibilidade da prestação de serviços de prestação de serviços no nordeste do Pará. Além disso, é evidente que a diminuição das diferenças nos comportamentos deste serviço ocorreu entre 2018 e 2038. Um comportamento semelhante é observado nos serviços de regulação, com hot spots e aglomerados de baixo valor no leste da área de estudo e aglomerados de alto valor e pontos quentes no norte e oeste. No entanto, esses resultados são menos abrangentes. Isso mostra que os serviços de regulação, apesar das diferentes estatísticas entre as três áreas, impactam o Nordeste do Pará de maneira semelhante ao fornecimento de alimentos.

Os serviços culturais apresentam um comportamento espacial diferente dos demais. Notavelmente, pontos quentes e grupos de altos valores sempre aparecem nas regiões oeste e norte da área de estudo, com poucos municípios mostrando valores discrepantes dentro desses grupos de alto valor. Os pontos frios e os aglomerados de valores baixos, por outro lado, estão na região centro-leste do Nordeste do Pará, mas com variabilidade expressiva dentro desses aglomerados de baixo valor ao longo dos anos. Mais uma vez, a região leste é a menos privilegiada em termos dessa oferta de serviços ecossistêmicos (Figura 6).

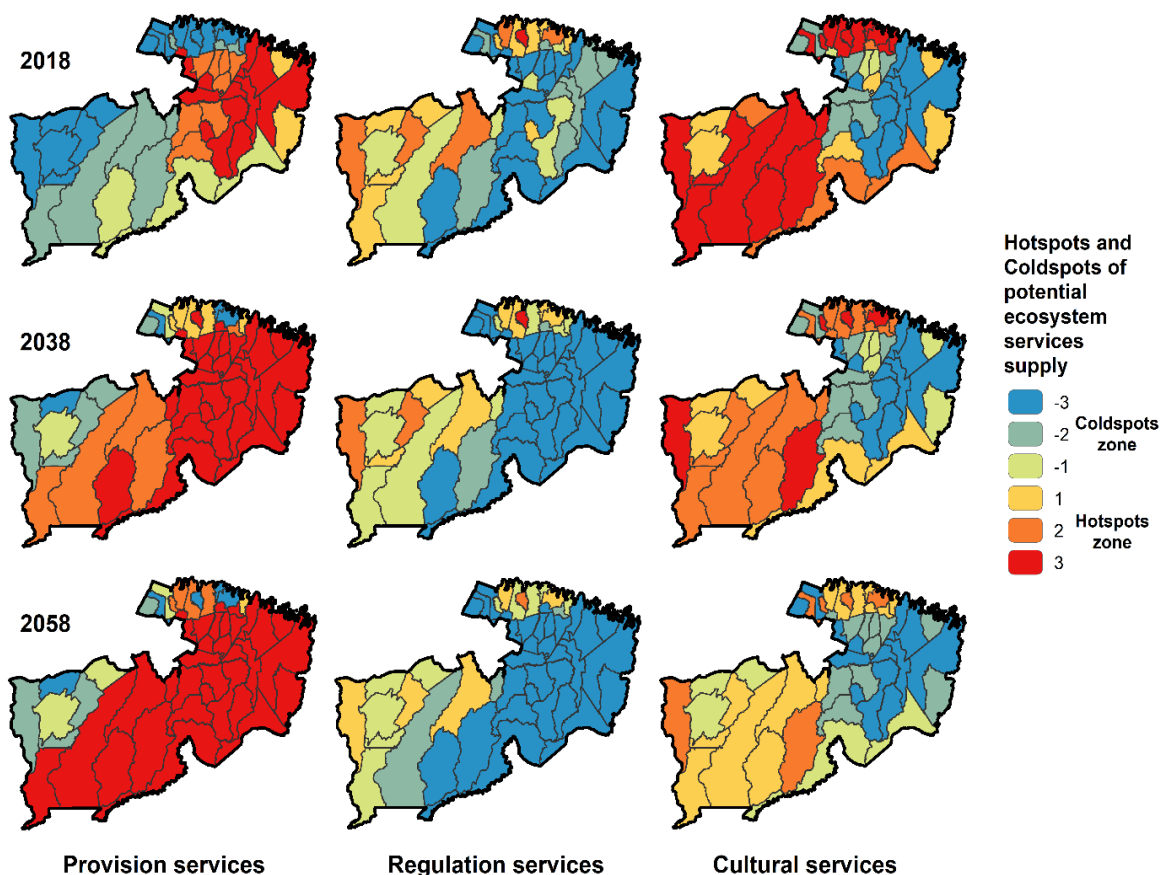


Figura 6. Soma da oferta potencial de serviços do ecossistema florestal pelos municípios do Nordeste do Pará.

