DOI 10.61470/o.v22i2.74765

Análise da influência das autorizações de exploração de madeira no desmatamento da Amazônia Legal

Dayse Silveira de Almeida, Instituto de Biotecnologia (IBIOTEC) - Universidade Federal de Catalão

Luis Gustavo Nonato, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) – Universidade de São Paulo (USP) – São Carlos

Resumo: As áreas de floresta na Amazônia Legal vêm enfrentando aumentos na ocorrência de desmatamentos, seja por meio de corte raso, incêndios florestais, atividades de mineração e, até mesmo, corte seletivo para extração de madeira. Essa é uma região que requer atenção pela riqueza da sua biodiversidade e, a análise dos fatores que influenciam no desmatamento se faz necessária para que se possa alcançar um desenvolvimento social e econômico na região, respeitando as suas características culturais e em consonância com a preservação ambiental. Neste artigo, analisamos a relação entre as autorizações para exploração de madeira e o desmatamento em um estado da Amazônia Legal. Observamos que algumas instâncias de áreas autorizadas estão localizadas em setores urbanos. Apesar (i) das áreas autorizadas em setores urbanos se aproximarem mais rapidamente dos desmatamentos que as áreas autorizadas em setores rurais e, (ii) dos setores urbanos que possuem áreas autorizadas se aproximarem mais rapidamente dos desmatamentos, do que os setores urbanos que não possuem áreas autorizadas, o que sugere uma pressão maior sobre o desmatamento nesses setores, o tamanho das áreas desmatadas próximas às áreas autorizadas em setores rurais são maiores. Além disso, observamos que os volumes de madeira transportados a partir de áreas autorizadas em setores urbanos são maiores que os volumes transportados a partir de áreas autorizadas em setores rurais, ou seja, grande volume de madeira extraída dessas áreas autorizadas é transportado legalmente. Assim, especulamos se, (i) as áreas autorizadas em setores urbanos podem ser responsáveis por pequenos desmatamentos próximos com autorização legal e, (ii) as áreas autorizadas em setores rurais com menor volume de madeira transportado e aproximação mais lenta com as áreas desmatadas, sendo as áreas de desmatamento próximas, maiores, podem ter relação com o desmatamento ilegal.

Palavras- chave: Amazônia Legal, Biodiversidade; Desmatamento.

Análisis de la influencia de las autorizaciones de tala en la deforestación en la Amazonía Legal

Resumen: Las áreas de bosque en la Amazonía Legal vienen enfrentando aumentos en la incidencia de la deforestación, ya sea por tala rasa, incendios forestales, actividades mineras e incluso tala selectiva para extracción de madera. Esta es una región que requiere atención por la riqueza de su biodiversidad, y el análisis de los factores que influyen en la deforestación es necesario para lograr el desarrollo social y económico de la región, respetando sus características culturales y en consonancia con la preservación del medio ambiente. En este artículo analizamos la relación entre las autorizaciones de tala y deforestación en un estado de la Amazonia Legal. Notamos que algunas instancias de áreas autorizadas se ubican en sectores urbanos. A pesar de que (i) las áreas autorizadas en sectores urbanos se acercan a la deforestación más rápidamente

que las áreas autorizadas en sectores rurales y (ii) los sectores urbanos que tienen áreas autorizadas se acercan a la deforestación más rápidamente que los sectores urbanos que no las tienen, lo que sugiere una mayor presión sobre la deforestación. En estos sectores, el tamaño de las áreas deforestadas cercanas a las áreas autorizadas en los sectores rurales es mayor. Además, observamos que los volúmenes de madera transportados desde zonas autorizadas en sectores urbanos son mayores que los volúmenes transportados desde zonas autorizadas en sectores rurales, es decir, un gran volumen de madera extraída de estas zonas autorizadas se transporta de manera legal. Así, especulamos si (i) las áreas autorizadas en sectores urbanos pueden ser responsables de pequeñas deforestaciones cercanas a aquellas con autorización legal y (ii) las áreas autorizadas en sectores rurales con un menor volumen de madera transportada y un acercamiento más lento a las áreas deforestadas, ya que Es posible que áreas cercanas y más grandes de deforestación estén relacionadas con la deforestación ilegal.

Palabras clave: Amazonía Legal, Biodiversidad; Explotación florestal.

Analysis of the Influence of Timber Management Licenses on Deforestation in the Legal Amazon

Abstract: Forest areas in the Legal Amazon have been experiencing increases in deforestation, whether through clear-cutting, wildfires, mining activities, or even selective logging for timber extraction. This is a region that requires attention due to its rich biodiversity, and analyzing the factors that influence deforestation is necessary in order to achieve social and economic development in the region, while respecting its cultural characteristics and in alignment with environmental preservation. In this article, we analyze the relationship between timber management licenses and deforestation in a state of the Legal Amazon. We observe that some instances of authorized areas are located in urban sectors. Despite (i) authorized areas in urban sectors being closer to deforestation than those in rural sectors, and (ii) urban sectors with authorized areas being closer to deforestation than urban sectors without authorized areas, which suggests greater pressure on deforestation in these sectors, the size of deforested areas near authorized areas in rural sectors is larger. Additionally, we observe that the volumes of timber transported from authorized areas in urban sectors are higher than those transported from authorized areas in rural sectors, meaning that large volumes of timber extracted from these authorized areas are transported legally. Thus, we speculate if (i) authorized areas in urban sectors may be responsible for small deforestation events nearby with legal authorization, and (ii) authorized areas in rural sectors with smaller volumes of timber transported and slower proximity to deforested areas, where the nearby deforested areas are larger, may be related to illegal deforestation.Keywords: Legal Amazon, Biodiversity; Deforestation.

1. Introdução

O desmatamento das áreas de floresta da Amazônia Legal tem sido uma preocupação para os governos brasileiros e organizações da sociedade civil, devido à redução da

biodiversidade, diminuição da precipitação, mudanças climáticas e outros impactos ambientais.

