

**DETECÇÃO DE MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ESTADO  
DO AMAZONAS BASEADA NAS CLASSIFICAÇÕES DO PROJETO  
MAPBIOMAS**

DETECTION OF CHANGES IN LAND USE AND OCCUPATION IN THE STATE  
OF AMAZONAS BASED ON CLASSIFICATIONS OF THE MAPBIOMAS  
PROJECT

DETECCIÓN DE CAMBIOS DE USO Y OCUPACIÓN DE SUELO EN EL ESTADO  
DE AMAZONAS BASADO EN CLASIFICACIONES DEL PROYECTO  
MAPBIOMAS

**Brychtn Ribeiro de Vasconcelos<sup>1</sup>**

**Mirelle Tainá Vieira Lima<sup>2</sup>**

**Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>3</sup>**

**Resumo:** A detecção de mudanças na cobertura do solo é uma das principais aplicações dos dados de observação da Terra, e constitui uma ferramenta essencial à gestão ambiental e ao monitoramento das mudanças climáticas. Sobretudo na Amazônia, que é um dos principais biomas do mundo e encontra-se constantemente ameaçado, esse tipo de análise espacial é de fundamental importância. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo detectar, quantificar e discutir as mudanças espaço-temporais no uso e ocupação do solo no Estado do Amazonas entre os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020, por meio da Coleção 7 do MapBiomas. A área de estudo compreende o Estado do Amazonas e a detecção das mudanças de uso e ocupação do solo foi obtida na calculadora Raster do QGIS 3.26, por meio da subtração entre as imagens dos períodos inicial e final que se desejam analisar, computada pela seguinte expressão: (“imagem do período inicial”^3) - (“imagem do período posterior ao inicial”^3). Os gráficos de Sankey foram produzidos por meio da ferramenta online SankeyMATIC. Observou-se que, uma das principais mudanças consiste no aumento do desmatamento ao sul do Estado, em função

---

<sup>1</sup> Doutor em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto na Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Parintins/AM. E-mail: [brychtn@gmail.com](mailto:brychtn@gmail.com). Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/0445762148028931>. Orcid iD <https://orcid.org/0000-0002-8567-8499>.

<sup>2</sup> Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). E-mail: [mirellet.vieira@gmail.com](mailto:mirellet.vieira@gmail.com). Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/3287769928508224>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-2711-1929>.

<sup>3</sup> Doutor em Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor Titular na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia – FAENG da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Campo Grande/MS. E-mail: [antonio.paranhos@ufms.br](mailto:antonio.paranhos@ufms.br). Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/8366463150019459>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>.

do aumento de áreas de pastagem. As mudanças ocorreram sobretudo nas proximidades dos rios principais e nos arredores de Manaus.

**Palavras-chave:** Amazônia; Desmatamento; Floresta; Gestão Ambiental; Sensoriamento Remoto.

**Abstract:** The detection of land cover changes is one of the main applications of Earth observation data, and constitutes an essential tool for environmental management and monitoring of climate change. Especially in the Amazon, which is one of the main biomes in the world and is constantly threatened, this type of spatial analysis is of fundamental importance. In this sense, the present work aims to analyze the space-time changes in land use and occupation in the State of Amazonas in the years 1985, 1995, 2005, 2015 and 2020, through Collection 7 of MapBiomass, proposing a methodology for change detection mapping and producing Sankey plots. The study area comprises the State of Amazonas and the detection of changes in land use and occupation was obtained in the Raster calculator of QGIS 3.26, through the subtraction between the images of the initial and final periods to be analyzed, computed by the following expression: ("early period image"<sup>3</sup>) - ("post-initial period image"<sup>3</sup>). Sankey graphs were produced using the SankeyMATIC online tool. It was observed that one of the main changes is the increase in deforestation in the south of the state, due to the increase in pasture areas. The changes occurred mainly in the vicinity of the main rivers and in the vicinity of Manaus.

**Palavras-chave:** Amazon; Deforestation; Forest; Environmental management; Remote sensing.

**Resumen:** La detección de cambios en la cobertura del suelo es una de las principales aplicaciones de los datos de observación de la Tierra, y constituye una herramienta fundamental para la gestión ambiental y el seguimiento del cambio climático. Especialmente en la Amazonía, que es uno de los principales biomas del mundo y está constantemente amenazado, este tipo de análisis espacial es de fundamental importancia. En ese sentido, el presente trabajo tiene como objetivo analizar los cambios espacio-temporales en el uso y ocupación del suelo en el Estado de Amazonas en los años 1985, 1995, 2005, 2015 y 2020, a través de la Colección 7 del Mapa Biomass, proponiendo una metodología para el cambio. mapeo de detección y producción de diagramas de Sankey. El área de estudio comprende el Estado de Amazonas y la detección de cambios de uso y ocupación del suelo se obtuvo en la calculadora Raster de QGIS 3.26, a través de la resta entre las imágenes de los periodos inicial y final a analizar, computada por la siguiente expresión: ("imagen del período inicial"<sup>3</sup>) - ("imagen del período posterior al inicio"<sup>3</sup>). Los gráficos de Sankey se produjeron utilizando la herramienta en línea SankeyMATIC. Se observó que uno de los principales cambios es el aumento de la deforestación en el sur del estado, debido al aumento de las áreas de pastoreo. Los cambios ocurrieron principalmente en la vecindad de los principales ríos y en los alrededores de Manaus.

**Palabras clave:** Amazonas; Deforestación; Selva; Gestión ambiental; Detección remota.

## Introdução

Nas últimas décadas, os avanços nas técnicas de monitoramento e observação da Terra, incluindo o sensoriamento remoto e outras técnicas de geoprocessamento, intensificaram os estudos globais, regionais e locais acerca das mudanças de uso e cobertura da terra, sobretudo no monitoramento do padrão de cobertura florestal (Chaikaew, 2019; Forkuo; Frimpong, 2012). A detecção de mudanças na cobertura do solo é uma das principais aplicações dos dados espaciais, uma vez que é capaz de produzir informações sobre a qualidade ambiental, aquecimento global, gerenciamento da cidade e a análise das condições da vegetação e sua resposta às mudanças climáticas (Chughtai et al., 2021; Zhiyong et al., 2021; El Haj, 2023).

Conforme Mialhe et al. (2015), as mudanças no uso da terra são, no geral, consequência de políticas governamentais e de forças de mercado, mas também podem ocorrer espontaneamente como consequência de perigos naturais ou práticas locais de manejo da terra. Dessa forma, os autores reforçam que, monitorar as mudanças no uso da terra faz-se importante por causa das ameaças ambientais globais às quais elas estão frequentemente associadas.

Porquanto, diversos produtos de sensoriamento em larga escala foram desenvolvidos por instituições ao redor do mundo para o monitoramento da cobertura do solo. Por exemplo, o produto MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type (MCD12Q1), que identifica 17 classes de cobertura do solo (Friedl; Sulla-Menashe, 2015) e o MODIS Global Vegetation Phenology (MCD12Q2), que fornece estimativas do tempo da fenologia da vegetação em escalas globais (Friedl; Sulla-Menashe, 2015); ambos calculados anualmente com resolução espacial de 500 m. Também, o produto Land Cover Dynamics da NASA (Suomi NPP) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), que fornece métricas globais de fenologia da superfície terrestre (GLSP) em intervalos anuais, com resolução espacial de 500 metros (Zhang et al, 2020).