4. Discussão

4.1 O efeito de escala da oferta de serviços ecossistêmicos

Neste estudo, a distribuição de vários SE, incluindo fornecimento de alimentos e regulação do clima, pode ser vista em escalas espaciais grosseiras. Estudos semelhantes foram observados para os serviços de prestação de serviços na Península de Noto, Japão (Hashimoto et al., 2018), e os serviços de regulação na região de Misiones, Argentina (Izquierdo e Clarck, 2012). Descobrimos que a ES distribuída pode ser fornecida direta ou influenciada indiretamente por sistemas semi-naturais e artificiais, que frequentemente sofrem intensa modificação humana em unidades de pesquisa em larga escala (como o crescimento da intensidade de pastagem das pastagens neste estudo). Embora as descobertas anteriores mostrem que o padrão espacial do suprimento de ES pode ser otimizado por meio da configuração humana, devemos estar alertas para que a distribuição discreta de pontos ativos de ES possa levar a incompatibilidades espaciais entre oferta e demanda no gerenciamento de ecossistemas locais (Wunder et al., 2018). Uma melhor compreensão das características espaciais de

agrupamento de ES poderia fornecer aos gerentes informações úteis para decidir onde melhorar o suprimento de ES em uma escala específica.

4.2 Uma estrutura para integrar padrões de serviços e associações de ecossistemas em diferentes escalas espaciais

A integração do conceito de ES na tomada de decisões tem sido cada vez mais promovida na literatura científica, bem como nas diretrizes de políticas em diferentes níveis estratégicos (Koschke et al., 2014; Parron et al., 2019). A maioria dos estudos anteriores concentrou-se em como integrar a ES nos valores sociais, ou como incluir a ES e o bem-estar humano na estrutura da prática de gestão (Iniestia-Arandia et al., 2014; Lima et al., 2017; Santos-Martín et al., 2019). No entanto, poucos pesquisadores notaram o efeito de escala durante a avaliação do processo de fornecimento de ES na floresta tropical. Com base em nossos resultados, estabelecemos uma estrutura para integrar padrões espaciais de serviços ecossistêmicos e associações entre eles em várias mudanças no uso da terra. Nessa estrutura, precisamos resolver um problema central sobre como detectar o efeito de escala. Neste estudo, coordenamos as rotas de análise em dois cenários. Em termos de padrão ES individual, os resultados da identificação de pontos quentes e frios são relativamente intuitivos quando os métodos populares da estatística G_i^* são usados (Harris et al., 2017). Utilizamos uma análise de correlação relativamente simples para quantificar a interação ES em pares e sua força. Muitos pesquisadores usaram análises de cluster para identificar a oferta de serviços do ecossistema, no entanto, o algoritmo de análise de cluster e o número de clusters precisam ser determinados subjetivamente. Mas o método de análise de hotspot baseado em estatística G_i^* , um dos métodos quantitativos de agrupamento espacial, é especialmente eficiente para avaliar e identificar pontos de acesso e pontos de acesso ES com boa conectividade espacial. Desse modo, esse método é mais benéfico para o manejo prático e econômico de conservação de ES (Guerra et al., 2014; Chen et al., 2020).

Finalmente, variáveis sociais e ecológicas, que podem afetar a oferta de ES em diferentes escalas, devem ser identificadas. Atualmente, o entendimento sobre as diferenças entre variáveis sociais e ecológicas em diferentes escalas, bem como os mecanismos propulsores das compensações de ES, é escasso e deve ser resolvido com urgência para caracterizar e explicar a correlação entre escalas desses fatores. Além disso, podemos introduzir os objetivos políticos e as necessidades das partes interessadas em várias escalas, de modo a coordenar escalas ecológicas e administrativas na gestão de vários níveis de ES (Paudyal et al., 2018).