A Amazônia Legal é uma delimitação geográfica no território brasileiro e define um conceito político-administrativo instituído pelo governo para o desenvolvimento social e econômico dos seus estados (SUDAM, 2020). Essa região ocupa uma área que corresponde a cerca de 58,90% do território brasileiro e engloba os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Roraima, Rondônia, Tocantins e parte do Maranhão (a região oeste do meridiano 44º) (IBGE, 2022a). Além de abrigar toda a parte brasileira do bioma Amazônia com sua rica biodiversidade, e 60% da bacia hidrográfica amazônica, a Amazônia Legal engloba ainda cerca de 20% do bioma Cerrado e parte do Pantanal do Mato Grosso. Sendo assim, a região apresenta diferentes tipos de vegetação, clima e solo (IBGE, 2022b).

Atualmente, a floresta Amazônica vem enfrentando aumentos na ocorrência de desmatamentos, seja por meio de corte raso, incêndios florestais, atividades de mineração e, até mesmo, corte seletivo para extração de madeira [Almeida, 2020]. Assim, boas práticas de exploração de madeira, promovendo um manejo sustentável são urgentes e necessárias.

Nosso objetivo neste artigo é realizar uma análise das áreas autorizadas para exploração de madeira, confrontando dados de transporte de madeira e dados de sensoriamento remoto a fim de compreender a dinâmica do desmatamento no estado de Rondônia (RO).

Dentre as principais contribuições deste trabalho destacamos o uso de dados de licenciamento de transporte de madeira (Documentos de Origem Florestal – DOF e Guias Florestais - GF) em conjunto com informações de sensoriamento remoto para analisar a dinâmica das áreas de manejo autorizadas. Nessa análise, empregamos os dados de DOF e GF para identificar as localizações das áreas autorizadas dentro da malha setorial do IBGE de 2019 e, observamos também que parte dessas áreas autorizadas está localizada em setores urbanos. Além das áreas autorizadas em setores urbanos se aproximarem mais rapidamente dos desmatamentos de 2018 a 2020 do que as áreas autorizadas presentes em setores rurais, os setores urbanos que possuem áreas autorizadas também se aproximam mais rapidamente dos desmatamentos. Isso sugere que nesses setores existe uma pressão maior sobre o desmatamento do que em setores urbanos que não possuem áreas autorizadas.

2. Trabalhos Correlatos

Grande parte dos trabalhos na área se dedica a realizar um mapeamento das mudanças na cobertura da terra e, em especial, a detecção de desmatamento, utilizando dados de sensoriamento remoto. Esses dados normalmente são imagens ou séries temporais e técnicas de *machine learning* [Maxwell et al., 2018] [Dhingra , Kumar, 2019] [Hethcoat et al., 2022] e *de deep learning* [Ma et al., 2019] [Ortega et al., 2019] [Maretto et al., 2020][de Bem et al., 2020] [Doblas et al., 2020] [Guo et al., 2022] [Matosak et al., 2022] [Dominguez et al., 2022] têm sido utilizadas na realização dessa detecção, alcançado resultados promissores.

Nosso objetivo neste trabalho, no entanto, é verificar se os manejos madeireiros impactam no desmatamento. A seguir são descritos trabalhos que analisam a relação entre fatores socioeconômicos e o desmatamento e, a influência da expansão das áreas urbanas e dos assentamentos rurais no desmatamento. A influência dos manejos madeireiros no desmatamento é uma análise ainda não realizada na literatura.

Wu, Bao and Liu (2022) utilizam redes neurais RBF (*Radial Basis Function*) para analisar a relação entre as mudanças nos recursos florestais e fatores socioeconômicos. A avaliação da rede neural RBF é feita em comparação com o modelo de regressão linear múltipla. Dois indicadores foram utilizados para refletir as mudanças dos recursos florestais, a cobertura florestal e o volume de estoque, ambos coletados do Forest Resources Inventory Report of China (1980 até 2018).

Pereira et al. (2022) analisam a relação entre os assentamentos rurais, promovidos pela política de reforma agrária, com o desmatamento na Amazônia Legal. Para isso, utilizam dados de desmatamento provenientes do Projeto Prodes do INPE e, informações espaciais de assentamentos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Além da localização georreferenciada, o INCRA disponibiliza informações sobre a área dos imóveis, as modalidades de assentamento e o ano de criação. Nesse trabalho foram utilizadas técnicas estatísticas e um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Santos et al. (2022) investigam por meio de simulação, como a expansão urbana na região metropolita de Manaus pode influenciar no desmatamento da Amazônia até o final do século XXI. O modelo espacial de mudança no uso e na cobertura da terra foi desenvolvido usando uma plataforma de modelagem ambiental chamada Dinamica EGO. Os mapas de uso e cobertura do solo foram baseados em dados do Projeto PRODES e, do projeto TerraClass no que se refere a classe de área urbana. Os autores verificaram que o

desmatamento simulado fica distribuído próximo a áreas previamente desmatadas e estradas principais e secundárias, assim como o tamanho das manchas urbanas simuladas aumenta em áreas com maior desmatamento e próximo às estradas. O cenário simulado indica também que, se as taxas de desmatamento persistirem, a maioria dos municípios da região metropolitana experimentará um aumento de mais de 100% em suas áreas desmatadas e alguns municípios terão áreas urbanas expandidas em mais de 500% até 2100. Assim, a urbanização da região pode representar um novo elemento que contribuirá para exacerbar a perda de florestas na Amazônia aumentando a pressão por novas áreas desmatadas. Ademais, as áreas protegidas são importantes para conter esse desmatamento e expansão urbana na Amazônia.

Os resultados obtidos Pereira et al. (2022) e por Santos et al. (2022) corroboram com descobertas feitas em nossas análises, que dizem respeito ao maior impacto de manejos localizados em áreas urbanas na expansão do desmatamento.

3. Materiais e Métodos

3.1. Descrição das Bases de Dados

Utilizamos dois conjuntos de dados para identificar as localizações das áreas desmatadas e das áreas autorizadas: os dados do projeto PRODES e os dados oficiais de licenciamento de transporte de madeira dos DOFs e GFs.

