

# DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA E A EXPANSÃO DA ATIVIDADE PECUÁRIA NO ACRE (2020– 2024)

LAND USE AND LAND COVER DYNAMICS AND THE EXPANSION OF  
CATTLE RANCHING IN ACRE, BRAZIL (2020–2024)

Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias, Engenharias • 19/05/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/779075024](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/779075024)

Fernando Antonio Bonilio<sup>1</sup>

Jéssica Alves de Menezes<sup>2</sup>

Alexandro Schäfer<sup>3</sup>

Raul Araújo da Nóbrega<sup>4</sup>

## RESUMO

Este estudo investigou a dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Acre entre 2020 e 2024, com foco na expansão da atividade pecuária e sua relação com o desmatamento e variáveis espaciais externas. Foram utilizados dados do Projeto MapBiomas (Coleção 10), do PRODES/INPE, do IDAF e de bases cartográficas oficiais, processados no QGIS e analisados no ambiente R. Os procedimentos metodológicos incluíram a quantificação de áreas por classe de uso e cobertura, a construção de matrizes de transição, a análise de correlação de Pearson entre variáveis espaciais e a avaliação da proximidade entre registros de produção bovina e infraestrutura viária e hidrográfica. Os resultados indicam que a área de pastagem expandiu aproximadamente 3.576 km<sup>2</sup> no período, enquanto o desmatamento acumulado cresceu 1.513 km<sup>2</sup>. A principal transição identificada foi a conversão de formação florestal em pastagem, totalizando cerca de 1.157 km<sup>2</sup>, confirmando a pecuária como principal vetor de supressão vegetal no estado. A correlação entre pastagem e desmatamento foi praticamente unitária ( $r = 0,999$ ), e a distribuição do rebanho apresentou forte associação espacial com a malha rodoviária e com áreas de menor altitude. Na porção ocidental do estado, as hidrovias desempenham papel complementar na acessibilidade das propriedades pecuárias. Conclui-se que a pecuária bovina consolida-se como o principal agente de transformação territorial no Acre, condicionada pela infraestrutura de transporte e pelas características fisiográficas da região.

**Palavras-chave:** Amazônia ocidental; desmatamento; matriz de transição; correlação espacial; pecuária.

## ABSTRACT

This study investigated land use and land cover dynamics in the

state of Acre, Brazil, between 2020 and 2024, focusing on cattle ranching expansion and its relationship with deforestation and external spatial variables. Data from MapBiomas (Collection 10), PRODES/INPE, IDAF, and official cartographic databases were processed in QGIS and analyzed using the R environment. Methodological procedures included area quantification by land use class, transition matrix construction, Pearson correlation analysis among spatial variables, and assessment of the proximity between cattle production records and road and waterway infrastructure. Results indicate that pasture area expanded approximately 3,576 km<sup>2</sup> during the period, while accumulated deforestation increased by 1,513 km<sup>2</sup>. The main transition identified was the conversion of forest to pasture, totaling approximately 1,157 km<sup>2</sup>, confirming cattle ranching as the primary driver of vegetation loss in the state. The correlation between pasture and deforestation was nearly perfect ( $r = 0.999$ ), and herd distribution showed strong spatial association with the road network and lower-altitude areas. In the western portion of the state, waterways play a complementary role in providing access to cattle properties. It is concluded that cattle ranching is consolidating as the main agent of territorial transformation in Acre, conditioned by transport infrastructure and the physiographic characteristics of the region.

**Keywords:** western Amazon; deforestation; transition matrix; spatial correlation; livestock.

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia Ocidental consolidou-se nas últimas décadas como uma das principais frentes de expansão da pecuária bovina no Brasil, promovendo intensas transformações na paisagem e convertendo extensas áreas de floresta nativa em pastagens e áreas agrícolas

(Barreto; Pereira; Rocha, 2023). Historicamente, esse processo esteve associado a políticas de ocupação territorial, abertura de rodovias, incentivos fiscais e estratégias de colonização que favoreceram a incorporação de novas áreas produtivas e estimularam a substituição da cobertura florestal por atividades agropecuárias (Carvalho et al., 2021; Chiacchio; Souza, 2024).

Nesse contexto, a pecuária extensiva tornou-se o principal vetor de transformação territorial na Amazônia Legal, sendo responsável por grande parte das áreas desmatadas. Almeida et al. (2016), ao analisarem o uso da terra nas áreas já desmatadas até 2008, identificaram que aproximadamente 62% dessas superfícies eram ocupadas por classes de pastagem, evidenciando o protagonismo dessa atividade na reorganização espacial da região. Esse processo foi acompanhado pelo expressivo crescimento do rebanho bovino amazônico, que passou de cerca de 37 milhões de cabeças em 1995 para aproximadamente 85 milhões em 2016, representando cerca de 40% do efetivo bovino nacional (Freitas Junior; Barros, 2021).

Além da supressão da cobertura florestal, a expansão pecuária também está associada à degradação dos recursos hídricos, à remoção de matas ciliares e ao uso intensivo do solo, ampliando impactos ambientais e conflitos socioespaciais (Kohler et al., 2021). A disseminação territorial dessa atividade não ocorre de forma aleatória, sendo fortemente condicionada por fatores externos, como infraestrutura viária, acessibilidade, relevo e disponibilidade hídrica, que favorecem a formação de clusters espaciais de produção e produtividade pecuária (Freitas Junior; Barros, 2021).

No estado do Acre, essa dinâmica manifesta-se de forma particularmente expressiva. Tradicionalmente vinculado ao

extrativismo vegetal, especialmente da borracha e da castanha, o estado passou por uma reestruturação econômica orientada pelo avanço da pecuária bovina e pela ampliação das áreas de pastagem (Lopes et al., 2019; Silva, 2022; Silva et al., 2024). Fernandes et al. (2024) destacam que, em 2022, o Acre registrou um rebanho de 4.568.389 cabeças distribuídas em 24.551 propriedades, acompanhado por crescimento anual tanto do número de animais quanto do número de estabelecimentos pecuários. Paralelamente, a área destinada à pastagem alcançou 2.376.799 hectares, consolidando a pecuária como uma das principais atividades econômicas do estado.

Entretanto, esse processo também produz significativos impactos sociais e ambientais. Silva (2022) demonstra que a expansão do agronegócio pecuário no Baixo Acre intensifica conflitos territoriais, incluindo a expulsão de populações tradicionais, como camponeses, indígenas e seringueiros, além da rápida reconfiguração das formas de uso do território. Lopes et al. (2019) observam que mesmo em reservas extrativistas ocorre a substituição de práticas tradicionais pela criação de gado, comprometendo a função conservacionista dessas áreas protegidas. De forma semelhante, Andrade et al. (2022), ao analisarem a bacia do Igarapé São Francisco, em Rio Branco, identificaram perda de 6,3% da cobertura florestal entre 2001 e 2021, associada tanto à urbanização quanto às atividades agropecuárias.

Embora existam estudos sobre pecuária, desmatamento e mudanças no uso e cobertura da terra no Acre, muitos deles abordam esses processos de forma isolada, sem integrar a dinâmica de conversão florestal, a expansão da pastagem e a influência de variáveis espaciais externas em uma mesma análise (Almeida et al., 2016; Freitas Junior; Barros, 2021; Silveira et al., 2022). A compreensão

integrada dessas relações é fundamental para o monitoramento territorial e para a formulação de políticas públicas voltadas ao controle do desmatamento e ao planejamento do uso sustentável da terra.