5. Conclusão

A integração do conceito de ES na tomada de decisões foi cada vez mais promovida na literatura científica, bem como nas diretrizes de políticas em diferentes níveis estratégicos (KOSCHKE et al., 2014; PARRON et al., 2019). A maioria dos estudos anteriores concentra-se em integrar um ES nos valores sociais ou incluir um ES e um bem-estar humano na estrutura de prática de gestão (INIESTIA-ARANDIA et al., 2014; LIMA et al., 2017; SANTOS-MARTÍN et al., 2019). No entanto, poucos pesquisadores notaram o efeito de escala durante a avaliação do processo de fornecimento de ES na floresta tropical. Com base nos nossos resultados, criamos uma estrutura para integrar padrões de serviços ecossistêmicos e associações entre eles em várias mudanças no uso da terra. Nessa estrutura, precisamos resolver um problema central sobre como detectar o efeito de escala. Neste estudo, coordenamos como rotas de análise em dois cenários. Em termos de padrão ES individuais, os resultados da identificação de pontos quentes e frios são relativamente intuitivos quando os métodos populares da estatística G_i^* são usados (HARRIS et al., 2017). Utilizamos uma análise de correlação relativamente simples para quantificar a interação ES em pares e sua força. Muitos pesquisadores usaram análises de cluster para identificar uma oferta de serviços do ecossistema, no entanto, o algoritmo de análise de cluster e o número de clusters que podem ser usados subjetivamente. Mas o método de análise de hotspot baseado em estatísticas G_i^* , um dos métodos quantitativos de agrupamento espacial, é especialmente eficiente para avaliar e identificar pontos de acesso e pontos de acesso ES com boa conectividade espacial. Desse modo, esse método é mais benéfico para o manejo prático e econômico de conservação de ES (GUERRA et al., 2014; CHEN et al., 2020).

Finalmente, variáveis sociais e ecológicas, que podem alterar a oferta de ES em diferentes escalas, devem ser identificadas. Atualmente, o entendimento sobre as diferenças entre variáveis sociais e ecológicas em diferentes variações, bem como os motores propulsores de compensações de ES, é monitorado e deve ser resolvido com urgência para caracterizar e explicar a correlação entre variáveis desses fatores. Além disso, podemos selecionar os objetivos políticos e as exigências das partes envolvidas em várias variações, de modo a coordenar escalas ecológicas e administrativas na gestão de vários níveis de ES (PAUDYAL et al., 2018).

Referências

- Assandri, G., Bogliani, G., Pedrini, P., Brambilla, M. (2018). Beautiful agricultural landscapes promote cultural ecosystem services and biodiversity conservation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256, 200–210. doi:10.1016/j.agee.2018.01.012
- Bateman, I. J., Mace, G. M., Fezzi, C., Atkinson, G., & Turner, R. K. (n.d.). Economic analysis for ecosystem service assessments. *Valuing Ecosystem Services*, 23–77. doi:10.4337/9781781955161.00013
- Bennett, E. M., Peterson, G. D., & Gordon, L. J. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 12(12), 1394–1404. doi:10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x
- Böck, K., Polt, R., & Schülting, L. (2018). Ecosystem Services in River Landscapes. *Riverine Ecosystem Management*, 413–433. doi:10.1007/978-3-319-73250-3_21
- Castro, M. C., Baeza, A., Codeço, C. T., Cucunubá, Z. M., Dal'Asta, A. P., De Leo, G. A., ... Santos-Vega, M. (2019). Development, environmental degradation, and disease spread in the Brazilian Amazon. *PLOS Biology*, 17(11), e3000526. doi:10.1371/journal.pbio.3000526
- Chen, Y., Xu, N., Yu, Q., & Guo, L. (2020). Ecosystem Service Response to Human Disturbance in the Yangtze River Economic Belt: A Case of Western Hunan, China. *Sustainability*, 12(2), 465. doi:10.3390/su12020465
- Cerretelli, S., Poggio, L., Gimona, A., Yakob, G., Boke, S., Habte, M., ... Black, H. (2018). Spatial assessment of land degradation through key ecosystem services: The role of globally available data. *Science of The Total Environment*, 628-629, 539–555. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.02.085
- Chan, K. M. A., Shaw, M. R., Cameron, D. R., Underwood, E. C., & Daily, G. C. (2006). Conservation Planning for Ecosystem Services. *PLoS Biology*, 4(11), e379. doi:10.1371/journal.pbio.0040379
- Clerici, N., Cote-Navarro, F., Escobedo, F. J., Rubiano, K., & Villegas, J. C. (2019). Spatio-temporal and cumulative effects of land use-land cover and climate change on two ecosystem services in the Colombian Andes. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.275
- Costanza, R.; D'arge, R.; De Groot, R.; et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 1, p. 253–260, 1997.