Bem como, a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) monitora as mudanças do uso da terra em escala global (Hascic; Mackie, 2018). Para esta organização, analisar as mudanças na cobertura da terra é a melhor medida disponível para monitorar as pressões sobre os ecossistemas terrestres e a biodiversidade. O projeto da OCDE foi impulsionado pelo aumento da disponibilidade de conjuntos de dados de sensoriamento remoto em escala global; em que, seus resultados baseiam-se nos

dados de classificação da cobertura da terra, de 1992 até o presente, derivados do satélite Copernicus/European Space Agency e da Université catholique de Louvain Geomatics Climate Change Initiative (CCI-LC), que podem ser acessados na plataforma OECD.Stat ([https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=LAND\\_COVER](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=LAND_COVER)).

Enquanto no Brasil, tem-se, principalmente, a iniciativa do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra, o MapBiomias (Mapbiomas, 2022), que teve início no ano de 2015, fruto da cooperação entre entes da comunidade científica brasileira e da parceria com a plataforma Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). O projeto é formado por uma rede colaborativa de ONGs, universidades e startups de tecnologia, responsáveis por fornecerem produtos anuais de cobertura e uso do solo e monitoramento da superfície de água e das cicatrizes de fogo a partir de 1985. Tem por objetivo apontar as transformações passadas pelo território brasileiro nos últimos anos, de modo a tornar o conhecimento acessível; bem como, servir de suporte ao manejo sustentável do meio ambiente. A sua Coleção 7 apresenta refinamento do produto anual de cobertura e uso da terra do Brasil, que cobre o período de 1985 e 2021, em resolução espacial de 30 m (Mapbiomas, 2022). O projeto vem adquirindo crescente relevância e aderência de usuários, certamente, pela imensurável contribuição aos estudos ambientais no Brasil.

Por meio do MapBiomias, torna-se possível monitorar e avaliar áreas remotas em toda extensão territorial brasileira, contemplando a sua grande diversidade de biomas sensíveis e florestas tropicais. Incluindo um dos biomas mais representativos do Brasil, a Amazônia, que sofreu intensamente com o aumento do desmatamento nos últimos anos, muitas vezes associado à mineração (Fernandes, 2022). A floresta Amazônica constitui a maior floresta equatorial do mundo e, juntamente com a Bacia Amazônica, a qual apresenta cerca de 8 milhões de km<sup>2</sup> de florestas, é também um dos mais importantes ecossistemas e reservatório global de carbono (Castro et al, 2021; Imbach et al, 2015), em que o Estado do Amazonas abrange a maior porção deste bioma no Brasil.

Dada a importância da área de estudo a ser analisada e da necessidade de seu monitoramento, o presente trabalho tem por objetivo detectar, quantificar e discutir as mudanças espaço-temporais no uso e ocupação do solo no Estado do Amazonas entre os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020, por meio da Coleção 7 do MapBiomias.

## Procedimentos metodológicos

### Área de estudo

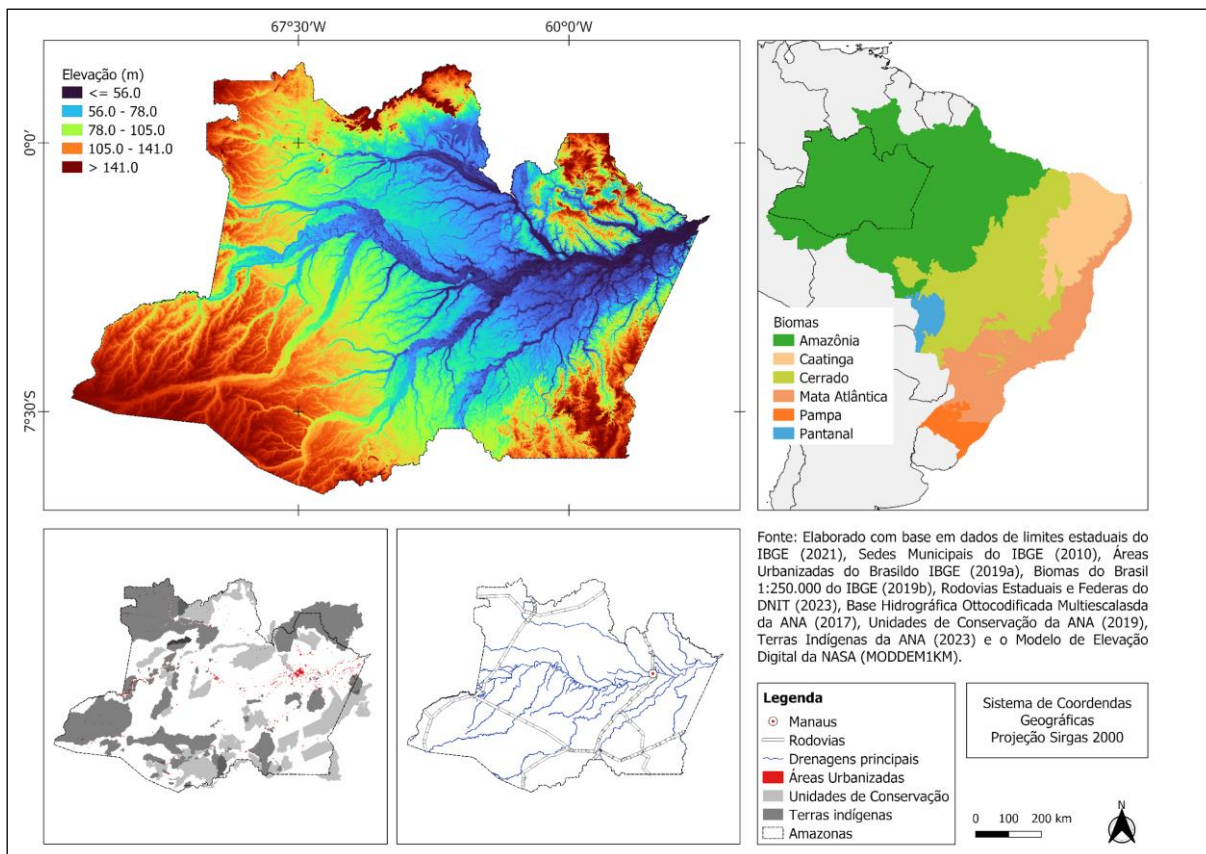
A área de estudo compreende o Estado do Amazonas, localizado ao norte do Brasil, nas coordenadas de 73°48'5"W à 2°14'5"N, com extensão territorial de 1.559.168 km<sup>2</sup> e população estimada de 4.269.995 habitantes (Ibge, 2021), constituindo, portanto, uma densidade demográfica aproximada de 2,74 hab./km<sup>2</sup>. A área urbanizada corresponde a 669,46 km<sup>2</sup> (Ibge, 2019), ou 0.043% da área total. Em 2021, o rendimento nominal mensal domiciliar per capita foi de R\$ 800,00; o antepenúltimo menor rendimento dentre os 27 Estados brasileiros. Em 2010, obteve índice de desenvolvimento humano (IDH) igual a 0,674, configurando acréscimo em comparação aos anos de 2000 (0,515) e 1991 (0,430), conforme o relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud, 2010).