Os dados utilizados sobre o desmatamento são feições vetoriais organizadas e disponibilizadas pelo projeto PRODES no Terrabrasilis[1]. Nesse projeto é realizado o monitoramento do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal utilizando-se imagens de sensores remotos presentes em satélites da classe Landsat, que possuem resolução espacial de 20 a 30 metros e taxa de revisita de 16 dias. As áreas desmatadas registradas pelo PRODES são de no mínimo 6,25 hectares. No Terrabrasilis também são disponibilizados dados auxiliares utilizados neste trabalho, como os estados da Amazônia Legal, hidrografia e áreas que não são consideradas florestas por possuírem outros tipos de vegetação.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) realiza o controle da origem da madeira e de outros produtos florestais por meio do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (Sinaflor). Os transportes de produtos de origem florestal registrados no Sinaflor são legitimados pelos

[1] http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/

Documentos de Origem Florestal (DOF)[2], os quais definem a origem do produto florestal e permite o seu transporte legalmente. Esses documentos possuem a lista de produtos transportados, o volume, a espécie da madeira, as localizações geográficas da origem e do destino e seus dados abertos são disponibilizados pelo Ibama[3].

Os DOFs que possuem origem em florestas, ou seja, são emitidos para empreendimentos que realizam extração madeireira em áreas de floresta, devem adicionalmente estar associados a uma Autorização para Exploração Florestal (AUTEX). As AUTEX se referem a autorizações ambientais emitidas pelos órgãos ambientais e são identificadas por meio de um número de série, além de possuírem um tipo de autorização de exploração, o ano de expedição e a localização geográfica das áreas de manejo, entre outras informações. A autorização ambiental pode ser concedida para exploração em planos de manejo florestal sustentável (PMFS), supressão de vegetação (ASV), exploração de floresta plantada (EFP) e uso alternativo do solo (UAS).

3.2. Espaços de Amostragem e Métodos

Para realização da análise da relação entre as áreas autorizadas e os desmatamentos, amostramos aleatoriamente localizações em dois espaços de amostragem diferentes no estado de Rondônia. O primeiro espaço de amostragem corresponde às áreas autorizadas, com transporte registrado de madeira entre 2014 e 2017. Para definir essas áreas, excluímos as localizações em áreas não consideradas como florestas pelo INPE. Excluímos também as localizações cujas AUTEX são do tipo exploração de floresta plantada (EFP), mantendo-se assim aquelas dos tipos PMFS, ASV, UAS e aquelas com valores *null*, que representam 13,5% das localizações em RO. Assim, consideramos 1.142 localizações de áreas autorizadas em Rondônia.

Para definir o tamanho da área autorizada, consideramos as coordenadas geográficas de cada local de autorização, definindo-se assim uma área inicial de 62500 m^2. Adicionalmente, consideramos as 24 áreas na vizinhança da área central, definindo-se assim uma área autorizada de 1,5625 km^2. Para a obtenção das localizações da vizinhança, utilizamos a biblioteca Python Haversine 2.5.1. Ao final, utilizamos 22.223 localizações de manejo de Rondônia.

[2] https://servicos.ibama.gov.br/ctf/modulos/dof/consulta_dof.php
[3] https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/dof-transportes-de-produtos-florestais

O segundo espaço de amostragem corresponde aos polígonos de desmatamento do PRODES, ocorridos entre 2014 e 2017 em Rondônia.

Utilizamos técnicas estatísticas para as análises dos dados dos DOFs e GFs, o banco de dados PostgreSQL versão 13.5 com a extensão Postgis versão 3.0 para dados geoespaciais e, o sistema de informações geográficas QGIS versão 3.16.15-Hannover.

4. Resultados e Discussões

4.1. Análise da localização das áreas autorizadas na malha setorial do IBGE

Seguindo a metodologia proposta, analisamos as localizações das áreas autorizadas do estado do Pará e do estado de Rondônia dentro da malha setorial de 2019 do IBGE e, constatamos que 1,90% das áreas autorizadas de RO estão em áreas urbanas.

A fim de se verificar quais áreas autorizadas estão em regiões que foram mais desmatadas entre 2014 e 2017, analisamos o tamanho das áreas de desmatamento dos dados PRODES próximas às áreas de manejo em setores urbanos (englobando Áreas Urbanas de Alta Densidade de Edificações, Áreas Urbanas de Baixa Densidade de Edificações e Povoados) e em setores rurais. Observamos o que ocorre com o tamanho das áreas desmatadas próximas às áreas autorizadas dos setores urbanos e rurais de RO. A razão entre a soma das áreas desmatadas próximas às áreas autorizadas dos setores urbanos e o número de instâncias de áreas autorizadas é 0.097 km^2; enquanto que essa razão para as áreas autorizadas de setores rurais é de 0.260 km^2. Considerando as cinco áreas desmatadas mais próximas das áreas autorizadas, a razão entre a área total desmatada e o número de áreas autorizadas nos setores urbanos é de 0.665 e para áreas autorizadas em setores rurais é de 1.136 km^2, respectivamente. Essa razão, considerando tanto o desmatamento mais próximo como os cinco destamatamentos mais próximos, é menor para as áreas autorizadas localizados em setores urbanos. Ou seja, estão em regiões cujas áreas desmatadas são menores.

Adicionalmente, analisamos as distâncias entre as áreas autorizadas localizadas em cada tipo de setor e as áreas de desmatamento registradas pelo PRODES. A maioria das áreas autorizadas de RO nos dois tipos de setor está entre 1 km e 5 km do desmatamento mais próximo, como mostrado nos gráficos da Figura 1. A porcentagem de áreas autorizadas em setores urbanos a menos 1 km algum de desmatamento é menor que a porcentagem de áreas autorizadas em setores rurais. Em RO, a porcentagem de áreas de áreas autorizadas de setores urbanos a menos de 1 km de algum desmatamento é de 3.10%

e, de áreas autorizadas em setores rurais é de 29.37%. Isso evidencia que além dos desmatamentos próximos às áreas autorizadas de setores urbanos possuírem uma área menor, também existe uma menor quantidade de áreas autorizadas desses setores próxima, a menos de 1 km, de áreas de desmatamento.