Crossman, N.D.; Bryan, B.A.; De Groot, R.S.; et al. Land science contributions to ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 5, n. 2, p. 509–514, 2013.

Crossman, N. D., Bryan, B. A., de Groot, R. S., Lin, Y.-P., & Minang, P. A. (2013). Land science contributions to ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5), 509–514. doi:10.1016/j.cosust.2013.06.003

De Groot, R., Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Haines-Young, R., Gowdy, J., Maltby, E., Neuville, A., Polasky, S., Portela, R., Ring, I. (2010a) Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation, in: Kumar, P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London, pp. 9-40

De Souza, R. A.; De Marco, P. Improved Spatial Model For Amazonian Deforestation: An Empirical Assessment And Spatial Bias Analysis. *Ecological Modelling*, V. 387, P. 1-9, 2018. Doi: 10.1016/J.Ecolmodel.2018.08.015

Foley, J.A.; Defries, R.; Asner, G.P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S.R.; Chapin, F.S.; Coe, M.T.; Daily, G.C.; Gibbs, H.K.; Et Al. Global Consequences Of Land Use. *Science*, V. 309, 570–574, 2005. Doi:10.1126/Science.1111772

Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstrom, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D.P.M. (2011) Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337-342.

Guerra, C. A., Pinto-Correia, T., & Metzger, M. J. (2014). Mapping Soil Erosion Prevention Using an Ecosystem Service Modeling Framework for Integrated Land Management and Policy. *Ecosystems*, 17(5), 878–889. doi:10.1007/s10021-014-9766-4

Getis A, Ord J K, 1992. The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24(3): 189–206.

Harris, N. L., Goldman, E., Gabris, C., Nordling, J., Minnemeyer, S., Ansari, S., ... Potapov, P. (2017). Using spatial statistics to identify emerging hot spots of forest loss. *Environmental Research Letters*, 12(2), 024012. doi:10.1088/1748-9326/aa5a2f

Hashimoto, S., DasGupta, R., Kabaya, K., Matsui, T., Haga, C., Saito, O., & Takeuchi, K. (2018). Scenario analysis of land-use and ecosystem services of social-ecological landscapes: implications of

alternative development pathways under declining population in the Noto Peninsula, Japan. *Sustainability Science*. doi:10.1007/s11625-018-0626-6

IBGE, 2019. Atlas Do Censo Demográfico 2010. <https://Biblioteca.Ibge.Gov.Br/Index.Php/>.

INPE. 2019. Image Catalog of Remote Sensing. <http://Www.Dgi.Inpe.Br/Cdsr/>

Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Aguilera, P. A., Montes, C., & Martín-López, B. (2014). Socio-cultural valuation of ecosystem services: uncovering the links between values, drivers of change, and human well-being. *Ecological Economics*, 108, 36–48. doi:10.1016/j.ecolecon.2014.09.028

Islam, K., Rahman, M. F., & Jashimuddin, M. (2018). Modeling land use change using Cellular Automata and Artificial Neural Network: The case of Chunati Wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Ecological Indicators*, 88, 439–453. doi:10.1016/j.ecolind.2018.01.047

Izquierdo, A. E., & Clark, M. L. (2012). Spatial Analysis of Conservation Priorities Based on Ecosystem Services in the Atlantic Forest Region of Misiones, Argentina. *Forests*, 3(3), 764–786. doi:10.3390/f3030764