Conforme evidencia a Figura 1, cerca de 16,9% do território do Amazonas é composto por unidades de conservação (UCs) e 27% por territórios de demarcação indígena (TIs). Os cursos d'água principais (com valor da ordem Strahler acima de 5) apresentam uma extensão de 19.897 km, e constituem a principal via de transporte e acesso ao território, uma vez que suas rodovias abrangem apenas 6.129 km de extensão total.

De acordo com Alvares et al. (2013), a classificação climática Köppen para o Estado subdivide-se em 82,3% como tipo Af (clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca) e 17,6% como Am (clima tropical úmido ou subúmido). Conforme Alves et al. (2019), as temperaturas médias mensais no Estado variam de 25,3 (julho) a 26,6 °C (outubro) e a precipitação média mensal de 124,4 (agosto) a 316,2 mm (março). A precipitação média anual por município varia de 2.086 mm a 3.619 mm.



**Figura 1** – Mapa de localização do Estado do Amazonas, contextualizando sua inserção dentro dos diferentes biomas brasileiros, predominância de unidades de conservação, terras indígenas e áreas urbanas, bem como suas rodovias e principais cursos de rios.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

## Projeto MapBiomas

Nos mapeamentos do projeto MapBiomas (<https://MapBiomas.org/>), foram encontradas as seguintes classificações de uso e ocupação do solo para o Estado do Amazonas nas imagens correspondente a 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020, além de seus respectivos códigos: Soja (39), Outras Lavouras Temporárias (41), Cana (20), Mineração (30), Área Urbanizada (24), Formação Savânica (4), Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Pastagem (15), Formação Campestre (12), Rio Lago e Oceano (33), Formação Florestal (3), Sem Dado (0).

## Detecção de Mudanças

A detecção das mudanças de uso e ocupação do solo foi obtida na calculadora Raster do QGIS 3.26, por meio da subtração entre as imagens dos períodos inicial e final que se desejam analisar, computada pela seguinte expressão: (“imagem do período inicial”^3) - (“imagem do período posterior ao inicial”^3). Dessa maneira, áreas que não apresentam mudança de classificação entre um período e outro adquirem o valor igual a zero, enquanto áreas que mudaram o seu tipo de ocupação vão apresentar valores exclusivos, conforme a matriz de identificação das mudanças no uso e ocupação do solo, apresentada na Figura 2.

**Figura 2** – Matriz de identificação das mudanças no uso e ocupação do solo, em que a primeira coluna e a primeira linha (em verde) representam, respectivamente, a classe de solo original e a classe de solo no período seguinte, após 5 ou 10 anos, em um mesmo ponto de observação.

		Classes - Período final										
		3	4	11	12	15	20	24	30	33	39	41
Classes - Período inicial	3	0	-37	-1304	-1701	-3348	-7973	-13797	-26973	-35910	-59292	-68894
	4	37	0	-1267	-1664	-3311	-7936	-13760	-26936	-35873	-59255	-68857
	11	1304	1267	0	-397	-2044	-6669	-12493	-25669	-34606	-57988	-67590
	12	1701	1664	397	0	-1647	-6272	-12096	-25272	-34209	-57591	-67193
	15	3348	3311	2044	1647	0	-4625	-10449	-23625	-32562	-55944	-65546
	20	7973	7936	6669	6272	4625	0	-5824	-19000	-27937	-51319	-60921
	24	13797	13760	12493	12096	10449	5824	0	-13176	-22113	-45495	-55097
	30	26973	26936	25669	25272	23625	19000	13176	0	-8937	-32319	-41921
	33	35910	35873	34606	34209	32562	27937	22113	8937	0	-23382	-32984
	39	59292	59255	57988	57591	55944	51319	45495	32319	23382	0	-9602
	41	68894	68857	67590	67193	65546	60921	55097	41921	32984	9602	0

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Nota-se que valores positivos representam o avanço de uma classe em detrimento de outra e valores negativos representam a supressão de uma classe de uso do solo. Considerando que os valores não se repetem (apenas se espelham em positivos e negativos), é possível identificar a relação existente entre as classes, associada a cada

valor. Por exemplo, se o valor de um pixel na imagem resultante é igual a 37, significa que naquele pixel, anteriormente, abrigava-se a classe 4, mas passou a ser ocupado pela classe 3, e assim por diante.

A área ocupada por cada tipo de alteração foi obtida por meio do algoritmo “Raster layer unique values report” no ambiente do QGIS 3.26, o qual retorna a contagem de pixels e a área de cada valor único em uma determinada camada raster. Em planilha eletrônica, contabilizou-se a representatividade de cada classe de uso e ocupação sobre a área total do Estado, em km<sup>2</sup>, em termos percentuais.

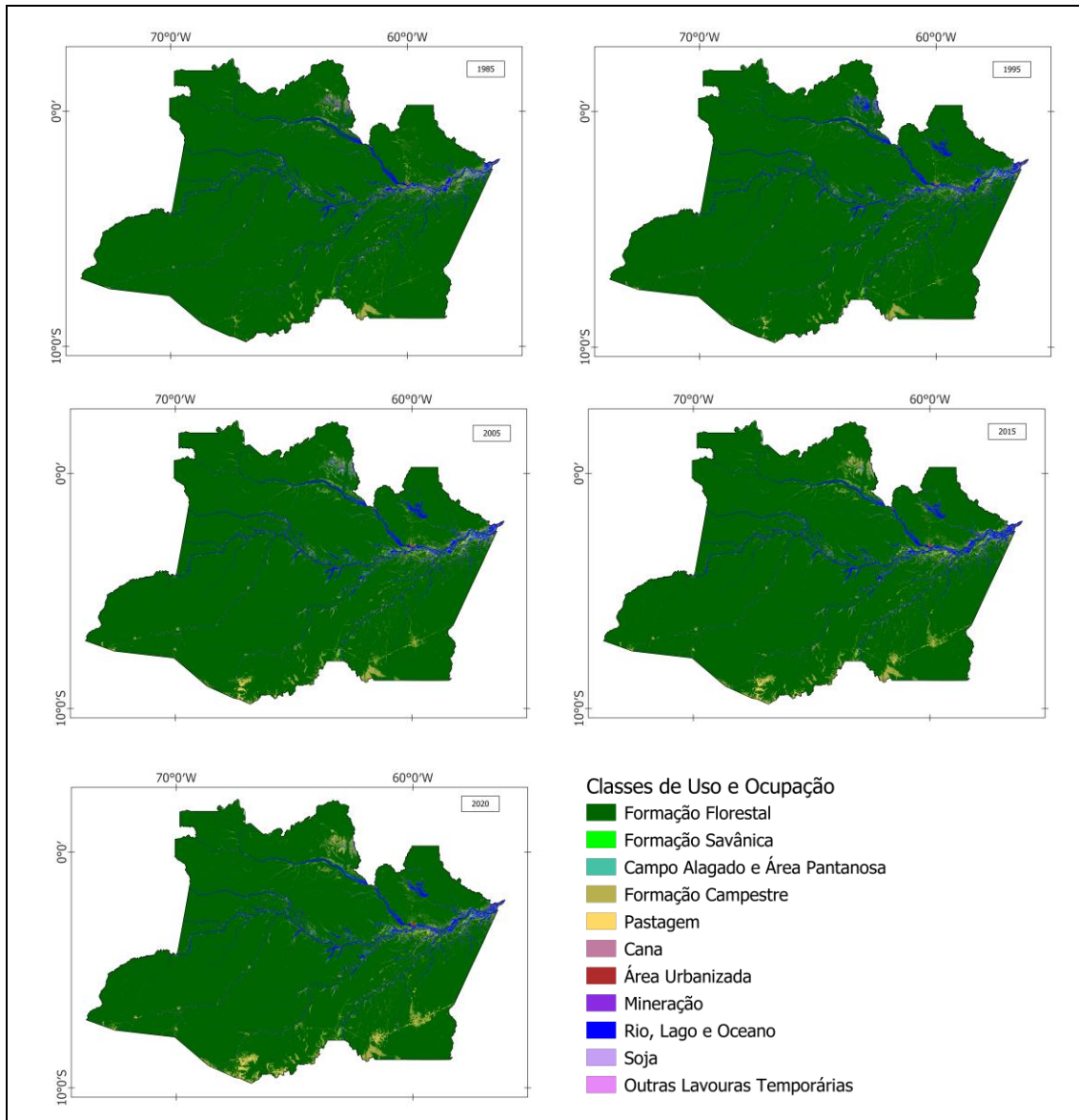
Neste estudo, foram utilizados gráficos de Sankey como suporte às interpretações dos resultados obtidos. Esse tipo de gráfico segue a lógica de uma matriz de tabulação cruzada, e destaca-se por ser capaz de enfatizar o tamanho e a direção dos fluxos dentro de um sistema, onde setas ou linhas direcionais são usadas para representar esses fluxos, com a espessura da seta ou linha proporcional à magnitude do fluxo (Cuba, 2015). Os gráficos de Sankey do presente trabalho foram produzidos por meio da ferramenta online SankeyMATIC (Bogart, 2018), acessível em: <https://sankeymatic.com/build/>.