Estudos multitemporais têm demonstrado a relevância da utilização conjunta de métricas de mudança por classe e matrizes de transição para identificar padrões de conversão do uso do solo e tendências de avanço da fronteira agropecuária. Paula, Escada e Ortiz (2022), ao analisarem a bacia do rio Curuá-Una, evidenciaram a eficácia dessa abordagem na identificação de trajetórias de transformação territorial. De forma semelhante, Sousa et al. (2017) demonstraram a conversão sistemática de áreas florestais em pastagem e agricultura em municípios paraenses, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo dessas dinâmicas.

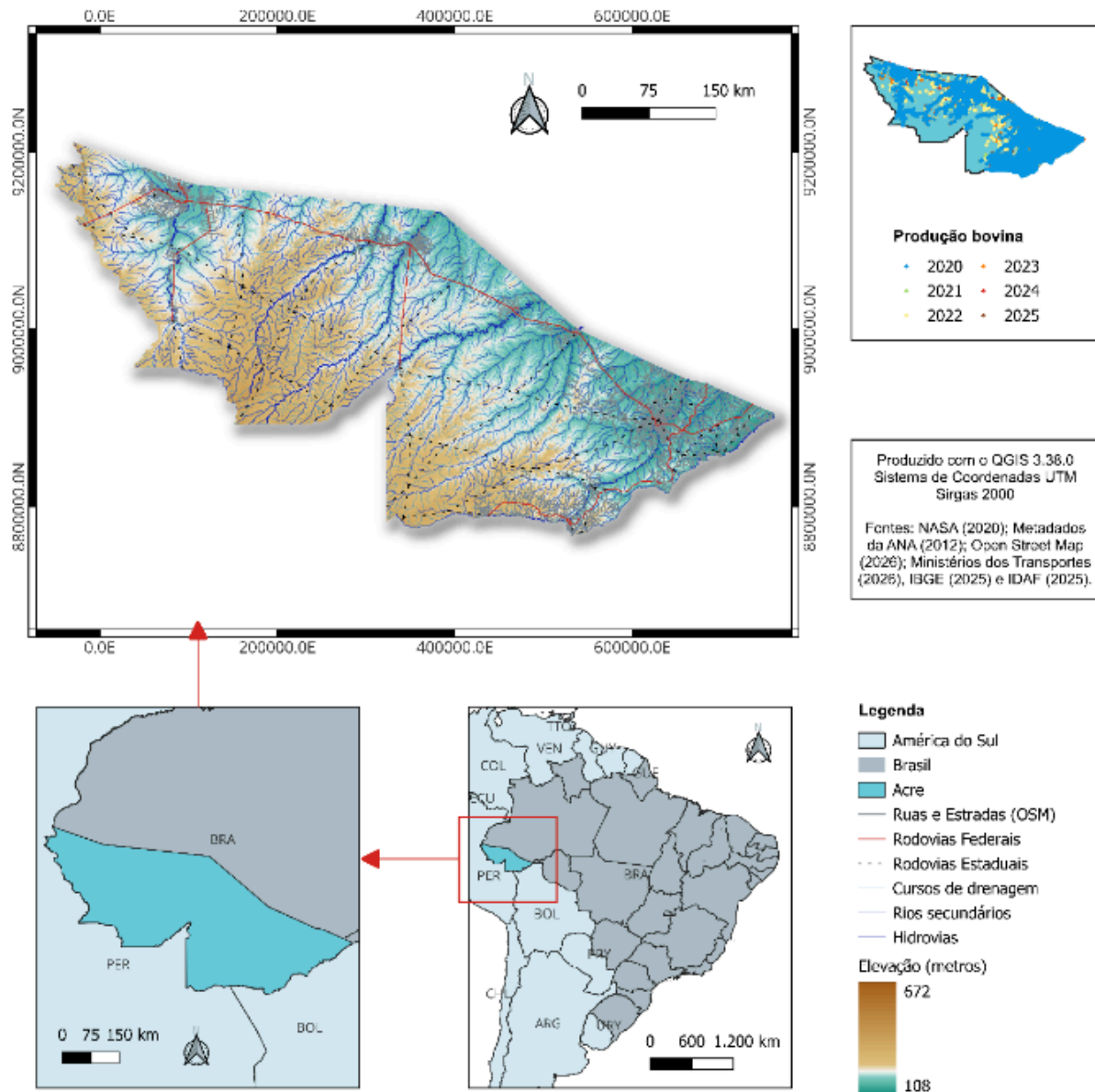
Nesse contexto, o presente estudo investiga as mudanças no uso e cobertura da terra no estado do Acre no período de 2020 a 2024, com foco na conversão de áreas florestais em pastagem e na expansão da atividade pecuária. Para isso, foram utilizadas métricas de mudança por classe, matrizes de transição e análises espaciais de proximidade e sobreposição entre desmatamento, malha viária, hidrovias e elevação topográfica, buscando atualizar o entendimento sobre os fatores que condicionam a transformação territorial no estado.

## **2. METODOLOGIA**

Esta pesquisa insere-se no contexto da dinâmica territorial da Amazônia Ocidental e aponta a pecuária extensiva como um dos principais vetores de alteração da paisagem. O recorte temporal

compreende o período de 2020 a 2024, estruturado em séries anuais para identificar tendências, variações e padrões espaciais de mudança. O recorte espacial corresponde ao estado do Acre (Figura 1).

**Figura 1:** Mapa de localização do Estado do Acre e distribuição dos efetivos de produção bovina.



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A área de estudo apresenta uma extensão de 164.064,76 km<sup>2</sup>, população de 830.018 habitantes, com renda mensal domiciliar per capita de R\$1.392 e IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de

0,71 (Ibge, 2022). Em relação ao clima, caracteriza-se como equatorial, quente e úmido; com altas temperaturas; alta pluviosidade; umidade no ar elevada; temperatura média ao longo ano de aproximadamente 24,5 °C e a máxima de 32 °C, sendo uniforme em todo o estado (Acre, 2010).

Para este estudo, foram empregadas bases públicas e padronizadas, oriundas de dados tabelados, imagens (rasters) e vetores (pontos e polígonos), conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Dados utilizados e suas fontes.

<b>Base</b>	<b>Fonte</b>	<b>Período</b>	<b>Resolução / Formato</b>
Rebanho Bovino	Idaf (2025)	2020-2024	Tabela
Coleção 10 do Projeto MapBiomias	Mapbiomas (2025)	2020-2024	30m
Polígonos anuais de desmatamento (PRODES)	Inpe (2025)	2020-2024	30m
Limites políticos	Ibge (2025); Ana (2010)	2025	Vetor
Hidrografia	Ana (2012)		Vetor
Ruas, Estradas e Rodovias	Ana (2016); Brasil (s.d); OSM (2026)	2026	Vetor

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Todo o geoprocessamento foi executado por meio do software QGIS versão 3.44 (Qgis.org, 2026). No ambiente do QGIS, os dados

tabulados de rebanho bovino foram convertidos em arquivo vetoriais de pontos e foram espacializados por meio da estimativa da densidade dos pontos na área, que consiste em uma técnica estatística não-paramétrica conhecida como Kernel Density Estimation (KDE), ou mapa de calor (heatmaps).