Koo, H., Kleemann, J., & Fürst, C. (2018). Land Use Scenario Modeling Based on Local Knowledge for the Provision of Ecosystem Services in Northern Ghana. *Land*, 7(2), 59. doi:10.3390/land7020059

Koschke, L., Lorz, C., Fürst, C., Lehmann, T., & Makeschin, F. (2014). Assessing hydrological and provisioning ecosystem services in a case study in Western Central Brazil. *Ecological Processes*, 3(1). doi:10.1186/2192-1709-3-2

Laterra, P., Barral, P., Carmona, A., & Nahuelhual, L. (2016). Focusing Conservation Efforts on Ecosystem Service Supply May Increase Vulnerability of Socio-Ecological Systems. *PLOS ONE*, 11(5), e0155019. doi:10.1371/journal.pone.0155019

Lin, Y.-P., Chen, C.-J., Lien, W.-Y., Chang, W.-H., Petway, J., & Chiang, L.-C. (2019). Landscape Conservation Planning to Sustain Ecosystem Services under Climate Change. *Sustainability*, 11(5), 1393. doi:10.3390/su11051393

Lima, J. E. F. W., de Gois Aquino, F., Chaves, T. A., & Lorz, C. (2017). Development of a spatially explicit approach for mapping ecosystem services in the Brazilian Savanna – MapES. *Ecological Indicators*, 82, 513–525. doi:10.1016/j.ecolind.2017.07.028

- Lüke, A.; Hack, J. Comparing the applicability of commonly used hydrological ecosystem services models for integrated decision-support. *Sustainability*, v. 10, n. 2, 346. doi:10.3390/su10020346
- Martinez-Harms, M. J., Bryan, B. A., Figueroa, E., Pliscoff, P., Runting, R. K., & Wilson, K. A. (2017). Scenarios for land use and ecosystem services under global change. *Ecosystem Services*, 25, 56–68. doi:10.1016/j.ecoser.2017.03.021
- Mexia, T., Vieira, J., Príncipe, A., Anjos, A., Silva, P., Lopes, N., ... Pinho, P. (2018). Ecosystem services: Urban parks under a magnifying glass. *Environmental Research*, 160, 469–478. doi:10.1016/j.envres.2017.10.02
- Mitchell A, 2005. *The ESRI Guide to GIS Analysis, Volume 2: Spatial Measurements and Statistics*. Redlands. CA: Esri Press.
- Naidoo, R., Balmford, A., Costanza, R., Fisher, B., Green, R. E., Lehner, B., ... Ricketts, T. H. (2008). Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9495–9500. doi:10.1073/pnas.0707823105
- Ojea, E., Martin-Ortega, J., & Chiabai, A. (2012). Defining and classifying ecosystem services for economic valuation: the case of forest water services. *Environmental Science & Policy*, 19-20, 1–15. doi:10.1016/j.envsci.2012.02.002
- Parron, L. M., Fidalgo, E. C. C., Luz, A. P., Campanha, M. M., Turetta, A. P. D., Pedreira, B. C. C. G., & Prado, R. B. (2019). Research on ecosystem services in Brazil: a systematic review. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14(3). doi:10.4136/ambi-agua.2263
- Paudyal, K., Baral, H., & Keenan, R. J. (2018). Assessing social values of ecosystem services in the Phewa Lake Watershed, Nepal. *Forest Policy and Economics*, 90, 67–81. doi:10.1016/j.forpol.2018.01.011
- Queiroz, L. de S., Rossi, S., Calvet-Mir, L., Ruiz-Mallén, I., García-Betorz, S., Salvà-Prat, J., & Meireles, A. J. de A. (2017). Neglected ecosystem services: Highlighting the socio-cultural perception of mangroves in decision-making processes. *Ecosystem Services*, 26, 137–145. doi:10.1016/j.ecoser.2017.06.013
- Redding, D. W., Atkinson, P. M., Cunningham, A. A., Lo Iacono, G., Moses, L. M., Wood, J. L. N., & Jones, K. E. (2019). Impacts of environmental and socio-economic factors on emergence and epidemic potential of Ebola in Africa. *Nature Communications*, 10(1). doi:10.1038/s41467-019-12499-6