## Resultados

Historicamente, as atividades humanas causam mudanças significativas na função e nos serviços que os ecossistemas prestam à sociedade, especialmente a perda e fragmentação de áreas florestais. Nota-se que, uma das principais mudanças observadas no uso e ocupação do solo no Amazonas é o aumento do desmatamento ao sul do Estado, em função do aumento de áreas de pastagem (Figura 3).



**Figura 3** – Mudanças de uso e ocupação do solo no Estado do Amazonas nos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020, conforme mapeamento do projeto MapBiomas, onde observam-se o avanço de áreas de formação campestre e pastagem e a redução de corpos hídricos.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

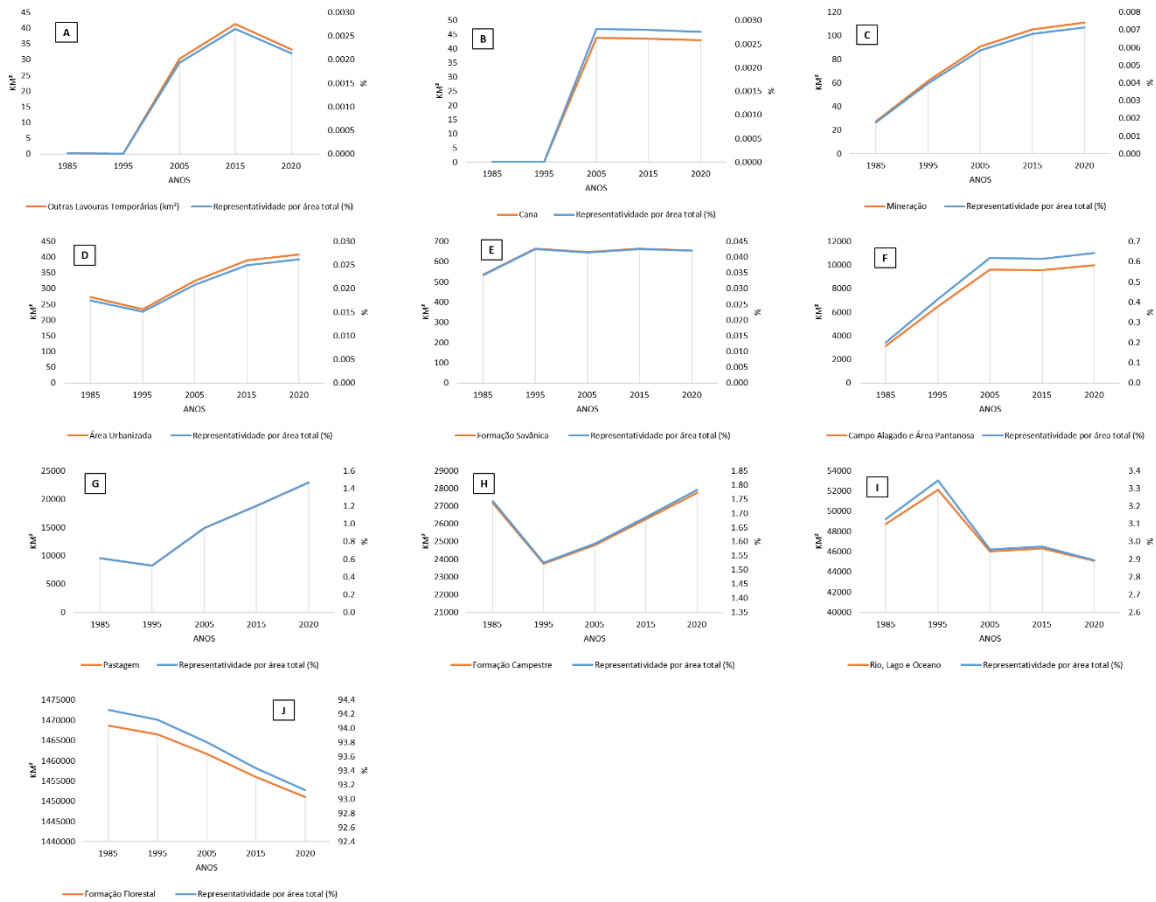
De 1985 a 2020 observou-se uma redução de 17625.56 km<sup>2</sup> de formações florestais. Duarte et al. (2019) defendem que há grande pressão sobre unidades de conservação ambiental (UCs) recém-criadas no sul do Estado do Amazonas, que é exercida por diversos segmentos da sociedade, por meio do desmatamento, da abertura de estradas, de requerimentos de lavra garimpeira, de busca por registro de imóveis rurais,

da ocupação das áreas na zona de amortecimento e da tentativa de diminuição de seus limites das UCs.

Vale destacar que, a única classe que diminuiu sucessivamente sua área ocupada em km<sup>2</sup> e, conseqüentemente, representatividade em termos percentuais, entre os anos analisados, foi a Formação Florestal. Ao contrário da classe Mineração, que apresentou crescimento constante dos mesmos aspectos. As classes Formação Campestre, Pastagem e Área Urbanizada apresentaram declínio de 1985 a 1995, seguido de crescimento constante até 2020. Cana e Outras lavouras temporárias não foram identificadas no Estado até 1995, enquanto a primeira manteve área estagnada desde 2005, a segunda manteve o crescimento até apresentar declínio de 2015 para 2020. Semelhantemente, a Formação Savânica também apresentou estagnação após 1995, e os Campos Alagados e Áreas Pantanosas após 2005. Vale destacar que, os corpos hídricos referentes à classe Rio, Lago e Oceano apresentaram declínio acentuado após 1995 até 2020 (Figura 4).

