ANÁLISE DE MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA EM REGISTROS DO CAR EM FLORESTAS ESTADUAIS NO ESTADO DO ACRE

Diego Pinheiro de Menezes[1] *Maria Isabel Sobral Escada*[2]

[1] Secretaria do Patrimônio da União (SPU), Coordenação-geral de Demarcação (CGDEM), diego.menezes@gestao.gov.br

[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG), Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PGSER) isabel.escada@inpe.br

RESUMO

Este estudo analisa as mudanças no uso e cobertura da terra em cinco florestas estaduais no Estado do Acre com dados do TerraClass de 2008 a 2022, considerando quatro recortes espaciais: 1) os limites das unidades de conservação; 2) faixas de 300 metros ao redor das cada uma destas; 3) poligonais do CAR sobrepostas aos limites das UCs e; 4) poligonais do CAR sobrepostas às faixas de 300 metros ao redor das UCs. Em seguida, foram selecionadas as poligonais do Cadastro Ambiental Rural (CAR) sobrepostas a estes recortes espaciais. Diagramas de Sankey foram empregados para ilustrar os fluxos de transição de uso da terra, enquanto um Modelo Aditivo Generalizado (GAM) foi aplicado para identificar tendências temporais nas diferentes classes de uso. Os resultados revelaram a conversão da floresta primária em pastagens e vegetação secundária nas áreas com poligonais do CAR, contrastando com a relativa estabilidade da cobertura florestal no interior das UCs. Conclui-se que o uso do GAM amplia a compreensão das dinâmicas temporais de uso da terra, evidenciando padrões de mudança ao longo do período analisado.

Palavras-chave **—** Mudança no uso da terra, florestas estaduais, Cadastro Ambiental Rural (CAR), Modelo Aditivo Generalizado (GAM).

ABSTRACT

This study analyzes land use and land cover changes in five state forests in the State of Acre using TerraClass data from 2008 to 2022, considering four spatial cuts: 1) the boundaries of the protected areas (PAs); 2) 300-meter buffer zones around each of them; 3) CAR polygons overlapping the boundaries of the PAs; and 4) CAR polygons overlapping the 300-meter buffer zones around the PAs.. Subsequently, CAR polygons overlapping these spatial cuts were selected. Sankey diagrams were used to illustrate the land use transition flows, while a Generalized Additive Model (GAM) was applied to identify temporal trends in different land use classes. The results revealed the conversion of primary forest to pastures and secondary vegetation in areas with CAR polygons, contrasting with the relative stability of forest cover within the PAs. It is concluded that the use of GAM enhances the understanding of temporal land use dynamics, highlighting change patterns over the analyzed period.

Key words **—** *Land Use Change, State Forests, Rural Environmental Cadastre (CAR), Generalized Additive Model (GAM)*

1. INTRODUÇÃO

As preocupações com a mudanças no uso e cobertura da terra surgiram há várias décadas, ao se observar que esses processos influenciam no clima, na biodiversidade, na degradação do solo e na capacidade de provisão de serviços ambientais para a população humana [1] [2].

Profundas mudanças estruturais ocorreram na Amazônia desde os fins do século XX. Enquanto em nível global a Amazônia se transforma em fronteira do capital natural do uso científico-tecnológico da natureza, a dinâmica da economia, do uso da terra e do planejamento no Brasil tem maior influência no novo significado geopolítico da região [B] [4]. Lanbim et al [1] e, posteriormente, Arima [5] descrevem padrões de desmatamento ligados à diferentes atividades de uso da terra, como o corte seletivo, pecuária, agricultura, e o padrão espinha-de-peixe, associado aos projetos de colonização do INCRA, estabelecidos frequentemente ao longo das rodovias federais desde os anos 1970. O isolamento, falta de infraestrutura, preço baixo e a não titulação de terras favorecem a ocupação e venda ilegal de terras [3].