- Rendón, O. R., Garbutt, A., Skov, M., Möller, I., Alexander, M., Ballinger, R., ... Beaumont, N. (2019). A framework linking ecosystem services and human well-being: Saltmarsh as a case study. *People and Nature*. doi:10.1002/pan3.10050
- Saad, S. I., Mota da Silva, J., Silva, M. L. N., Guimarães, J. L. B., Sousa Júnior, W. C., Figueiredo, R. de O., & Rocha, H. R. da. (2018). Analyzing ecological restoration strategies for water and soil conservation. *PLOS ONE*, 13(2), e0192325. doi:10.1371/journal.pone.0192325
- Sala, O. E., Yahdjian, L., Havstad, K., & Aguiar, M. R. (2017). Rangeland Ecosystem Services: Nature's Supply and Humans' Demand. *Springer Series on Environmental Management*, 467–489. doi:10.1007/978-3-319-46709-2_14
- Santos-Martín, F., González García-Mon, B., González, J. A., Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Montes, C., ... Martín-López, B. (2019). Identifying past social-ecological thresholds to understand long-term temporal dynamics in Spain. *Ecology and Society*, 24(2). doi:10.5751/es-10734-240210
- Schulp, C. J. E., Alkemade, R., Klein Goldewijk, K., & Petz, K. (2012). Mapping ecosystem functions and services in Eastern Europe using global-scale data sets. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2), 156–168. doi:10.1080/21513732.2011.645880
- Temme, A. J. A. M., & Verburg, P. H. (2011). Mapping and modelling of changes in agricultural intensity in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(1-2), 46–56. doi:10.1016/j.agee.2010.11.010
- Van Oudenhoven, A. P. E., Schröter, M., Drakou, E. G., Geijzendorffer, I. R., Jacobs, S., van Bodegom, P. M., ... Albert, C. (2018). Key criteria for developing ecosystem service indicators to inform decision making. *Ecological Indicators*, 95, 417–426. doi:10.1016/j.ecolind.2018.06.020
- Vargas, L., Willemsen, L., & Hein, L. (2018). Assessing the Capacity of Ecosystems to Supply Ecosystem Services Using Remote Sensing and An Ecosystem Accounting Approach. *Environmental Management*. doi:10.1007/s00267-018-1110-x
- Xue, J., Gui, D., Lei, J., Zeng, F., Mao, D., & Zhang, Z. (2017). Model development of a participatory Bayesian network for coupling ecosystem services into integrated water resources management. *Journal of Hydrology*, 554, 50–65. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.08.045

- Watson, R. T. (2012). The science-policy interface: the role of scientific assessments--UK National Ecosystem Assessment. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 468(2147), 3265–3281. doi:10.1098/rspa.2012.0163
- Wunder, S., Brouwer, R., Engel, S., Ezzine-de-Blas, D., Muradian, R., Pascual, U., & Pinto, R. (2018). From principles to practice in paying for nature's services. *Nature Sustainability*, 1(3), 145–150. doi:10.1038/s41893-018-0036-x
- Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., & Musiak, K. (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological Processes*, 17(14), 2913–2928. doi:10.1002/hyp.1441
- Verburg, P. H., van de Steeg, J., Veldkamp, A., & Willemen, L. (2009). From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*, 90(3), 1327–1335. doi:10.1016/j.jenvman.2008.08.005
- Zhang, D., Huang, Q., He, C., & Wu, J. (2017). Impacts of urban growth on ecosystem services in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China: A scenario analysis based on the Shared Socioeconomic Pathways. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 115–130. doi:10.1016/j.resconrec.2017.06.003

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como contribuições do primeiro artigo desenvolvido nessa dissertação, foi identificado que a maior parte dos serviços ecossistêmicos estão com um fornecimento comprometido, principalmente os serviços de regulação. Dados históricos de uso e cobertura da Terra derivados de técnicas do sensoriamento remoto permitiram determinar que uma maior demanda por ES é ocasionada por vetores antrópicos responsáveis por 46% da supressão vegetal da região. As principais causas para o declínio da biodiversidade local são: (a) crescente expansão das áreas de pecuária (pastagens); (b) infraestrutura urbana e rodovias (primárias e secundárias), além da limitada quantidade de áreas protegidas sobre o Nordeste Paraense.