Destaca-se que as classes Cana e Outras Lavouras Temporárias foram as que mais aumentaram de 1995 a 2005; uma vez que, anteriormente, apresentavam área insignificante. Percebe-se um rebaixamento na inclinação da curva após 2005, nos gráficos que representam de áreas de cultivo e pastagem, quando comparadas ao período anterior, o que pode ser explicado pelo fato de as modificações estarem sendo intensificadas em áreas já antropizadas. Jakovac et al. (2017) analisaram a dinâmica temporal e espacial da mudança de cultivo na região do rio Amazonas médio para avaliar como a mudança da agricultura se expandiu e/ou se intensificou nas últimas três décadas. A área de estudo concentrou-se nos municípios de Alvarães e Tefé, de onde se analisaram campos de pousio de 1984 a 2015. Constataram que, no período analisado, um total de 6.023 ha de floresta de crescimento antigo foram desmatados por mudanças no cultivo na área de estudo. Bem como, observou-se que o aumento da área cultivada intensificou nos últimos anos em áreas de pousios e não em florestas antigas, com uma diminuição geral na duração do período de pousio. Os autores buscam explicar a redução no desmatamento, o aumento da área cultivada e a intensificação agrícola, pela combinação de altas densidades populacionais, acessibilidade limitada à terra e aumento da demanda do mercado.

**Figura 4** – Área ocupada em km<sup>2</sup> (laranja) e representatividade por área total em porcentagem (azul) das classes: A: Formação Florestal; B: Formação Savânica; C: Campo Alagado e Área Pantanosa; D: Formação Campestre; E: Pastagem; F: Cana; G: Área Urbanizada; H: Mineração; I: Rio, Lago e Oceano, e J: Outras lavouras temporárias.



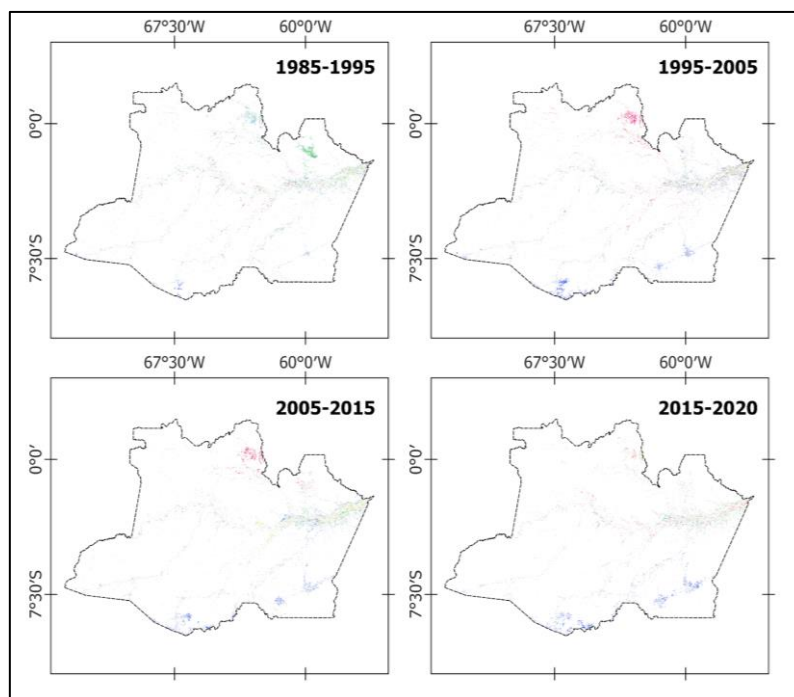
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Com relação aos recursos hídricos, houve diminuição de 3627.77 km<sup>2</sup> de superfície coberta por Rio, Lago e Oceano. Conforme dados do MapBiomass, a retração da superfície coberta com água no Brasil foi de 15,7% desde o início dos anos 90, correspondentes a uma redução de cerca de 3.4 milhões de hectares até 2020. Esse resultado está em conformidade com o relatório apresentado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) redução significativa das vazões observadas em grande parte do Brasil, preponderantemente, no período entre os anos de 2014 e 2017, e no ano de 2020.

Além das perdas quantitativas, podem ser observados prejuízos na qualidade da água disponível. Santos et al. (2020) avaliaram a influência da dinâmica de uso do solo sobre a qualidade da água do Rio Crato, uma região de expansão do perímetro urbano do município de Humaitá-AM, nos anos de 2014 e 2019, por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA). Os resultados obtidos pelos autores indicaram que o avanço de atividades antrópicas de forma irregular, em Áreas de Preservação Permanente (APP) geraram alterações significativas nos parâmetros da qualidade da água (fósforo, nitrogênio e Coliformes Termotolerantes, com valores acima dos permitidos na legislação vigente), quando comparado com resultados observados anteriormente realizados no local, provavelmente devido ao uso inadequado do solo e lançamento de efluentes.

Após calculadas as diferenças entre cada imagem, geraram-se mapas com valores de pixels representativos das mudanças ocorridas no uso do solo ao longo dos anos, apresentados na Figura 5, que devido à grande quantidade de atributos não apresenta legenda.

**Figura 5** - Espacialização das diferentes variações/mudanças nos usos e ocupações do solo (multicolorido), observados no Estado do Amazonas, em intervalos de 10 anos (1985 e 2015) e 5 anos (2015 a 2020).