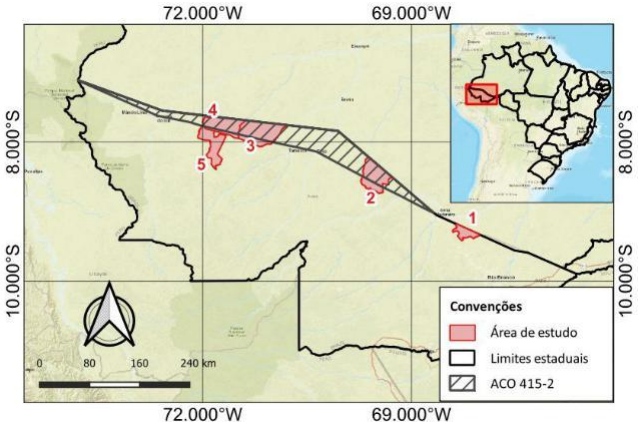
Os efeitos vinculantes da decisão de 03/04/2008 sobre a Ação Civil Ordinária (ACO) 415-2 a qual trata do litigio territorial entre os estados do Acre, Amazonas e Rondônia [6], tornou nulo atos particulares de posse sobre terras devolutas nesta área, abrindo espaço para a regularização fundiária e criação de florestas estaduais como a Floresta Estadual do Afluente, resultante da Ação Discriminatória Judicial n° 0001026-0, que incorporou mais de 155 mil hectares à União doados ao Estado do Acre para criação de unidade de conservação.

Este processo contrasta com os de outras florestas estaduais do Acre, que ainda não completaram o processo de regularização fundiária. Enquanto isso, essas terras públicas continuam vulneráveis a ocupações por colonos e grileiros. Para analisar essas dinâmicas, este estudo utiliza o Modelo Aditivo Generalizado (GAM), para identificar relações não lineares entre variáveis e identificar padrões espaciais e temporais complexos. O GAM permite uma análise detalhada das mudanças no uso da terra nas florestas estaduais do Acre em diferentes estágios de regularização, utilizando poligonais do CAR [8] como indicador.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O Estado do Acre possui uma área aproximada de 164.173 km² [10], dos quais cerca de 4,19 % (6.885 km²) são ocupados pelas cinco florestas estaduais de uso sustentável componentes do Sistema Estadual de Áreas Protegidas do Estado do Acre [11].
Conforme ilustra a Figura 1, três destas cinco unidades de conservação ocupam parte dos cerca de 1,2 mil km² de terras públicas incorporadas ao patrimônio público no estado do Acre, como consequência do julgamento da Ação Ordinária 415-2 [6] a favor do estado do Acre contra os estados do Amazonas e Rondônia.



1– F.E. Antimary; 2 – F.E. Afluente do do Complexo do Seringal Jurupari; 3 – F.E. Rio Gregório; 4 – F.E. Mogno; 5 – F.E. Rio Liberdade.

Figura 1. Localização da área de estudo

2.2. Materiais

Para estudo foram utilizados dados secundários de fontes diversas, incluindo o perímetro das florestas estaduais do estado do Acre [7], as poligonais do CAR no estado do Acre [8], e os dados de monitoramento na mudança do uso da terra foram obtidos das coleções 2008, 2010, 2012, 2014, 2018, 2020 e 2022 do Projeto TerraClass [9].

2.3. Método

Tendo como referência o estudo conduzido por Carrero et al [3] que analisou a trajetória do desmatamento no Projeto de Assentamento (PA) Rio Juma em Apuí/AM, observando o desmatamento a partir de variáveis relacionadas com fases de ocupação dos lotes, o tamanho de lotes, e período de titulação. Os autores utilizaram o de modelo aditivo generalizado (GAM) para análise do desmatamento ao longo de 35 anos (1985-2020) e das variáveis explicativas mencionadas.

2.3.1. Delimitação dos cortes espaciais para análise

As transições na mudança no uso da terra foram analisadas em quatro cortes espaciais distintos: 1) os limites das unidades de conservação; 2) faixas de 300 metros ao redor das cada uma destas UCs, a fim de se identificar efeitos de borda imediato sobre as UCs; 3) poligonais do CAR [8] sobrepostas aos limites das UCs e; 4) poligonais do CAR sobrepostas às faixas de 300 metros ao redor das UCs.

2.3.2. Seleção das poligonais do Cadastro Ambiental Rural (CAR)

Esta etapa compreendeu a seleção das poligonais do CAR [8] sobrepostas ao perímetro de cada área protegida e ao recorte de faixas de 300 metros ao redor de cada área protegida para análise dos imóveis limítrofes. Somente foram identificados poligonais categorizados com o atributo “aguardando análise” Os polígonos categorizados como “cancelados” não foram considerados., o que levou a remoção de polígonos sobrepostos, inclusive na área das unidades de conservação.
Adicionalmente foi consultado o Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF) [12] e não foram encontrados polígonos sobrepostos aos limites das florestas estaduais e, também, às faixas de 300 metros ao redor das florestas estaduais

2.3.3. Recorte dos dados TerraClass de acordo com os recortes espaciais

Após a definição dos quatro cortes espaciais, foram selecionadas e coletadas as poligonais do CAR [8] e os dados do TerraClass [9] abrangendo um período de 14 anos. O TerraClass se destaca por qualificar a série histórica de desmatamento do PRODES
Os dados do TerraClass foram recortados conforme os quatro cortes espaciais, utilizando o sistema referencial SIRGAS 2000. As poligonais resultantes foram convertidas em Shapefiles na projeção cartográfica policônica para o cálculo das áreas no sistema métrico.