No segundo artigo desenvolvido, o uso integrado de um modelo de uso da Terra por aprendizado de máquina, possibilitou a aquisição de novas informações sobre a mudança de paisagem no Nordeste Paraense, considerando as tendências de uso e cobertura da Terra por imagens de satélite. Nesse artigo, notou-se que parte dos SE existentes no Nordeste Paraense são derivados das extensas áreas verdes. Apenas os municípios da parte oeste-sul da região obtiveram uma oferta maior que a demanda de SE, visto que possui uma diversidade maior de usos e coberturas da Terra, sendo também uma das principais áreas de maior cobertura arbórea, mesmo com um cenário de perda de floresta (25% a 30%). As áreas mais densamente degradadas também foram as que obtiveram valores de demanda ultrapassando a oferta de SE.

Por fim, destaca-se a possibilidade e necessidade de investimentos futuros no aprimoramento e técnicas de modelos para quantificar o fornecimento de serviços por ecossistemas locais (por exemplo, regulação do clima, controle da erosão e estoque de carbono), uma vez que as áreas com densa cobertura vegetal são as localidades cujo a maior parte dos serviços ecossistêmicos se destacam, as mesmas devem fornecer qualidade de vida e bem-estar social para a região.

ANEXO 1 – Diretrizes de Submissão Revista Ecological Economics/Elsevier e Ecological Modelling/Elsevier

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for Tabelas and Figuras: Tabela A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address.

Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- ***Corresponding author.*** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

- ***Present/permanent address.*** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate ediTabela file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should be not longer than 400 words. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site. Authors can make use of Elsevier's [Illustration Services](#) to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Nomenclature

Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature as laid down in the *International Code of Botanical Nomenclature*, the *International Code of Nomenclature of Bacteria*, and the *International Code of Zoological Nomenclature*.

All biotica (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals.

All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text.

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult IUPAC: Nomenclature of Organic Chemistry: <http://www.iupac.org/> for further information.

Math formulae

Please submit math equations as ediTabela text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per Figura if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide Figuras and their captions, and Tabelas within a single file at the revision stage.
- Please note that individual Figura files larger than 10 MB must be provided in separate source files.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an accepted format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF) or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color Figuras then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these Figuras will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) in addition to color reproduction in print. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figura captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the Figura itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tabelas

Please submit Tabelas as editable text and not as images. Tabelas can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number Tabelas consecutively in accordance with their appearance in the text and place any Tabela notes below the Tabela body. Be

sparing in the use of Tabelas and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in Tabela cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is highly encouraged.

A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles, such as Mendeley. Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the

appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software.](#)

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/ecological-indicators>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plugins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references can be listed either first alphabetically, then chronologically, or vice versa.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999)... Or, as demonstrated (Jones, 1999; Allan, 2000)... Kramer et al. (2010) have recently shown ...'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon.* 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:

Cancer Research UK, 1975. Cancer statistics reports for the UK.

<http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. Mendeley Data, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the [List of Title Word Abbreviations](#).

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a Figura or Tabela by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data page](#).

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect

with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley Data

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

Data in Brief

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into one or multiple data articles, a new kind of article that houses and describes your data. Data articles ensure that your data is actively reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and publicly available to all upon publication. You are encouraged to submit your article for *Data in Brief* as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to *Data in Brief* where it will be editorially reviewed and published in the open access data journal, *Data in Brief*. Please note an open access fee of 600 USD is payable for publication in *Data in Brief*. Full details can be found on the [Data in Brief website](#). Please use [this template](#) to write your Data in Brief.

MethodsX

You have the option of converting relevant protocols and methods into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting credit for this part of their work. MethodsX, an open access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible. Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. Please note an open access fee is payable for publication in MethodsX. Full details can be found on the [MethodsX website](#). Please use [this template](#) to prepare your MethodsX article.

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process,

for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

Online proof correction

To ensure a fast publication process of the article, we kindly ask authors to provide us with their proof corrections within two days. Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on Figuras/Tabelas and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors. If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, Tabelas and Figuras. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Author Services](#). Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.



Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado
Tv. Enéas Pinheiro, 2626, Marco, Belém-PA, CEP: 66095-100
www.uepa.br/paginas/pcambientais