Os vetores de linha (vias terrestres e hidrografia) foram espacializados por meio da Ferramenta Point to Line Distance no componente SAGA do QGIS, em que os pontos foram representados por um Grid de pontos gerados no mesmo programa, espaçados regularmente em 10 km; em que, os resultados espacializados via interpolação IDW (Inverse Distance Weighted ou Ponderação do Inverso da Distância).

Esse espaçamento entre pontos do Grid foi adotado como compromisso entre resolução analítica e custo computacional: intervalos menores aumentariam desnecessariamente o volume de processamento sem alterar substancialmente os padrões espaciais identificados na escala estadual, enquanto intervalos maiores poderiam suprimir variações localmente relevantes. Enquanto o IDW foi selecionado por ser um método amplamente utilizado na literatura científica em casos de interpolação, além de sua adaptabilidade à distribuição estatística dos dados e fácil interpretação do resultado. Além disso, a inclusão das distâncias até rodovias e hidrovias como variáveis analíticas fundamenta-se na premissa consolidada na literatura de que a infraestrutura de acesso constitui um dos principais condicionantes da expansão agropecuária na Amazônia.

A etapa de preparação dos dados visou assegurar compatibilidade espacial entre as camadas, em que, todas foram reprojatadas para o

Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000, projeção UTM (EPSG: 31979/Zona 19 Sul), garantindo alinhamento espacial e precisão no cálculo de áreas, mantendo todas com a resolução espacial de 29,5 metros. Em seguida, procedeu-se ao recorte (clip) de todas as camadas ao limite do Estado do Acre. Os dados foram organizados em séries anuais (2020, 2021, 2022, 2023 e 2024).

As análises dos dados foram realizadas com o uso da linguagem de programação R no ambiente RStudio (Posit Team, 2026), principalmente com os pacotes sf e terra, utilizados para cálculo de correlação entre variáveis e construção de matrizes de transição. Primeiramente foi realizada a quantificação das áreas por classe e métricas de mudança. Para cada ano do período de estudo, foram calculadas as áreas (em km<sup>2</sup>) das classes de uso e cobertura da terra e, a partir dessas séries, foi calculada a variação percentual interanual. Os resultados foram sintetizados em tabelas e gráficos de séries temporais, permitindo observar tendências e oscilações ao longo do intervalo analisado.

Para identificar a direção e a magnitude das mudanças, foram construídas matrizes de transição entre classes para pares de anos consecutivos. Contudo, para fins de síntese, foi apresentada uma matriz consolidada para o período completo (2020 a 2024), destacando as transições dominantes.

Por fim, a relação espacial entre os polígonos de desmatamento e as áreas de expansão recente de pastagem foi avaliada inicialmente pela sobreposição direta, realizando-se a interseção geométrica entre os polígonos de desmatamento do ano  $t$  e as áreas identificadas como expansão de pastagem nos anos  $t$  e  $t+1$ . A partir dessa operação, foram calculados o percentual da área desmatada

convertida em pastagem no mesmo ano de detecção do desmatamento e o percentual convertido com defasagem de até um ano.

Para complementar a análise espacial foram calculados os índices de correlação de Pearson (correlograma) entre os mapas de calor de produção bovina, áreas de pastagem, distância até as hidrovias, distância até as ruas e rodovias federais e estaduais, áreas de desmatamento e altitude. No correlograma, a escala de cores varia de -1 (correlação negativa perfeita, em vermelho) a +1 (correlação positiva perfeita, em azul escuro). Os valores numéricos de correlação são apresentados em cada célula da matriz.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

A Tabela 2 sintetiza a evolução temporal de três variáveis-chave para a compreensão da dinâmica de ocupação territorial no Acre, neste estudo, que são o rebanho bovino, a área de pastagem e o desmatamento acumulado.

**Tabela 2:** Evolução da produção bovina (nº de cabeças), área de pastagem (km<sup>2</sup>) e área de desmatamento acumulado (km<sup>2</sup>) no estado do Acre, 2020 a 2025.

Ano	Produção Bovina		Área de Pastagem		De
	x1.000 cabeças	Δ %	km <sup>2</sup>	Δ %	
2020	3.982	-	20.591	-	26.47
2021	4.212	5,8	21.662	5,2	26.73

2022

4.568

8,5

22.938

5,9

27.38

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/dinamica-do-uso-e-cobertura-da-terra-e-a-expansao-da-atividade-pecuaria-no-acre-2020-2024?noblockage>

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A análise conjunta dessas variáveis permite avaliar o grau de associação entre a expansão pecuária e a conversão da cobertura florestal no período de 2020 a 2024. Os dados revelam uma tendência consistente de crescimento tanto da área de pastagem quanto do desmatamento acumulado ao longo do período, embora em ritmos decrescentes. A área de pastagem expandiu 3.576 km<sup>2</sup> de 2020 a 2024, o equivalente a um crescimento total cerca de 17% em quatro anos. O desmatamento acumulado, por sua vez, obteve incremento de 1.513 km<sup>2</sup> (5,7%).

A comparação entre essas duas variáveis sugere que o aumento percentual da pastagem superou o aumento percentual de novos desmatamentos no período, o que pode indicar a conversão de outras classes de uso, como áreas de vegetação secundária ou formações campestres para fins pecuários, além das áreas de supressão primária. Essa dinâmica é coerente com o que Almeida et al. (2016) observaram para a Amazônia Legal, podendo indicar um modelo de expansão em que a floresta desmatada em anos anteriores funciona como reserva de área para a consolidação pecuária subsequente, sem que isso apareça nos registros anuais de supressão primária.

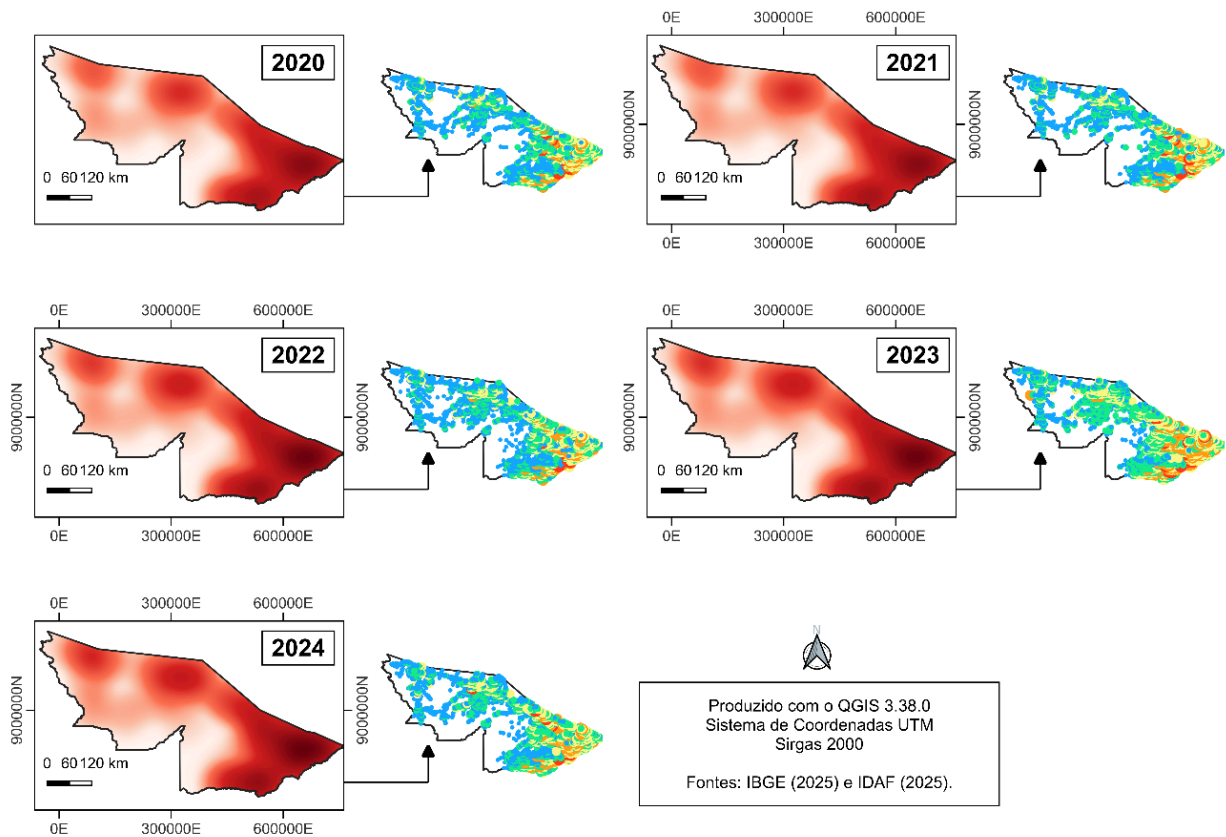
O comportamento do rebanho bovino apresenta uma dinâmica particular. Entre 2020 e 2022, o efetivo cresceu de forma gradual, com variações anuais de 5,8% e 8,5%, respectivamente. Diferentemente, em 2023, registrou-se um salto atípico de 112,4%, elevando o rebanho em mais de 5 milhões de cabeças. Investigando-se as motivações para tal aumento, obtém-se que esse mesmo período houve recorde na produção de carne bovina no Brasil, em decorrência de um “excedente” do mercado interno, gerado em função da retenção de fêmeas em 2022, que provocou aumento nos rebanhos (ASBIA, 2023; O Presente Rural, 2023). Em 2024, o efetivo recuou retornou a um patamar mais compatível com a tendência de crescimento moderado observada nos anos anteriores.