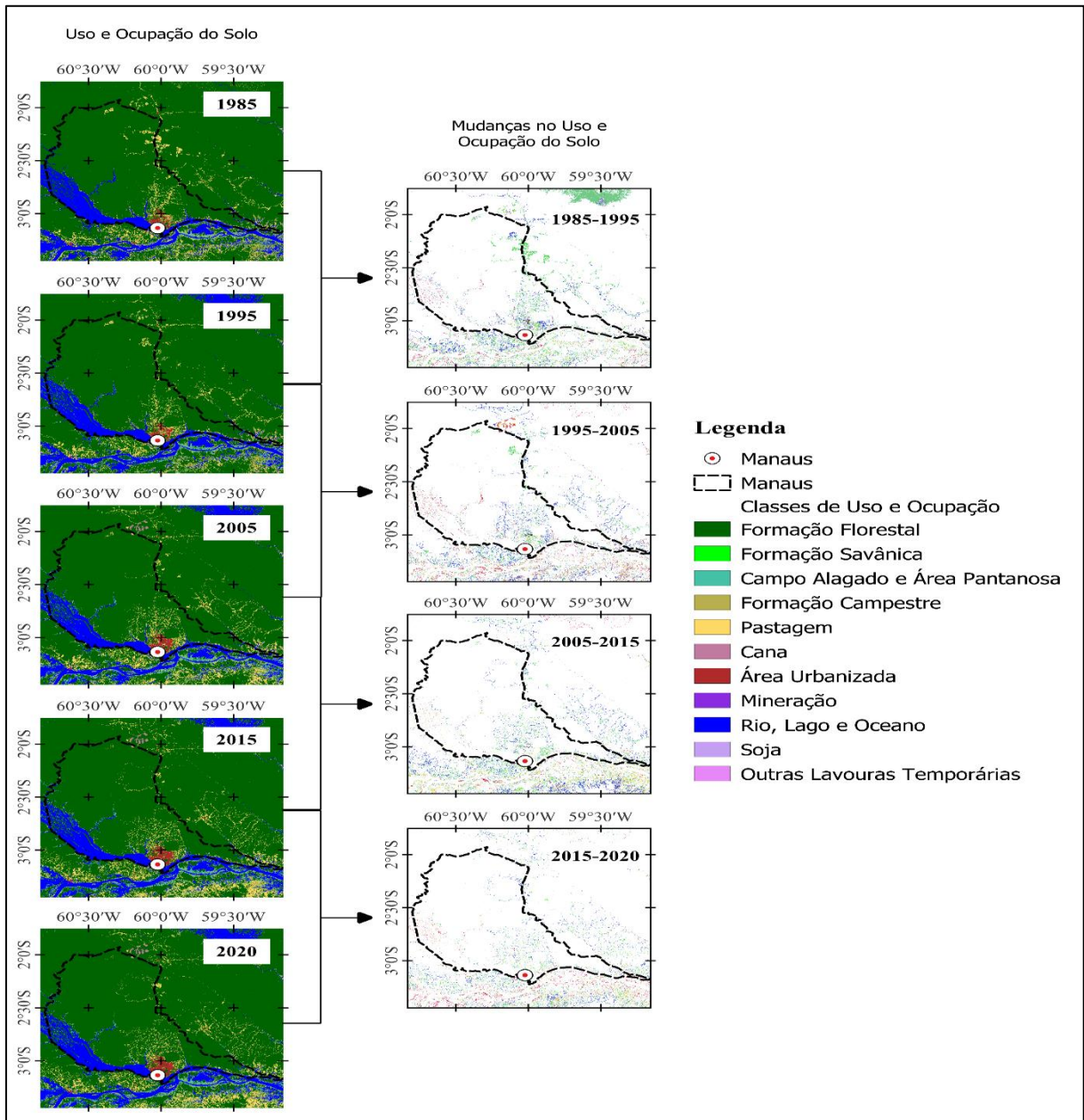


**Fonte:** Elaborado pelos autores.

\*Áreas em branco dentro do Estado não apresentam alteração no uso do solo no período.

Observa-se que, as transformações antrópicas são mais acentuadas próximo às drenagens principais de cursos de rios, tais como o Rio Amazonas, Rio Negro e Solimões (Alves, 2019), e próximo à capital Manaus (Figura 6).

**Figura 6** - Espacialização dos usos e ocupações do solo e das suas diferentes variações/mudanças, observados em Manaus-AM, em intervalos de 10 anos (1985 e 2015) e 5 anos (2015 a 2020).



Fonte: Elaborado pelos autores.



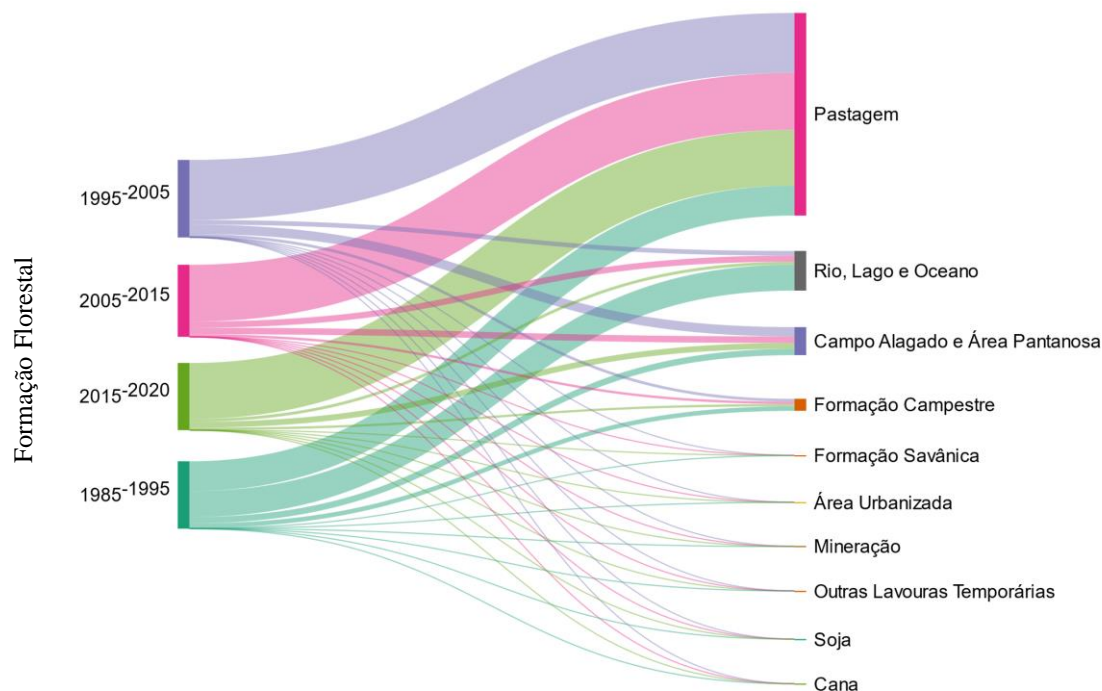
A população da região Norte do Brasil passou a apresentar crescimento expressivo a partir da década de 1980 (Guilherme et al., 2016). Nesse mesmo período, intensificou-se a abertura e/ou a expansão de inúmeras estradas, incluindo rodovias federais e estaduais do Estado do Amazonas (Gigliotti; Pinho, 2015). Assim, Gigliotti e Pinho (2015) buscaram quantificar a mudança de uso e cobertura da terra no entorno de alguns dos principais rios e estradas no Município de Silves-AM e verificar transformações na nova configuração espacial vivenciada pela população local. Os autores concluíram que a construção da rodovia AM-363 transformou a dinâmica populacional e de ocupação humana na região, transferindo a ocorrência das principais áreas desflorestadas dos rios para as estradas.

Com base nos valores obtidos, foi possível produzir diagramas de Sankey, para identificar a transição dos usos, e observar como ocorreram as transformações. Nota-se que, a maior parte da área coberta por formação florestal que foi modificada converteu-se em pastagem; seguida, por áreas úmidas ou alagadas e formações campestres (Figura 7).

Guilherme et al. (2016) elaboraram estudo sobre as mudanças do uso e ocupação do solo no Município de Coari, localizado no Estado do Amazonas, aproximadamente no centro geográfico do Estado e da floresta amazônica, utilizando o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), a partir de imagens Landsat 5 TM, em 1986 e 2009. O uso do solo foi classificado em quatro classes: área urbana ou solo exposto, floresta densa, clareiras e água. De modo que, pôde-se observar o aumento de solo exposto ou área urbana, ao mesmo tempo que se observou a diminuição da área de floresta densa, caracterizando o avanço da atividade antropogênica na região nas duas últimas décadas.



**Figura 7** - Diagrama de Sankey com os usos e ocupações decorrentes do desmatamento de formações florestais no Amazonas, nos períodos entre 1985-1995, 1995-2005, 2005-2015 e 2015-2020, onde observa-se a predominância de conversão de formação florestal em pastagem.