2.3.4. Preparação dos dados para análise em R

Em seguida, os dados foram importados de um arquivo CSV para o R, onde foram analisados através das bibliotecas pacotes dplyr, tidyr, ggalluvial e mgcv. Os dados foram reorganizados em um formato numérico longo para facilitar a análise das mudanças ao longo do tempo e em diferentes locais nas classes de uso da terra

2.3.5. Geração de Diagramas de Sankey

Os diagramas aluviais de Sankey mostram o fluxo de mudanças entre as categorias de uso e cobertura da terra ao longo dos anos nos quatro cortes espaciais analisados. Cada classe destacada por uma cor específica, facilitando a visualização e compreensão das alterações ao longo do tempo.

2.3.6. Modelo aditivo generalizado (GAM)

O GAM foi aplicado para capturar as tendências temporais nas diferentes classes de uso da terra. Para isso, os dados foram filtrados para classe de uso e cobertura da terra e ajustados ao modelo GAM, que foi então plotado com uma linha suavizada como referência para a visualização de tendências ao longo dos anos. A análise inclui a comparação das tendências nos quatro cortes espaciais considerados neste estudo.
A escolha do fator de ajuste $k = 5$ teve como referência o estudo de Carrero et al. [3], que mostraram a eficácia de valores intermediários para capturar tendências de longo

prazo sem sobrecarregar os dados com limiares exagerados. O valor de k = 5 equilibra flexibilidade e estabilidade na curva ajustada, permitindo identificar tendências não lineares sem comprometer a clareza do modelo. Além disso, o ajuste regularizado do GAM penaliza complexidades excessivas, garantindo uma modelagem robusta e consistente com os padrões temporais observados.

3. RESULTADOS

3.1 Poligonais do cadastro ambiental rural

A Tabela 1 apresenta a área total (ha), de cada corte espacial, a área (ha) dos registros do CAR selecionados para cada um destes cortes, e o percentual do CAR em relação a área total de cada UC e as respectivas faixas de 300 metros, cabendo destaque, como exemplo, para os 30% da área total da F.E.Antimary sobreposta a registros do CAR.

Corte espacial	Área do Corte - ha	Área do CAR- ha	CAR / Corte
F.E.Afluente	158,902.02	14,313.85	9%
F.E. Antimary	46,576.67	13,795.96	30%
F.E Mogno	145,164.29	15,491.87	11%
F.E. Rio Gregório	219,361.52	26,247.02	12%
F.E. Rio Liberdade	126,386.26	7,557.72	6%
Faixa Afluente	5,926.31	3,693.70	62%
Faixa Antimary	4,121.81	2,510.42	61%
Faixar Mogno	3,899.69	1,926.47	49%0
Faixa Rio Gregório	5,881.10	2,368.85	40%
Faixa Rio Liberdade	6,961.05	4,059.67	58%

Tabela 1. Sumário das poligonais CAR selecionadas

Os resultados obtidos nessa análise são apresentados no diagrama aluvial de Sankey para a F.E. Antimary na Figura 2, o que também acontece nas demais unidades de conservação, porém em menor intensidade.

3.2 Diagramas aluviais de Sankey

Os diagramas de Sankey (Figura 2) evidenciam fluxos predominantes, distinguindo áreas com CAR e aquelas com cobertura vegetal primária. Em áreas com CAR, a ocupação de terras públicas não regularizadas é evidente, enquanto áreas sem CAR mantêm cobertura primária.