Esse comportamento reflete a sensibilidade do rebanho acreano às dinâmicas macroeconômicas nacionais. Freitas Junior e Barros (2021) demonstraram que microrregiões da Amazônia Legal apresentaram taxas de crescimento do rebanho entre 5,6% e 15,68% superiores às demais regiões do país, evidenciando que a Amazônia funciona como válvula de expansão do setor em momentos de alta demanda. O ciclo de retenção de fêmeas de 2022 é um comportamento comum de resposta à valorização do mercado e tende a pressionar o uso do solo, uma vez que maiores efetivos demandam maior área de pastagem.

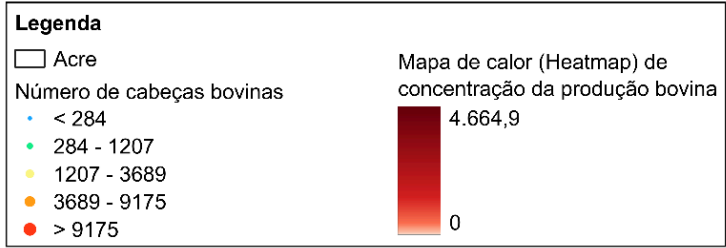
Ressalte-se que, embora o ano de 2025 esteja fora do recorte temporal deste estudo, por não contemplar, até o momento, dados de variáveis como áreas de pastagem e desmatamento, o IDAF disponibilizou dados da pecuária no Acre para o mesmo ano, sendo identificadas 5.356.000 cabeças bovinas, o que corresponde a um aumento de 7,5% em relação ao ano de 2024.

A Figura 2 apresenta a evolução espaço-temporal da concentração do rebanho bovino no Acre entre 2020 e 2025, por meio de dois produtos cartográficos complementares para cada ano. À esquerda, mapas de calor que representam a densidade de produção bovina por meio de gradiente cromático contínuo, em que tons mais intensos de vermelho indicam maior concentração de cabeças. Enquanto, à direita, mapas de pontos graduados que localizam os efetivos bovinos classificados em cinco faixas, variando de propriedades com até 380 cabeças até aquelas com mais de 11.437 cabeças.

**Figura 2:** Distribuição espacial e concentração da produção bovina no Estado do Acre, 2020–2024: mapas de calor (heatmap) de densidade do rebanho (à esquerda) e localização dos efetivos por classe de tamanho do rebanho (à direita).



Produzido com o QGIS 3.38.0  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Sirgas 2000  
 Fontes: IBGE (2025) e IDAF (2025).



**Fonte:** Elaborado pelos autores com base em dados do IBGE (2025) e IDAF (2025).

Produzido no QGIS 3.38.0, Sistema de Coordenadas UTM/SIRGAS 2000.

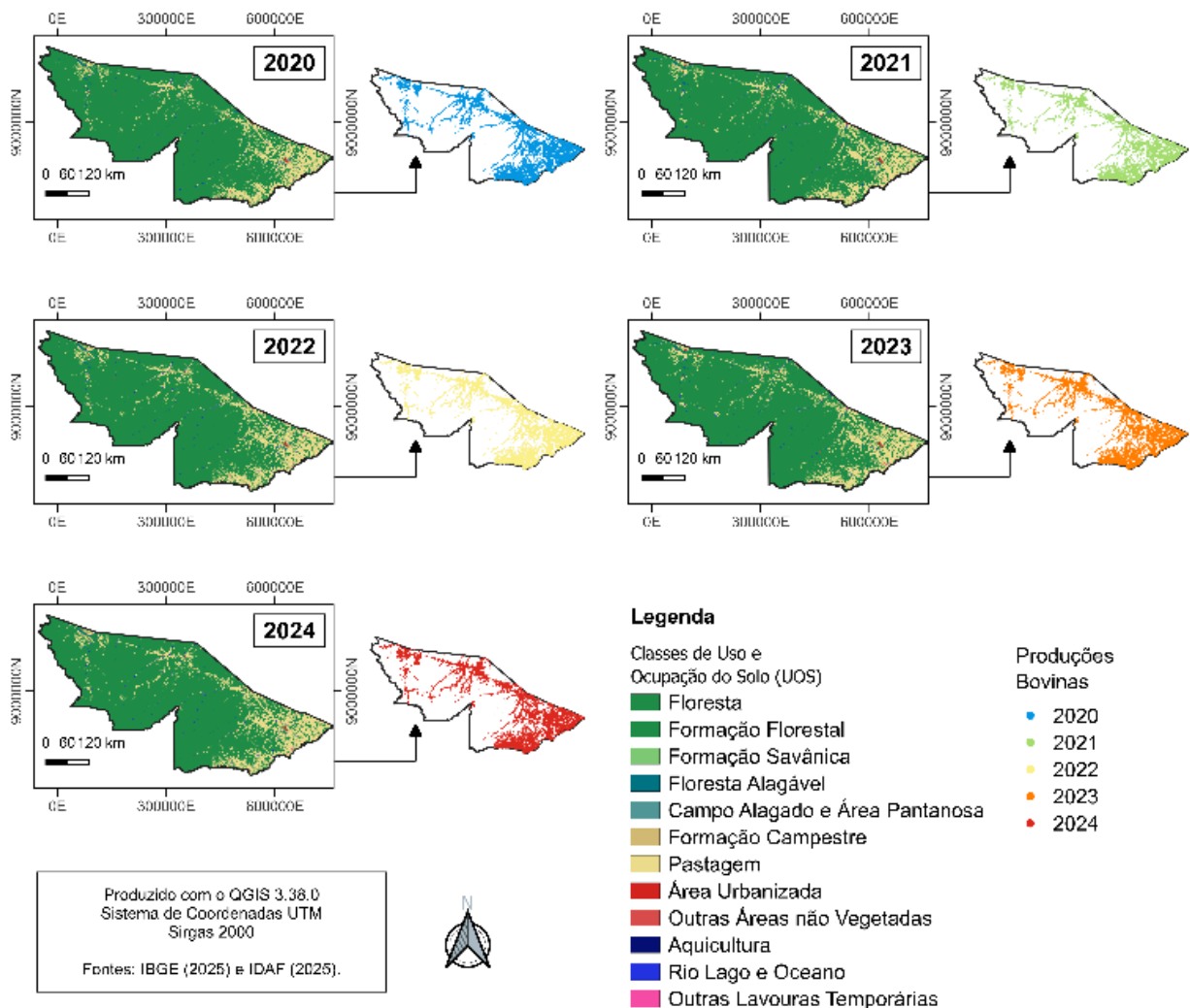
Observa-se a concentração predominante do rebanho na porção leste-sudeste do estado, correspondente à mesorregião do Vale do Acre, sobretudo no Baixo e Alto Acre, onde se situam os municípios com maior tradição pecuária e melhor acesso à infraestrutura viária. Essa concentração intensifica-se entre 2020 e 2024.