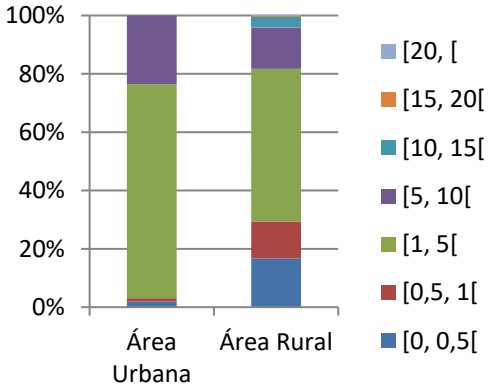


Figura 1: Porcentagem de áreas de manejo de cada setor a certa distância em km do desmatamento mais próximo ocorrido entre 2014 e 2017.

Apesar da maior porcentagem de áreas autorizadas de setores rurais a menos de um 1km dos desmatamentos registrados entre 2014 e 2017, ao utilizarmos, adicionalmente, os dados de desmatamento registrados pelo PRODES entre 2018 e 2020, verificamos que a porcentagem de áreas autorizadas em setores rurais a menos de 1 km de algum desmatamento aumenta em 68.82%, equanto que para áreas autorizadas em setores urbanos o aumento é de 323.08%. Isso significa que, no entorno das áreas de áreas autorizadas em setores urbanos, previamente menos desmatados, foi desmatado mais intensamente entre 2018 e 2020.

4.2. Quantidade de madeira transportada a partir de manejos em setores urbanos e rurais

Analisamos os dados de transporte de madeira dos DOFs de 2014 a 2017. As Figuras 2(a) e 2(b) mostram o número de autorizações concedidas por número de áreas

autorizadas presentes em cada tipo de setor. RO possui maior número de autorizações concedidas para áreas autorizadas em setores urbanos.

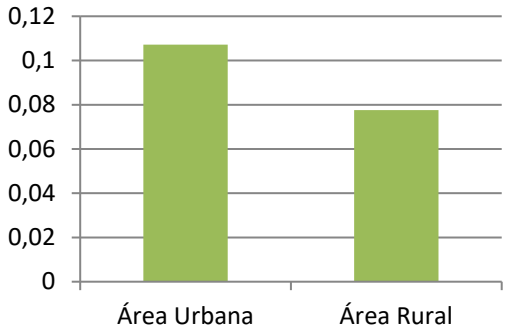
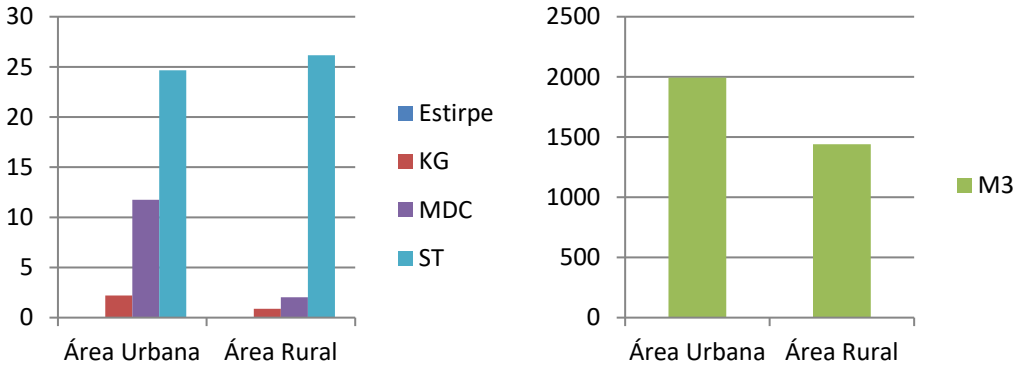


Figura 2: Número de autorizações concedidas entre 2014 e 2017, por número de áreas autorizadas de setores urbanos e rurais.

Ao analisarmos a razão entre os volumes transportados e o número de áreas autorizadas em cada tipo de setor, verificamos que os maiores volumes em KG, MDC e M^3 de produtos de madeira transportados foram a partir de áreas autorizadas de setores urbanos, como mostrado nos gráficos da Figura 4. Apenas as áreas autorizadas de setores rurais foram responsáveis por transportes de produtos em Estirpe e houve uma diferença pequena na quantidade de produtos em ST transportados a partir de setores rurais e urbanos.



(a) (b)

Figura 4: Volumes transportados entre 2014 e 2017 cuja origem é áreas autorizadas de RO de setores urbanos e rurais.

Analisando os tipos de produtos transportados a partir das áreas autorizadas de RO, observamos que a partir das áreas autorizadas dos setores urbanos saíram os maiores

volumes de produtos por área autorizada para 9 dos 10 produtos com maiores volumes transportados. No gráfico Figura 6(a) são mostrados os volumes em M^3 de toras de madeira por áreas autorizadas de cada setor e, no gráfico da Figura 6(b), os demais produtos, todos medidos em M^3, exceto a lenha medida em ST. Apenas para a lenha, o volume transportado a partir de áreas autorizadas em setores rurais é levemente superior ao volume transportado a partir de áreas autorizadas em setores urbanos, 24,6418 ST por área autorizada e 23,5339 ST por área autorizada, respectivamente.