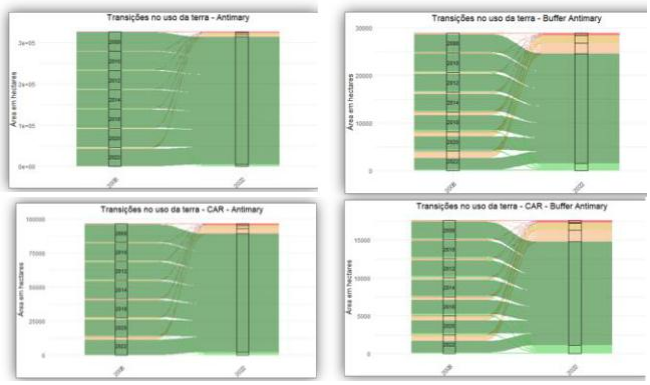


Figura 2. Transição de uso da terra nos quatro cortes espaciais para a F.E. Antimary

3.3 Modelo aditivo generalizado (GAM)

Os resultados dos Modelos Aditivos Generalizados (GAM) mostraram tendências temporais nas mudanças de uso da terra, similares as transições ilustradas nos gráficos Sankey para cada UC analisada. As UCs e as respectivas faixas de 300 metros analisadas permitiram notar padrões de mudança específicos, com a conversão de áreas florestais em pastagens e outros usos.

A Figura 3 exibe um comportamento de incremento para a classe Vegetação Secundária para o período analisado (2008 a 2022) quando consideramos todos os recortes espaciais em conjunto, com os maiores valores de área para F.E Rio Gregório, tanto em A (esquerda), como em B (direita), e menores valores para o Buffer Antimary em ambos os quadros.

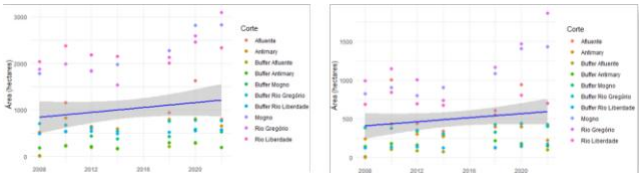


Figura 3. Tendência para a classe Vegetação Secundária considerando a paisagem inteira (A) e os recortes pelo CAR (B)

Enquanto a Figura 4 exibe uma discreta tendência de declínio da floresta primária para todos os recortes espaciais analisados, porém com as maiores quedas na F.E. Antimary e no Buffer da F.E. Rio Liberdade, e os maiores valores de cobertura para a F.E Afluente e F.E. Rio Gregório.

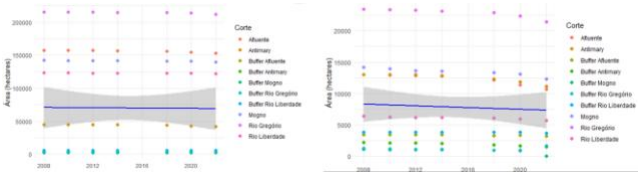


Figura 4. Tendência para a classe Vegetação Primária considerando a paisagem inteira (A) e os recortes pelo CAR (B)

A Figura 5 mostra um acentuado incremento do desmatamento anual a partir de 2018 não evidenciado pelas categorias vegetação secundária e vegetação primária, com maior destaque para a F.E Afluente e F.E Rio Gregório em A (esquerda), e F.E. Rio Mogno e F.E Rio Gregório em B (direita).

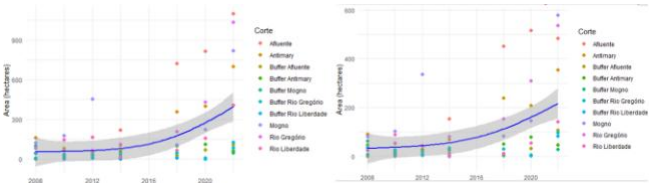


Figura 5. Tendência para a classe Desflorestamento Anual considerando a paisagem inteira (A) e os recortes pelo CAR (B)

Os gráficos gerados pelo modelo aditivo generalizado (GAM) confirmam os padrões observados nos diagramas Sankey e nas classificações TerraClass de 2008 a 2022. No entanto, os resíduos do GAM mostraram variações significativas nas classes de vegetação primária, secundária e desmatamento anual, o que não pode ser explicado por um modelo linear simples. Em contraste, as classes de corpos d'água e áreas urbanizadas apresentaram resíduos próximos a zero.

Essas oscilações nas classes principais podem ser atribuídas a mudanças bruscas e à alternância entre vegetação secundária herbácea e arbórea, além do desmatamento. A série temporal de 14 anos, entretanto, é insuficiente para identificar mudanças na cobertura de pastagem arbórea ou de vegetação secundária para primária. Polígonos identificados nessas situações precisam de análise mais detalhada, já que podem estar relacionados com processos de regeneração anteriores ao início da série histórica do TerraClass.