A porção ocidental, correspondente à mesorregião do Vale do Juruá, mantém-se com menores densidades ao longo de todo o período, embora sinais de expansão possam ser observados. Esse padrão reforça a leitura de que a atividade pecuária no Acre segue um eixo preferencial de consolidação nas áreas de ocupação mais antiga, ao

mesmo tempo em que exerce pressão incremental sobre áreas de fronteira ainda predominantemente florestadas.

A Figura 3 apresenta a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra no estado do Acre entre 2020 e 2024, associada à distribuição espacial das produções bovinas registradas no mesmo período. Sistema de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000. Os mapas à esquerda representam as classes de uso e ocupação do solo (UOS) para cada ano, enquanto os mapas à direita ilustram a localização dos registros de produção bovina correspondentes. A classe Formação Savânica, embora presente na legenda, apresenta ocorrência residual na área de estudo.

**Figura 3:** Uso e cobertura da terra e distribuição espacial das produções bovinas no estado do Acre, 2020 a 2024.



**Fonte:** Elaborado pelos autores com base em dados do MapBiomas (Coleção 10) e do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Acre, IDAF (2025).

Observa-se a predominância das classes Floresta e Pastagem concentradas sobretudo na porção leste do estado, ao longo do eixo da BR-364. A distribuição dos pontos de produção bovina acompanha esse padrão, evidenciando uma sobreposição entre as áreas de pastagem consolidada e a concentração do rebanho, com expansão progressiva em direção às fronteiras florestais ao longo do período analisado.

Para compreender a magnitude e a direcionalidade das mudanças na paisagem acreana ao longo do período analisado, foi elaborada uma matriz de transição consolidada entre os anos de 2020 e 2024 (Tabela 3). Essa matriz permite identificar, de forma quantitativa, as

principais conversões entre classes de uso e cobertura da terra, bem como as áreas que permaneceram estáveis ao longo dos cinco anos.

**Tabela 3:** Matriz de transição de uso e cobertura da terra (km<sup>2</sup>) de 2020 para 2024.

Classes de origem / Classes de destino	Floresta	Formação Florestal	Formação Savânica	Floresta Alagável	Camp. Alagad. Área Pantan.
Floresta	114,42	0,25	0,00	0,10	0,04
Formação Florestal	1,14	140.522,11	0,00	3,21	1,20
Formação Savânica	0,00	0,00	5,29	0,00	0,02

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/dinamica-do-uso-e-cobertura-da-terra-e-a-expansao-da-atividade-pecuaria-no-acre-2020-2024?noblockage>

Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados MapBiomas (Coleção 10). Contagem em número de pixels. Células em verde = permanência na mesma classe.

A análise das transições constitui uma etapa fundamental para a compreensão dos processos de ocupação territorial na Amazônia, uma vez que evidencia não apenas o saldo líquido de perda ou ganho de cada classe, mas também os fluxos bidirecionais entre elas, revelando dinâmicas de conversão, abandono e regeneração que seriam invisíveis em uma análise restrita à comparação de áreas totais.

A diagonal principal da matriz revela que a maior parte do território acreano manteve sua cobertura original entre 2020 e 2024. A classe Formação Florestal apresentou a maior área de permanência, com cerca de 140.522 km<sup>2</sup>, seguida por Pastagem (20.474 km<sup>2</sup>), Floresta Alagável (704 km<sup>2</sup>) e Rio, Lago e Oceano (525 km<sup>2</sup>). Esses valores indicam uma relativa estabilidade da matriz florestal no período, embora os fluxos fora da diagonal revelem pressões significativas sobre a cobertura vegetal nativa.

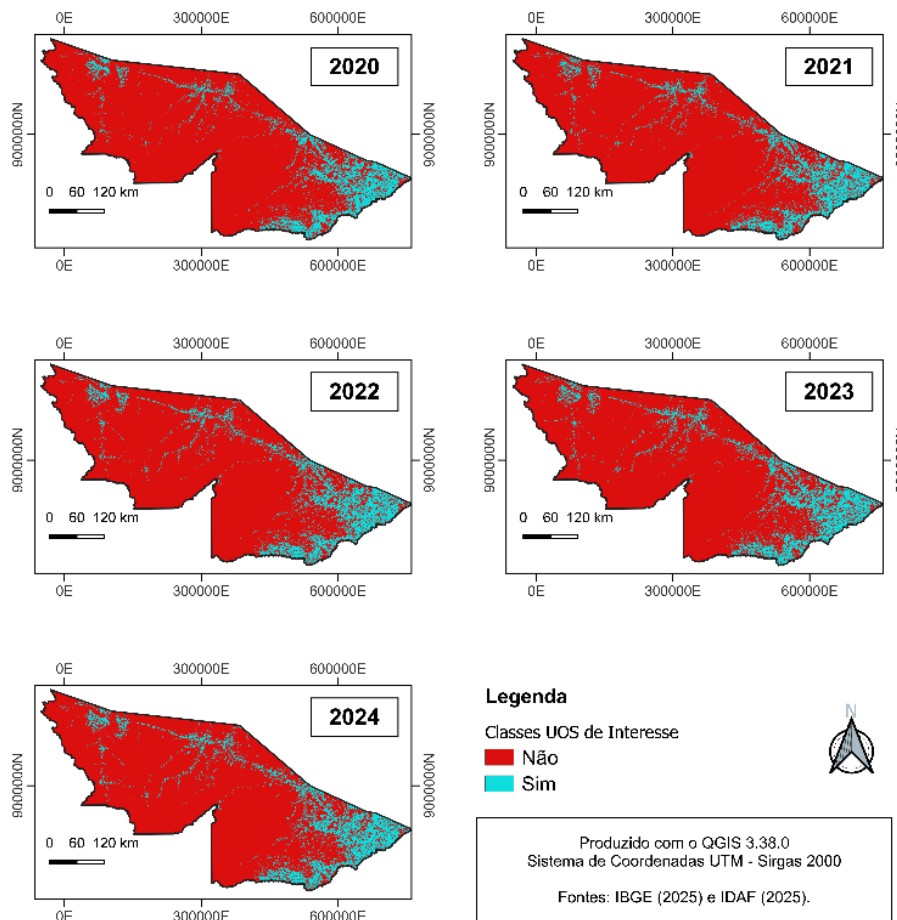
A transição mais expressiva registrada foi a conversão de Formação Florestal para Pastagem, que totalizou aproximados 1.157 km<sup>2</sup> no período consolidado, correspondendo à principal trajetória de desmatamento no estado. Esse valor reforça o papel da pecuária como vetor predominante de supressão vegetal na região, padrão amplamente documentado na literatura sobre a Amazônia (Dias; Lima, 2021). Em sentido inverso, a transição de Pastagem para Formação Florestal atingiu 82,88 km<sup>2</sup>, o que pode indicar processos de regeneração secundária em áreas de pastagem abandonadas, embora em magnitude significativamente inferior à conversão floresta–pastagem. O saldo líquido dessa dinâmica resulta em uma perda florestal líquida de aproximadamente 1.073,93 km<sup>2</sup> em favor da pastagem.