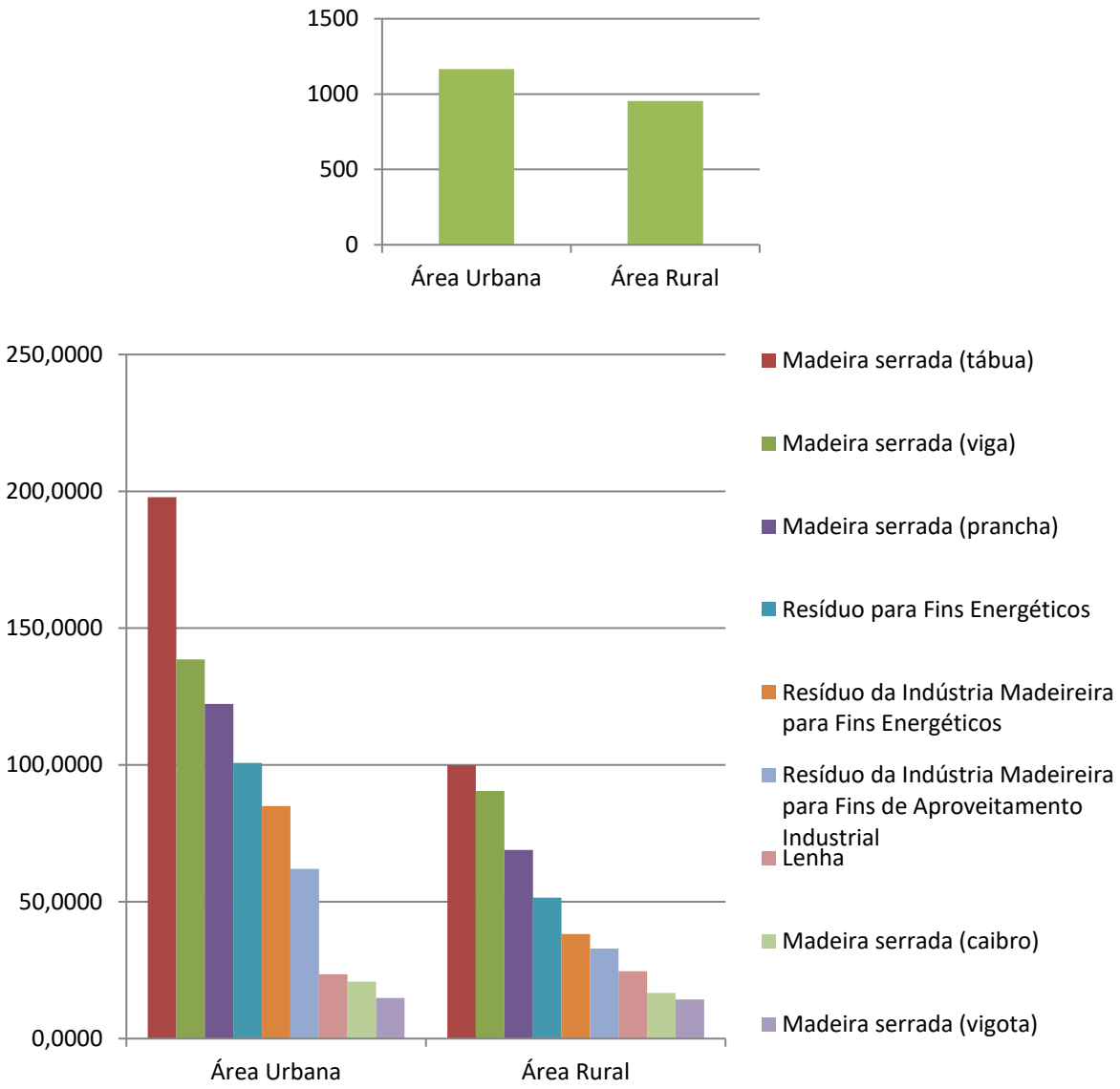


Figura 6: Volumes dos 10 produtos com maiores volumes transportados entre 2014 e 2017 com origem em áreas de manejo em setores urbanos e rurais: (a) volumes de toras de madeira, (b) volumes dos demais produtos.

Considerando os volumes de produtos de madeira transportados, a localização das áreas autorizadas em setores rurais ou urbanos e, o aumento dos desmatamentos ocorridos entre 2018 a 2020 a menos de 1km das áreas autorizadas, é possível concluir que o

desmatamento se intensificou entre 2018-2020 no entorno das áreas autorizadas em setores urbanos.

4.3. Número de setores urbanos a menos de 1km de desmatamento: a influência das áreas autorizadas

Para finalizar a nossa análise, comparamos o aumento da proximidade dos setores urbanos, povoados e lugarejos que possuem áreas autorizadas geolocalizados e desses setores que não possuem áreas autorizadas, com os desmatamentos de 2014 a 2017 e, posteriormente, com os desmatamentos de 2014 a 2020.

O número de setores urbanos a menos de 1 km de algum desmatamento com área autorizada teve um aumento de 41.67% enquanto que o número de setores urbanos sem área autorizada teve um 35.05%, ao se considerar os desmatamentos ocorridos entre 2014 e 2020. Isso confirma que os setores urbanos que possuem autorização para exploração de madeira podem estar gerando uma pressão maior por desmatamento do que a pressão comum gerada pelo desenvolvimento urbano.

5. Contextualização

No início desta pesquisa, utilizamos outra metodologia. Definimos o segundo espaço de amostragem da seguinte maneira. Para cada polígono de desmatamento do PRODES, ocorrido entre 2014 e 2017 em Rondônia e no Pará, calculamos o centróide e utilizamos a localização geográfica desse ponto para a definição das áreas de desmatamento. Selecionamos aleatoriamente 21.944 áreas de desmatamento em Rondônia.

Para cada localização de área autorizada e de desmatamento considerada, extraímos as séries temporais do *Portal Series View*[4]. As séries temporais são derivadas de dados de imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e representam as mudanças nos valores do índice de vegetação EVI2 (*Enhanced Vegetation Index 2*) ao longo do tempo sobre um *pixel* de área de 250 x 250 m.