4. DISCUSSÃO

Dalla-Nora et al. [2] argumentam que muitos modelos falham ao prever as taxas de desmatamento devido à subestimação do impacto de políticas regionais de controle, como a criação de áreas protegidas e restrições ao crédito rural. Logo, a integração de fatores regionais, como as políticas públicas locais, juntamente com fatores globais, são essenciais para uma compreensão mais completa das dinâmicas de uso da terra na Amazônia.

Segundo Lambin et al. [1], a mudança de uso da terra envolve processos complexos, interligados entre fatores locais, regionais e globais, sendo necessário compreender as causas por trás destas mudanças, como mudanças como fatores econômicos, políticos e institucionais, bem os agentes por trás da mudança como, por exemplo, grileiros, latifundiários e grupos econômicos altamente capitalizados [3].

No que se refere aos resultados obtidos neste estudo, a presença de 9.653 poligonais do CAR [8] sobrepostas às florestas estaduais do Acre revela, por um lado, um sistema operado por usuários que prestam informações inverídicas e, diferentemente do SIGEF [12], que não invalida poligonais sobrepostas aos outros CAR [8] ou às unidades de conservação, territórios indígenas e outros territórios.

Por outro lado, o CAR [8] cumpre sua função de instrumento auxiliar ao monitoramento de desmatamento e de mudanças no uso da terra justamente por apresentar situações como as verificadas neste estudo, possibilitando por meio dos registros auto declaratórios alertar para iniciativas ilegais de tentativa de regularização fundiária de posseiros ou em nome de terceiros.

5. CONCLUSÕES

O estudo conclui que o CAR pode ser uma ferramenta útil para identificar áreas em risco de desmatamento nas UCs analisadas. Os Modelos Aditivos Generalizados (GAM) foram eficazes na captura das tendências de mudanças no uso da terra ao longo do tempo. Sugere-se a continuidade da investigação com novos dados e metodologias.

6. REFERÊNCIAS

[1] E.F. Lambin, H.J. Geist, E. Lepers. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. Annual Review of Environment and Resources, 28(1), 205–241, 2003. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459

[2] Dalla-Nora, E.L., Aguiar, A.P.D., Lapola, D.M., G.Woltjer, G. . Por que os modelos de mudança no uso da terra para a Amazônia falharam em capturar a quantidade de desmatamento na última década ? Land Use Policy, 39, 403-411, 2014 https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.02.004

[3] G. C. Carreiro, P.M. Fearnside, D.R. do Valle et al. Deforestation Trajectories on a Development Frontier in the Brazilian Amazon: 35 Years of Settlement Colonization, Policy and Economic Shifts, and Land Accumulation. Environmental Management, v. 66, p. 966–984, 2020. https://doi.org/10.1007/s00267-020-01354-w

[4] Becker, Bertha K. Amazônia: Geopolítica na Virada do III Milênio. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

[5] Arima, E. Y., Richards, P., Walker, R., & Caldas, M. M. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. Environmental Research Letters, 6(2), 024010, 2011 https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/2/024010

[6] Brasil. Supremo Tribunal Federal (STF). Ação Civil Ordinária, n. 415-2, de 21 de fevereiro de 1997. Questão de limites entre os Estados do Acre, Amazonas e de Rondônia. Ação proposta pelo Estado do Acre contra Amazonas e Rondônia.

[7] Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/unidadesdeconservacao

[8] Brasil. Ministério da Gestão e Informação em Serviços Públicos (MGI). Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). Disponível em: https://consultapublica.car.gov.br/publico/estados/downloads.

[9] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRPA). Projeto TerraClass: Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Desmatadas da Amazônia Legal Brasileira. São José dos Campos: INPE; Brasília, DF: Embrapa, Coleção 2022, 2024. Disponível em: https://www.terraclass.gov.br/download-de-dados.

[10] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas Territoriais – Malha Municipal 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=acesso-ao-produto&c=1.

[11] Estado do Acre, Lei n° 1426 de 27/12/2001. Dispõe sobre a preservação e conservação das florestas do Estado, institui o Sistema Estadual de Áreas Naturais Protegidas, cria o Conselho Florestal Estadual e o Fundo Estadual de Florestas e dá outras providências.

[12] Brasil. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA. Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF). Disponível em https://acervofundiario.incra.gov.br.