Outras conversões relevantes incluem a transição de Formação Florestal para Rio, Lago e Oceano (13,45 km<sup>2</sup>), possivelmente associada a alterações na dinâmica fluvial ou a imprecisões na classificação em áreas de várzea, e a conversão de Pastagem para Outras Áreas não Vegetadas (10,49 km<sup>2</sup>), que pode refletir processos de degradação do solo em áreas de uso intensivo. A classe Outras Lavouras Temporárias apresentou estabilidade elevada (29,71 km<sup>2</sup>), porém recebeu contribuição expressiva de Pastagem (1,12 km<sup>2</sup>),

sugerindo uma conversão pontual de áreas pecuárias para uso agrícola.

A Figura 4 apresenta a evolução espacial do desmatamento acumulado no estado do Acre entre 2020 e 2024, com base nos dados do Projeto PRODES. As áreas classificadas como "Sim" (em ciano) correspondem às superfícies já desmatadas, enquanto as áreas em vermelho representam regiões sem registro de desmatamento. A classe "Sim" (ciano) representa as áreas com registro de desmatamento acumulado até o ano indicado; a classe "Não" (vermelho) corresponde às áreas sem detecção de desmatamento no período.

**Figura 4:** Distribuição espacial do desmatamento acumulado (PRODES) no estado do Acre, 2020 a 2024.

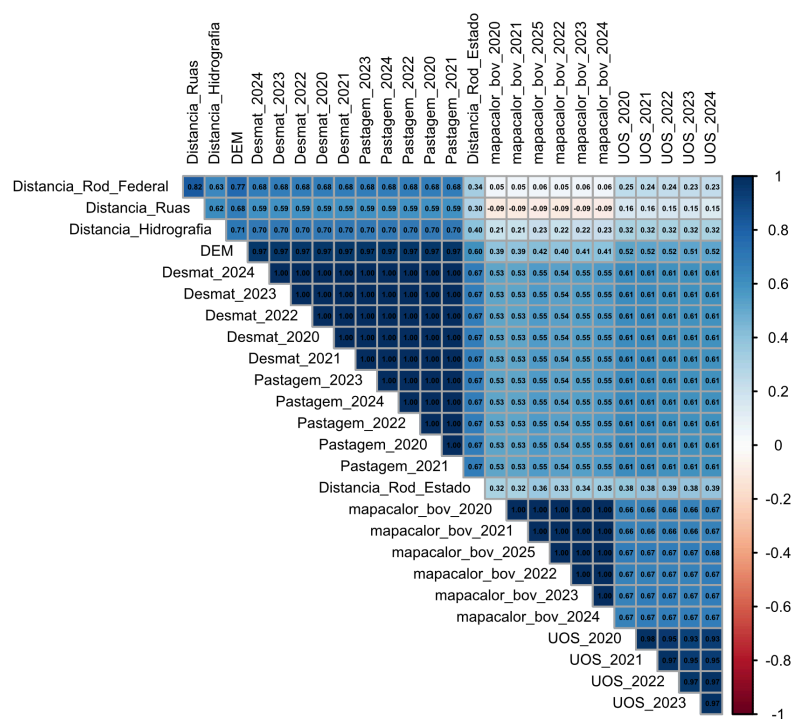


Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite, PRODES/INPE e do IBGE (2025).

As mudanças sutis, na prática, significam mais de 1,5 mil quilômetros quadrados, que se torna preocupante ao analisar a expansão crescente de áreas desmatadas. Por meio da comparação ao longo dos anos, nota-se uma intensificação do desmatamento nas porções central e sudeste, sugerindo a abertura de novas frentes de conversão florestal.

A Figura 5 apresenta a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis espaciais e ambientais empregadas no estudo, permitindo identificar o grau de associação linear entre elas.

**Figura 5:** Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis espaciais e temporais utilizadas na análise.



Fonte: Elaborado pelos autores.

As variáveis incluem: distância até rodovias federais, ruas/estradas, hidrografia e rodovias estaduais; modelo digital de elevação (DEM); área desmatada (Desmat, 2020-2024); área de pastagem (Pastagem, 2020-2024); densidade bovina por mapa de calor (mapacalor\_bov, 2020-2024); e uso e ocupação do solo (UOS, 2020-2024).

O resultado mais expressivo da matriz é a correlação praticamente unitária entre as variáveis de pastagem e de desmatamento em todos os anos analisados ( $r = 0,999$ ), sugerindo forte associação espacial entre essas variáveis.

A correlação entre DEM e Pastagem ( $r = 0,966$ ) e entre DEM e Desmatamento ( $r = 0,966$ ) também é bastante alta. Esse resultado indica que a distribuição altimétrica relaciona-se fortemente a localização das áreas convertidas. No contexto do Acre, as áreas de menor altitude, correspondentes às planícies aluviais e terraços ao

longo do eixo leste do estado, concentram tanto a pastagem quanto o desmatamento, enquanto as porções mais elevadas, a oeste, permanecem predominantemente florestadas. Vale e Bordalo (2020), que analisaram a bacia do rio Apeú e demonstraram como características morfométricas condicionam os padrões de uso, com atividades agropecuárias concentradas em áreas de menor elevação e relevos planos, comprometendo áreas de preservação permanente. A partir disso, pode-se concluir que o avanço da pecuária sobre as planícies acreanas não representa apenas perda de cobertura florestal, mas também degradação de ecossistemas ripários de alta sensibilidade hidrológica.

As distâncias à infraestrutura viária e hídrica apresentam correlação positiva moderada a forte com pastagem e desmatamento. A correlação com a distância à hidrografia ( $r \approx 0,7$ ) indica que pastagem e desmatamento tendem a ocorrer em áreas relativamente próximas dos cursos d'água principais. Em muitos casos, ocorrem próximos a rodovias estaduais ( $r \approx 0,7$ ) ou federais ( $r \approx 0,7$ ); bem como, de ruas ou estradas locais ( $r \approx 0,6$ ). Reforçando que a acessibilidade viária é um fator condicionante da expansão pecuária.

Os mapas de calor bovino apresentam correlação moderada com pastagem ( $r \approx 0,5$ ) e desmatamento ( $r \approx 0,5$ ). Contudo, a análise linear da correlação da densidade bovina com a distância a rodovias federais é bastante fraca ( $r \approx 0,05$ ) e levemente negativa com a distância a ruas ( $r \approx -0,09$ ). E ocorre preferencialmente próximo aos desmatamentos e ou pastagens.