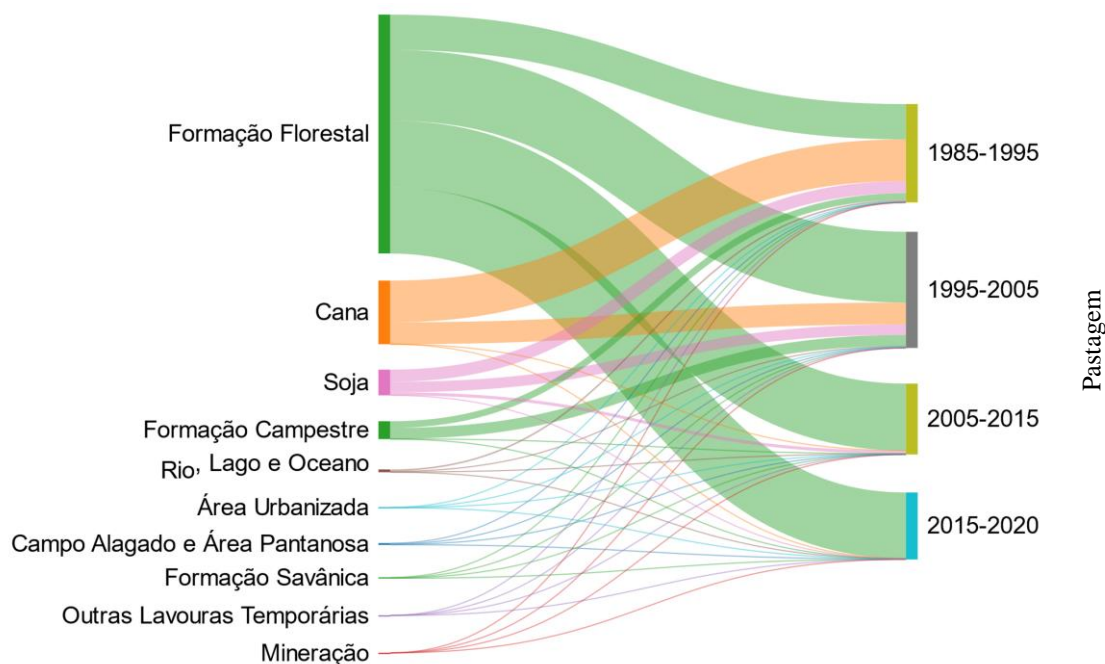
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Analisando os principais usos que antecedem a instalação de áreas de pastagem no Amazonas, verifica-se que as pastagens se originam, principalmente, do desmatamento de formações florestais, mas também da conversão de áreas de plantação de cana, soja e formações campestres (Figura 8).

Duarte et al. (2022) realizaram o mapeamento do uso e ocupação da terra, bem como, a previsão de cenários futuros, para a bacia hidrográfica do rio Juma, localizada na região sul do Estado do Amazonas. Os autores supracitados observaram que, entre 1995 e 2019, ocorreram perdas de 34,82% em áreas ocupadas por floresta, as quais foram revertidas, predominantemente, por pastagens em boas condições ou degradadas, seguida por áreas em recomposição vegetal em diversos estágios de regeneração, bem como utilizadas pela Agricultura Itinerante (AI) e Sistema Agroflorestal (SAF). A simulação futura de uso ocupação do solo estimaram perdas de áreas ocupadas por floresta para o

ano de 2030 (-9,13%) e 2040 (-7,48%) que, somadas às áreas já antropizadas até 2019, inteiram perdas de 51,44% de áreas florestais na bacia do rio Juma.

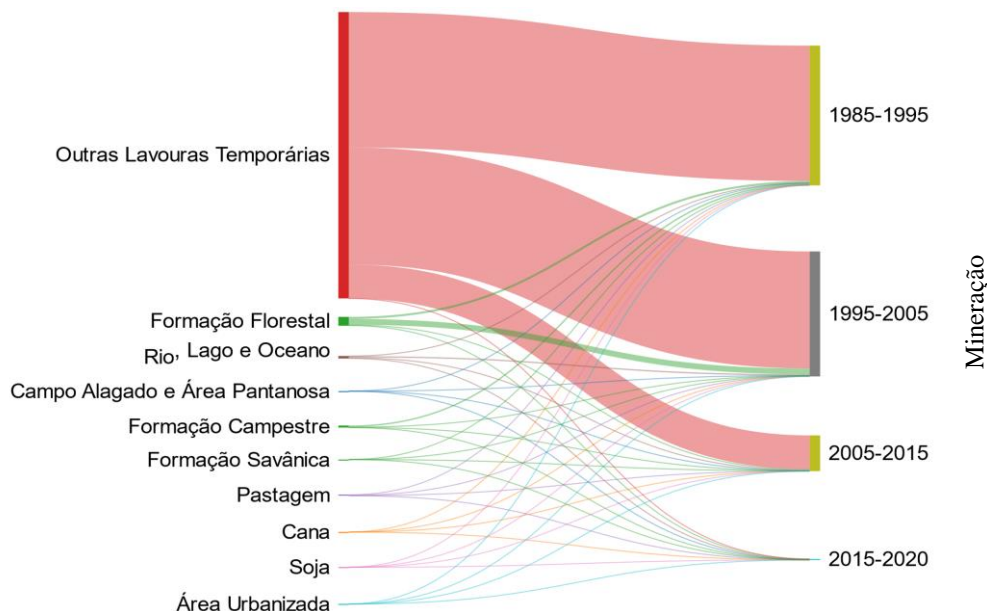
**Figura 8** - Diagrama de Sankey para usos e ocupações anteriores nas áreas de pastagem no Amazonas, nos períodos entre 1985-1995, 1995-2005, 2005-2015 e 2015-2020, onde nota-se a predominância de formação florestal e cana de açúcar como ocupações anteriores às pastagens.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

No mesmo sentido de analisar o uso do solo anterior, agora no caso da mineração, observa-se que grande parte das áreas exploradas pela extração de minério é antecedida por áreas de lavouras temporárias, com um pequeno destaque para formações florestais, sobretudo de 1995 a 2005 (Figura 9).

**Figura 9** - Diagrama de Sankey para usos e ocupações anteriores nas áreas de mineração no Estado do Amazonas, nos períodos entre 1985-1995, 1995-2005, 2005-2015 e 2015-2020.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Fernandes (2022) enfatiza que, apesar de a atividade mineradora não ser a principal causa do desmatamento na Amazônia Legal, os impactos estendem-se à poluição dos recursos hídricos, contaminação do ar, aumento da violência e dos conflitos por terra que impactam diretamente àqueles que dependem dos serviços ecossistêmicos da maior floresta tropical do mundo. O autor ainda demonstra o aumento do número de processos minerários protocolados e no número de Títulos Autorizativos concedidos na Amazônia Legal, nos últimos anos.

### Considerações finais

As coleções de imagens geradas pelo projeto MapBiomias (Mapbiomas, 2022) expandem as possibilidades de estudos ambientais no Brasil. Por meio da metodologia proposta, foi possível obter o mapeamento de detecção de mudanças e visualizar que as mudanças se concentram às margens dos principais cursos de rios e no entorno da capital Manaus.

Por meio dos gráficos Sankey, foi possível observar a intensidade em que as áreas de Formação Florestal são convertidas em pastagem, que são basicamente formadas a

partir do desmatamento de áreas florestais. Também foi possível observar que as áreas de mineração se instalam a partir de áreas já antropizadas, ocupadas por lavouras temporárias diversas.

### Agradecimentos

O Professor Dr. Brychtn Ribeiro de Vasconcelos agradece a Universidade do Estado do Amazonas pela concessão da Gratificação de Produtividade Acadêmica (Portaria N° 409/2021 - GR/UEA). A doutoranda Mirelle Tainá Vieira Lima agradece o apoio científico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo provimento de bolsa de pesquisa em nível de doutorado. Ao CNPq pela concessão de Bolsa Produtividade em Pesquisa ao Professor Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho (PQ-1D - CNPq Processo 304644/2022-6).

### Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, André Campos. **Análise multitemporal e morfodinâmica no entorno da confluência do rio Solimões com o rio Negro**. 2019. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

ALVES, R. C.; TRES, A.; SOARES, R. V.; WENDLING, W. T.; TETTO, A. F. Classificação climática para o estado do Amazonas segundo as zonas de vida de Holdridge. *Revista de Ciências Agrárias*. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 62, 2019.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Catálogo de metadados da ANA. Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 5k. ANA, 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/>. Acesso em: 06/02/2023.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Catálogo de metadados da ANA. Terras Indígenas. ANA, 2023. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/>. Acesso em: 06/02/2023.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Catálogo de metadados da ANA. Unidades de Conservação. ANA, 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/>. Acesso em: 06/02/2023.

BOGART, Steve. SankeyMATIC. A Sankey diagram builder for everyone. 2018. Disponível em: <https://sankeymatic.com/build/>. Acesso em: 06/02/2023.

CASTRO, Leandro Félix; DA SILVA NETO, João Cândido André; VIDAL, Bruno Sarkis. Análise Temporo-Espacial do Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do rio Sanabani no Município de Silves-AM nos anos de 1985 e 2019. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 14, n. 34, 2021.

CHAIKAEW P. Land Use Change Monitoring and Modelling using GIS and Remote Sensing Data for Watershed Scale in Thailand. **Land Use - Assessing the Past, Envisioning the Future** [Internet]. 2019.

CHUGHTAI, Ali Hassan; ABBASI, Habibullah; KARAS, Ismail Rakip. A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 22, p. 100482, 2021.

CUBA, Nicholas. Research note: Sankey diagrams for visualizing land cover dynamics. **Landscape and Urban Planning**, v. 139, p. 163-167, 2015.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rodovias Estaduais e Federais. DNITGeo, 2023.

DUARTE, Miqueias Lima; DA SILVA, Tatiana Acácio; COSTA, Heron Salazar. Mapeamento do uso e ocupação da terra, e previsão de cenários futuros em uma bacia hidrográfica na região sul do estado do Amazonas. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 71, p. 1097-1097, 2022.

DUARTE, M.; SILVA, T.; CERQUEIRA, C.; ELIOMAR S. F. Pressões ambientais em Unidades de Conservação: estudo de caso no sul do Estado do Amazonas. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 18, p. 108, 2019.

EL HAJ, Fatiha Ait; OUADIF, Latifa; AKHSSAS, Ahmed. Monitoring Land Use and Land Cover Change Using Remote Sensing Techniques and the Precipitation-Vegetation Indexes in Morocco. **Ecological Engineering & Environmental Technology**, v. 24, n. 1, p. 272-286, 2023.

FERNANDES, R. M. S. A política mineral do governo Bolsonaro para a Amazônia Legal: Um balanço a partir dos processos minerários ativos. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 4, n. 2, p. 149-172, 2022.

FRIEDL, M.; SULLA-MENASHE, D. Boston University and MODAPS SIPS - NASA. MCD12Q2 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Dynamics Yearly L3 Global 500m SIN Grid. **NASA EOSDIS Land Processes DAAC**, 2015. <http://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q2.006>

FORKUO, E. K.; FRIMPONG, A. Analysis of forest cover change detection. **International Journal of Remote Sensing Applications**, v. 2, n. 4, 2012.

GEOFABRIK. Downloads. OpenStreetMap data. 2023. Disponível em: <http://download.geofabrik.de/south-america/brazil/norte-latest-free.shp.zip>. Acesso em: 02/11/2022.

GIGLIOTTI, E. S.; PINHO, P. Dos rios para as estradas: uma análise da mudança de uso e cobertura da terra num contexto amazônico rural. **Revista Espaço e Geografia**, v. 18, n. 1, p. 3-24, 2015.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, 2017.

GUILHERME, A. P.; MOTA, A. B. D. S.; MOTA, D. D. S.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Uso de índice de vegetação para caracterizar a mudança no uso do solo em Coari-AM. **Sociedade & Natureza**, v. 28, p. 301-310, 2016.

HAŠČIC, I.; MACKIE, A. Land Cover Change and Conversions: Methodology and Results for OECD and G20 Countries. **OECD Green Growth Papers**, n. 2018/04, OECD Publishing, Paris, 2018. <https://doi.org/10.1787/72a9e331-en>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas Urbanizadas do Brasil. Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente. Rio de Janeiro: IBGE, 2019a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/panorama>. Acesso em: 06/02/2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil - 1:250 000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019b.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am.html>. Acesso em: 06/02/2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Localidades. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/27385-localidades.html?=&t=downloads>. Acesso em: 06/02/2023.

IMBACH, P.; MANROW, M.; BARONA, E.; BARRETTO, A.; HYMAN, G.; CIAIS, P. Spatial and temporal contrasts in the distribution of crops and pastures across Amazonia: A new agricultural land use data set from census data since 1950. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, n. 6, p. 898-916, 2015.

JAKOVAC, C. C.; DUTRIEUX, L. P.; SITI, L.; PEÑA-CLAROS, M.; BONGERS, F. Spatial and temporal dynamics of shifting cultivation in the middle-Amazonas river: Expansion and intensification. **PloS one**, v. 12, n. 7, p. e0181092, 2017.



MAPBIOMAS, Projeto. Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil. Disponível em: [https://storage.googleapis.com/MapBiomass-public/brasil/collection-7/lcu/coverage/brasil\\_coverage\\_1985.tif](https://storage.googleapis.com/MapBiomass-public/brasil/collection-7/lcu/coverage/brasil_coverage_1985.tif). [para os demais anos basta trocar o ano ao final do link, estando disponível de 1985 a 2021]. Acesso em: 02/11/2022.

MIALHE, F.; GUNNELL, Y.; IGNACIO, J. A.; DELBART, N.; OGANIA, J.; HENRY, SABINE. Monitoring land-use change by combining participatory land-use maps with standard remote sensing techniques: Showcase from a remote forest catchment on Mindanao, Philippines. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 36, 2015.

PNUD. Relatório de Desenvolvimento Humano. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2010.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, 2022. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 06/02/2023.

SANTOS, M. V.; DE MENEZES, J. A.; DA SILVA, D. A. P.; DUARTE, M. L.; FLORESTA, A. C. Uso e ocupação do solo e qualidade da água do rio Crato no município de Humaitá-AM, Brasil. **Revista Valore**, v. 5, p. 5040, 2020.

ZHANG, X., M. FRIEDL, G. HENEBRY. VIIRS/NPP Land Surface Phenology (Land Cover Dynamics) Yearly L3 Global 500 m SIN Grid. **NASA EOSDIS Land Processes DAAC**, 2020. <https://doi.org/10.5067/VIIRS/VNP22Q2.001>. Acessado em 2023-03-09.

ZHIYONG, L.V.; T.; BENEDIKTSSON, J. A.; FALCO, N. Land cover change detection techniques: Very-high-resolution optical images: A review. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine**, v. 10, n. 1, p. 44-63, 2021.

*Recebido em 08 de agosto de 2023.  
Aceito 16 de novembro de 2023.  
Publicado em 22 de janeiro de 2024.*