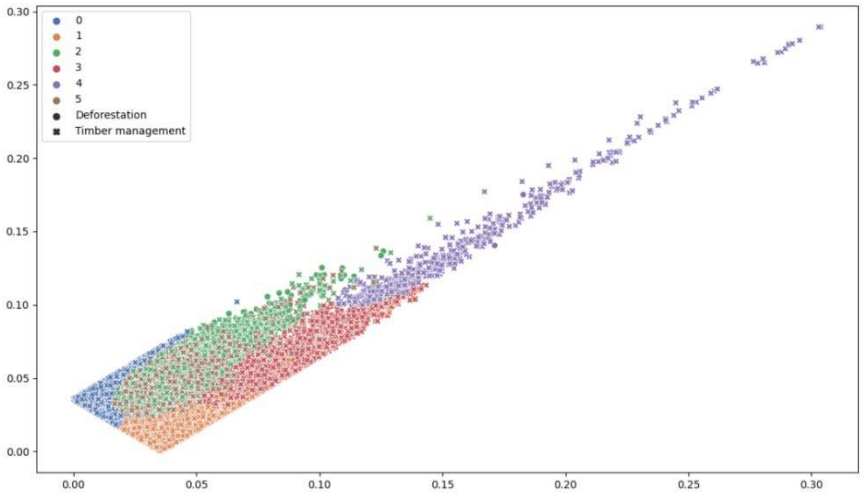
O método utilizado então, foi um codificador automático (*autoencoder*) de rede neural convolucional (CNN) para compactar as séries temporais referentes a cada pixel da discretização espacial, a fim de realizar uma representação latente das áreas autorizadas e das áreas de desmatamento.

[4] http://www.dsr.inpe.br/laf/series/

A arquitetura da rede envolve um codificador e um decodificador. O codificador engloba duas camadas convolucionais 1D e duas camadas ReLU, e compacta uma série temporal com dados de 399 instantes de tempo em 32 características. O decodificador é composto por duas camadas convolucionais transpostas 1D e duas camadas ReLU. Para o aprendizado da representação das séries temporais, a rede foi treinada com 44167 instâncias de dados, sendo 22223 séries temporais de áreas autorizadas e 21944 séries temporais de áreas de desmatamento. Foram realizadas 150 épocas de treinamento. Para a definição e treinamento da rede, foram utilizados os pacotes Python Torch versão 1.10.2 e Pytorch Lightning versão 1.5.0.

Aplicamos então, a técnica de transformação PCA (*Principal Component Analysis*) nas séries temporais incorporadas, e observamos que dois componentes explicam 99,996019% da variabilidade dos dados. Para o aprendizado não supervisionado e geração dos *clusters* das séries temporais similares, utilizamos o algoritmo K-Means. O número ótimo de *clusters* k = 6 utilizado no algoritmo de agrupamento K-Means foi definido por meio do cálculo da inércia com o seu valor variando entre 1 e 12 *clusters*. Ambos os métodos estão implementados no pacote Python Scikit-learn do qual foi utilizada a versão 1.0.2.

Dos seis clusters gerados pelo algoritmo K-Means, dois clusters, 3 e 4, tiveram maior predomínio de séries temporais de áreas autorizadas. Ao analisarmos o comportamento das séries temporais presentes em cada um dos clusters gerados pelo algoritmo K-Means juntamete com a média e o desvio padrão em relação à média dos valores do EVI2 das séries temporais decodificadas, observamos que os menores valores médios do EVI2 ocorre para as séries temporais agrupadas nos clusters 3 e 4. Na Figura 7(a) são mostrados os seis clusters gerados pelo algoritmo K-Means e, nas Figuras 7(b) a 7(g) são mostradas as médias e os desvios padrão dos valores do EVI2 das séries temporais decodificadas pelo decoder, pertencentes a cada um dos clusters.


0
1
2
3
4
5
Deforestation
Timber management
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30

(a)