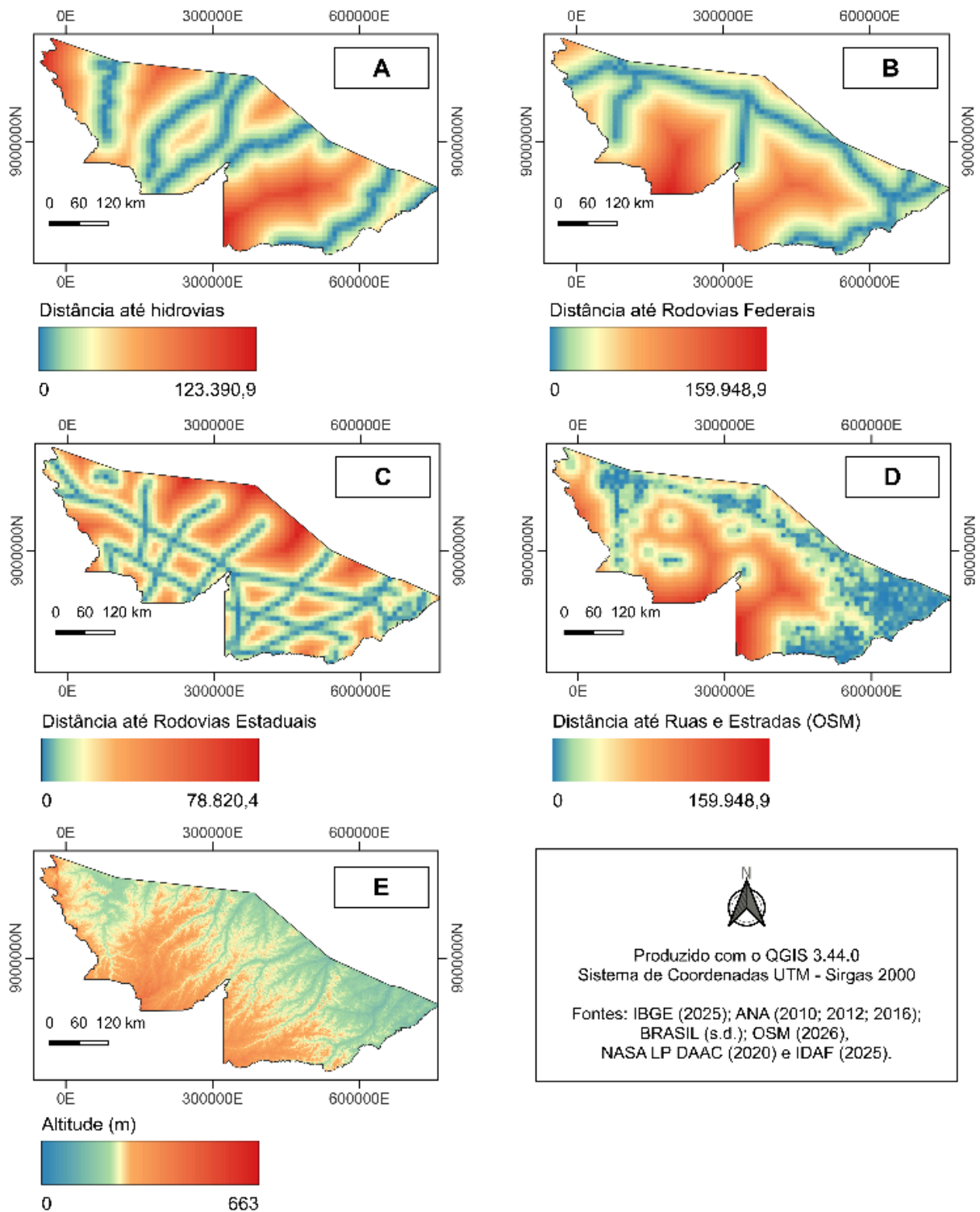
Todavia, essa correlação é definida de forma mais clara quando analisadas visualmente, por meio da visualização das camadas analisadas, sendo elas a distancias até a malha viária e altitude, a

serem confrontadas com a distribuição da a produção bovina apresentada anteriormente.

Sendo assim, a Figura 6 apresenta as variáveis espaciais utilizadas na análise de acessibilidade e caracterização fisiográfica do estado do Acre. Os mapas A a D representam superfícies de distância euclidiana calculadas a partir das principais feições de infraestrutura de transporte e da rede hidrográfica, enquanto o mapa E exibe a variação altimétrica da área de estudo, derivada de modelo digital de elevação.

A distância até hidrovias (A) evidencia o papel estruturante dos rios na região amazônica, onde os cursos d'água constituem vias de acesso fundamentais para comunidades ribeirinhas. As distâncias às rodovias federais (B) e estaduais (C) refletem a concentração da malha viária pavimentada ao longo de eixos específicos, com extensas áreas do território permanecendo a grandes distâncias dessa infraestrutura. O mapa de distância até ruas e estradas extraídas do OpenStreetMap (D) complementa essa análise ao incorporar a rede viária local, revelando um padrão mais denso nas proximidades dos núcleos urbanos. Por fim, o mapa de altitude (E) mostra um relevo predominantemente de baixas elevações na porção norte e central do estado, com terrenos mais elevados na porção sudoeste, próxima à fronteira com o Peru.

**Figura 6:** Mapas de (A) Distância até hidrovias; (B) Distância até rodovias federais; (C) Distância até rodovias estaduais; (D) Distância até ruas e estradas (OpenStreetMap); e (E) Altitude (modelo digital de elevação).