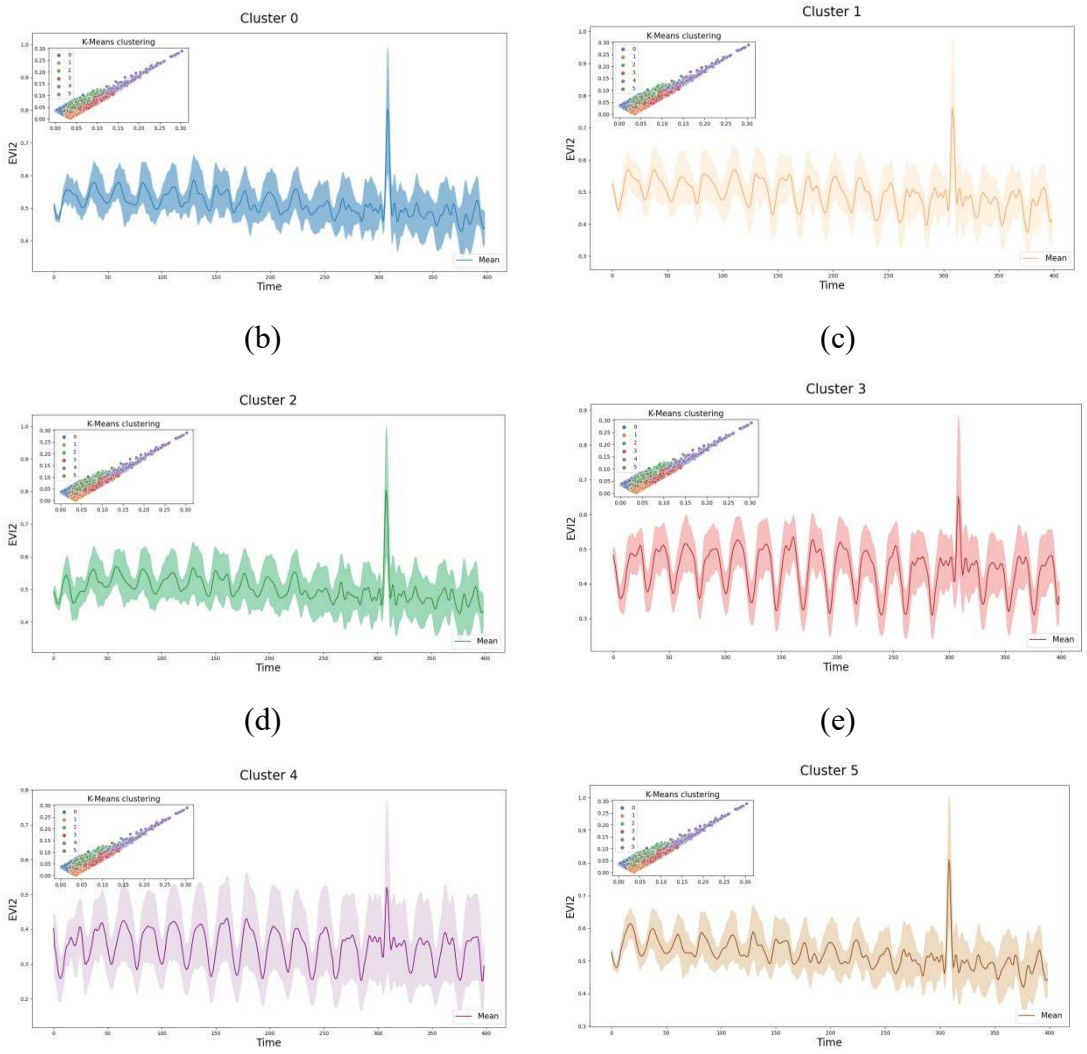


Figura 7: (a) Clusters gerados pelo algoritmo K-Means utilizando as séries temporais compactadas pelo encoder, (b) a (g) Média e desvio padrão das séries temporais decoficadas do cluster em questão.

Os valores mínimos e máximos da média do EVI2 das séries temporais reconstruídas de cada *cluster* são mostrados na Tabela 1. É possível notar que os clusters 3 e 4 possuem os menores índices EVI2 médio mínimo e médio máximo, o que significa

que, na média, o índice de cobertura vegetal das áreas autorizadas e de desmatamento desses *clusters* varia entre valores mais baixos do que das áreas nos demais *clusters*.

Tabela 1. Valores mínimo e máximo da média de EVI2 nas séries temporais decodificadas.

	Cluster 0	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
EVI2 médio min	0.43	0.37	0.43	**0.31**	**0.25**	0.42
EVI2 médio max	0.80	0.76	0.80	**0.65**	**0.52**	0.81

Identificamos que as regiões com maior predomínio de áreas autorizadas estão menos desmatadas entre 2014 e 2017, no entanto, o desmatamento aumenta mais entre 2018 e 2020 que em outras regiões analisadas.

Ao investigarmos, considerando a malha setorial de 2019 do IBGE, constatamos que 4,26% das áreas autorizadas agrupadas no cluster 3 e 31,97% das áreas autorizadas agrupadas no cluster 4 estavam em setores urbanos, como mostrado no gráfico da Figura 8. Ao considerarmos os desmatamentos de 2018 a 2020, observamos que as áreas autorizadas dos clusters 3 e 4 se aproximavam mais rapidamente das áreas desmatadas.

Considerando os desmatamentos ocorridos entre 2014-2017 e entre 2014-2020, a porcentagem de áreas de manejo do cluster 3 a menos de 1 km de algum desmatamento, em área rural teve um aumento de 77% e, para o cluster 4 o aumento é de 70.21%, similar aos demais clusters, que tiveram aumentos variando entre 61.57% e 79.27%. Já para as áreas de manejo em áreas urbanas,o aumento para o cluster 3 é de 1700% e para o cluster 4, de 1800%. O cluster 1 tem um aumento de 166.67% para a área urbana e, o cluster 5, um aumento de 4.44%. Não houve aumento para os clusters 0 e 2.

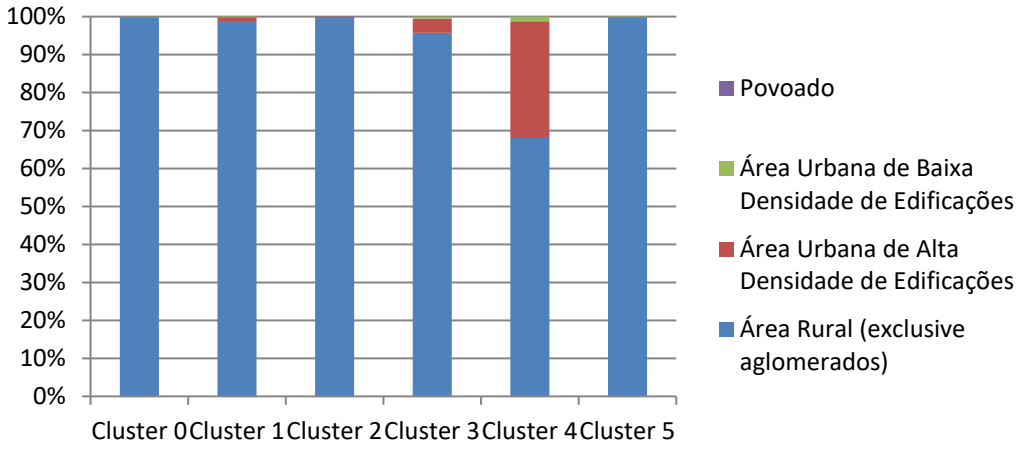


Figura 5: Porcentagem de áreas de manejo em cada setor do IBGE de 2019.

Assim, redirecionamos o nosso olhar para a malha setorial do IBGE, a fim de realizarmos uma nova investigação com base nessa.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Realizamos neste trabalho, uma análise para verificar a relação entre áreas autorizadas para exploração madeideira e o desmatamento em dois estados da Amazônia Legal, Pará e Rondônia. Para isso, utilizamos dados de transporte de madeira ainda não explorados nesse tipo de análise, além dos dados tradicionais de sensoriamento remoto de áreas desmatadas previamente registradas pelo Projeto PRODES e, a malha setorial de 2019 do IBGE.

Parte das instâncias de áreas autorizadas está localizada em setores urbanos. Além das áreas autorizadas em setores urbanos se aproximarem mais rapidamente dos desmatamentos, os setores urbanos que possuem áreas autorizadas também se aproximam mais rapidamente dos desmatamentos, sugerindo que nessas áreas existe uma pressão maior sobre o desmatamento. No entanto, as áreas desmatadas próximas às áreas autorizadas são maiores em setores rurais. Os volumes de madeira transportados a partir de áreas autorizadas em setores urbanos também são maiores que os volumes transportados a partir de áreas autorizadas em setores rurais, o que sugere que grande volume de madeira extraída dessas áreas autorizadas é transportada legalmente.

7. Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora) pelos dados do Sinaflor fornecidos.

Referências

Adarme, M.O.; Feitosa, R.Q.; Happ, P.N.; Almeida, C.A.D.; Gomes, A.R. Evaluation of Deep Learning Techniques for Deforestation Detection in the Brazilian Amazon and Cerrado Biomes From Remote Sensing Imagery. *Remote Sens.* 2020, *12*, 910.

Almeida, D. S. (2020). Análise do desmatamento e das queimadas na Amazônia Legal em 2018 e 2019 utilizando dados geoespaciais. Boletim Campineiro de Geografia, 2020, v. 10, n. 2, p. 395-407.

Daudt, R., Le Saux, B., Boulch, A., Gousseau, Y., 2018. Urban change detection for multispectral earth observation using convolutional neural networks. IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, 2115–2118.

de Bem, P.; de Carvalho, O., Jr.; Guimarães, R.F.; Gomes, R.T. Change Detection of Deforestation in the Brazilian Amazon Using Landsat Data and Convolutional Neural Networks. *Remote Sens.* 2020, *12*, 901.

Dhingra, S., Kumar, D., 2019. A review of remotely sensed satellite image classification. International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708), 9.

DOBLAS, J. et al., Optimizing Near Real-Time Detection of Deforestation on Tropical Rainforests Using Sentinel-1 Data. *Remote Sens.*, v. 12, n. 23, 3922, nov. 2020.

Dominguez, D.; del Villar, L.d.J.; Pantoja, O.; González-Rodríguez, M. Forecasting Amazon Rain-Forest Deforestation Using a Hybrid Machine Learning Model. *Sustainability,* 2022, *14*, 691. https://doi.org/10.3390/su14020691

Guo, Y.; Long, T.; Jiao, W.; Zhang, X.; He, G.; Wang, W.; Peng, Y.; Xiao, H. Siamese Detail Difference and Self-Inverse Network for Forest Cover Change Extraction Based on Landsat 8 OLI Satellite Images. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 627. https://doi.org/10.3390/rs14030627

Hethcoat, M.G.; Carreiras, J.M.B.; Bryant, R.G.; Quegan, S.; Edwards, D.P. Combining Sentinel-1 and Landsat 8 Does Not Improve Classification Accuracy of Tropical Selective Logging. *Remote Sens.* 2022, *14*, 179. https://doi.org/10.3390/rs14010179

IBGE. Amazônia Legal – O que é. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais>. Acesso em: 29 mar. 2022a.

IBGE. Censo 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29 mar. 2022b.

Interdonato, Roberto; Ienco, Dino; Gaetano, Raffaele; Ose, Kenji. (2019). DuPLO: A DUal view Point deep Learning architecture for time series classificatiOn, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 149, 2019, Pages 91-104, ISSN 0924-2716, https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.01.011.

Kranjcic, N., Medak, D., Zupan, R., Rezo, M., 2019. Support Vector Machine Accuracy Assessment for Extracting Green Urban Areas in Towns. Remote Sensing, 11, 655.

Ma, L.; Liu, Y.; Zhang, X.; Ye, Y.; Yin, G.; Johnson, B.A. Deep Learning in Remote Sensing Applications: A Meta-Analysis and Review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2019, *152*, 166–177.

Matosak, B.M.; Fonseca, L.M.G.; Taquary, E.C.; Maretto, R.V.; Bendini, H.d.N.; Adami, M. Mapping Deforestation in Cerrado Based on Hybrid Deep Learning Architecture and Medium Spatial Resolution Satellite Time Series. *Remote Sens.* 2022, *14*, 209. https://doi.org/10.3390/rs14010209

Maretto, R.V.; Fonseca, L.M.G.; Jacobs, N.; Korting, T.S.; Bendini, H.N.; Parente, L.L. Spatio-Temporal Deep Learning Approach to Map Deforestation in Amazon Rainforest. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2020, *18*, 771–775.

Maxwell, A. E., Warner, T. A., Fang, F., 2018. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. International Journal of Remote Sensing, 39, 2784–2817.

Mu, Ye, Jones, Charles (2022). An observational analysis of precipitation and deforestation age in the Brazilian Legal Amazon, Atmospheric Research, Volume 271, 2022, 106122, ISSN 0169-8095, https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106122.

ORTEGA, M. X. et al., Evaluation of Deep Learning Techniques for Deforestation Detection in the Amazon Forest. In: ISPRS ANN. Photogramm. Remote Sens Spatial Inf. Sci., 2019. Munich, Germany. *Proceedings…* Germany: Copernicus Publications, 2019. v. IV-2/W7, p.121–128.

Pereira, Alexia Saleme Aona de Paula; Santos, Vitor Juste dos; Alves, Arthur Amaral e Silva, Sabrina do Carmo; Silva, Charles Gomes da; Calijuri, Maria Lúcia (2022). Contribution of rural settlements to the deforestation dynamics in the Legal Amazon, *Land Use Policy*, Volume 115, 2022, 106039, ISSN 0264-8377, https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106039.

Santos, Yara L. F.; Yanai, Aurora M.; Ramos, Camila J. P.; Graça, Paulo M.L.A.; Veiga, Jose A. P.; Correia, Francis W. S.; Fearnside, Philip M. (2022). Amazon deforestation and urban expansion: Simulating future growth in the Manaus Metropolitan Region, Brazil, Journal of Environmental Management, Volume 304, 2022, 114279, ISSN 0301-4797, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114279.

SUDAM. *Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia (PRDA) 2020-2023*, Belém, PA, Brazil: SUDAM, 2020.

Wu, X., Bao, Q., and Liu, G. (2022). Comparative analysis of dynamic changes in forest resources with RBF neural network and regression method, *BioResources* 17(2), 2313-2330.

Zhan, Y., Fu, K., Yan, M., Sun, X., Wang, H., Qiu, X., 2017. Change detection based on deep siamese convolutional network for optical aerial images. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 14, 1845–1849.

Zhang, Z., Vosselman, G., Gerke, M., Tuia, D., Yang, M. Y., 2018. Change Detection between Multimodal Remote Sensing Data Using Siamese CNN. arXiv preprint arXiv:1807.09562.