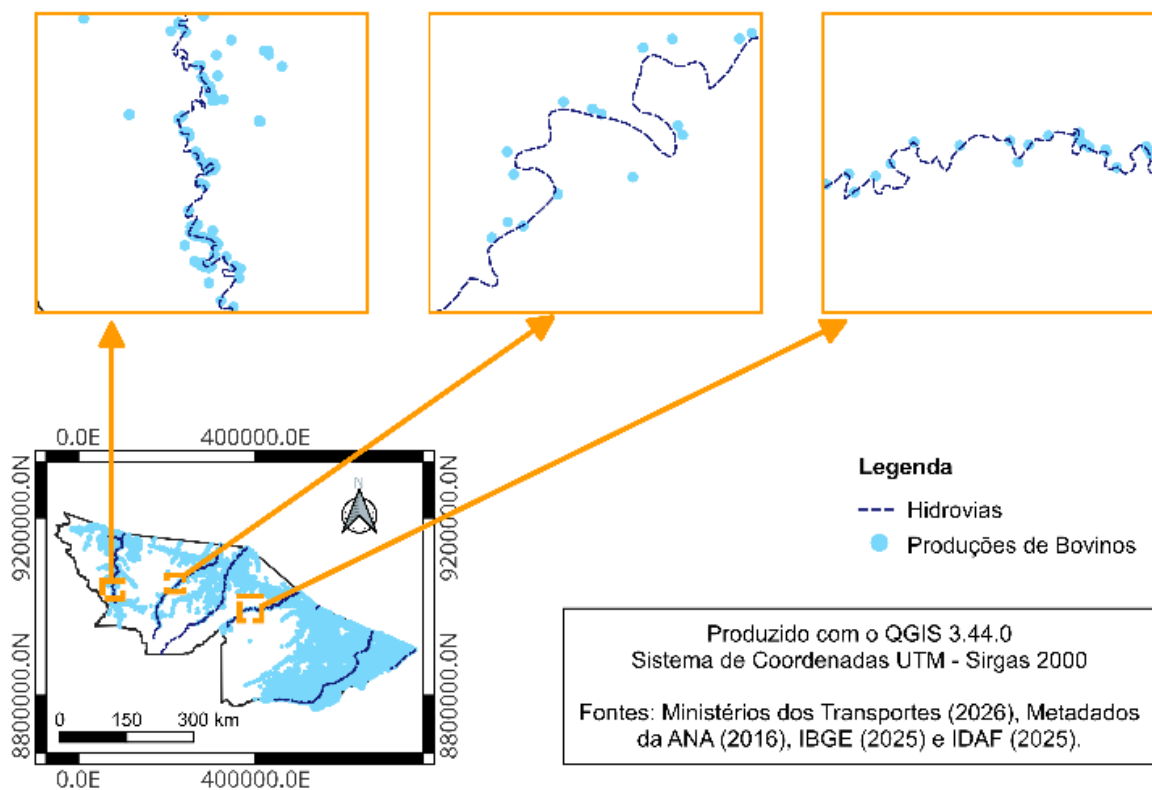


**Fontes:** Elaborado pelos autores no QGIS 3.44.0, com base em dados do IBGE (2025); ANA (2010; 2012; 2016); BRASIL (s.d.); OSM (2026); NASA LP DAAC (2020) e IDAF (2025).

A Figura 3 apresenta a sobreposição entre os registros de produção bovina e a rede hidroviária do estado do Acre. Os recortes ampliados destacam três trechos representativos da relação entre a localização das propriedades pecuárias e os cursos d'água navegáveis. Observa-se que, nas porções oeste e central do estado, onde a malha rodoviária é menos densa, as produções bovinas tendem a se

distribuir ao longo das hidroviias, sugerindo que os rios funcionam como eixos de acessibilidade e escoamento da produção nessas áreas mais remotas. No entanto, a densidade de pontos de produção associados às hidroviias é consideravelmente inferior àquela observada nas proximidades das rodovias (Figura 7), indicando que o transporte fluvial desempenha um papel complementar, e não predominante, na logística pecuária do estado.

**Figura 7:** Distribuição espacial das produções bovinas em relação à rede hidroviária no estado do Acre.



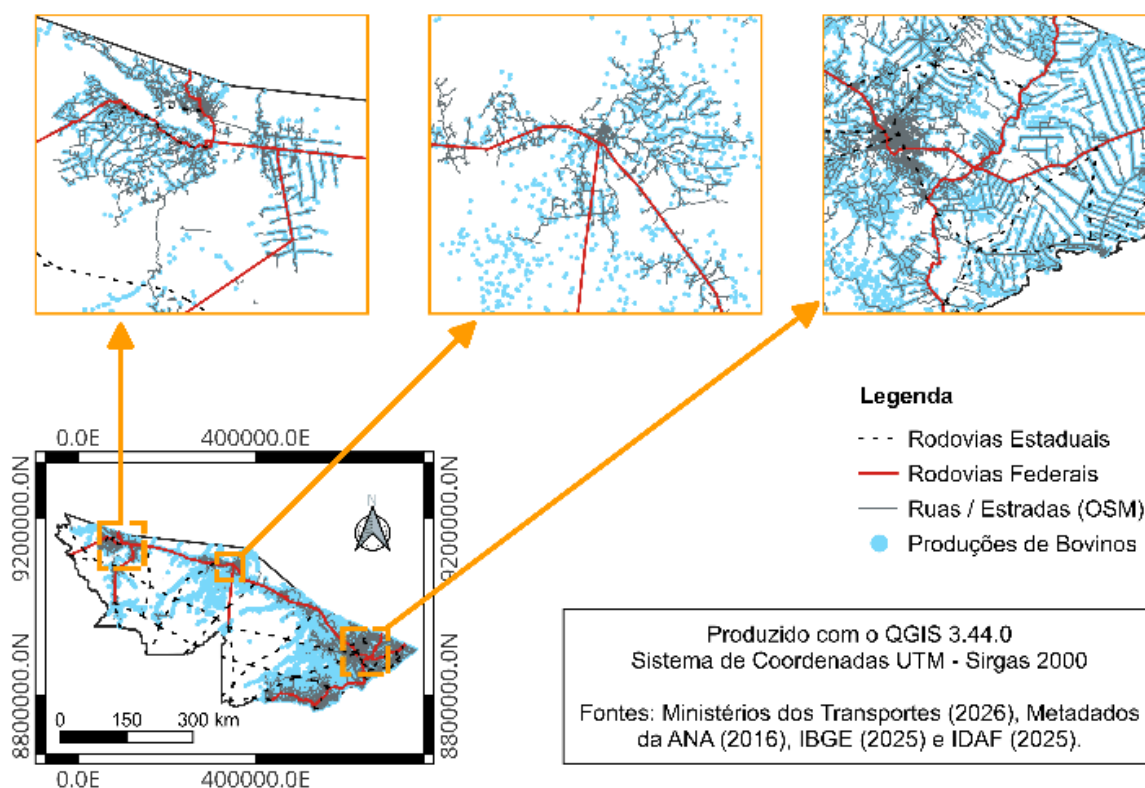
**Fonte:** Elaborado pelos autores com base em dados do Ministério dos Transportes (2026), ANA (2016), IBGE (2025) e IDAF (2025).

No entanto, Lopes et al. (2019) alertam que, em reservas extrativistas do Acre, a transição das comunidades ribeirinhas para a pecuária como atividade principal compromete a função conservacionista dessas áreas protegidas, evidenciando que a acessibilidade fluvial,

historicamente associada ao extrativismo, também facilita a expansão da fronteira pecuária.

A Figura 8 demonstra a relação espacial entre os registros de produção bovina e a infraestrutura rodoviária do Acre, composta por rodovias federais, rodovias estaduais e ruas/estradas locais extraídas do OpenStreetMap. Os recortes em destaque ilustram a concentração das produções bovinas nas proximidades de rodovias federais, rodovias estaduais e ruas/estradas locais.

**Figura 8:** Distribuição espacial das produções bovinas em relação à malha rodoviária no estado do Acre.



**Fonte:** Elaborado pelos autores com base em dados do Ministério dos Transportes (2026), OpenStreetMap - OSM, IBGE (2025) e IDAF (2025). Sistema de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000.

Os recortes ampliados evidenciam três padrões distintos de organização espacial da pecuária em função da malha viária. No

recorte à esquerda, na porção noroeste do estado, as produções se distribuem ao longo de ramais e estradas vicinais que partem das rodovias estaduais, em um padrão típico de ocupação do tipo espinha de peixe. No recorte central, observa-se a concentração de propriedades pecuárias nas proximidades de entroncamentos rodoviários, onde a convergência de eixos viários facilita o acesso a mercados e abatedouros. O recorte à direita, referente à região de Rio Branco e entorno, revela a mais alta densidade de produções bovinas do estado, associada à densa rede de ruas e estradas urbanas e periurbanas, bem como à presença das rodovias federais BR-364 e BR-317. Esse padrão de organização espacial da pecuária ao longo de eixos rodoviários é recorrente na Amazônia, como demonstram Cardoso, Silva e Araújo Filho (2024) e Oliveira et al. (2016).

Em relação ao padrão de ocupação de espinha de peixe, Santos (2024) revela que esse padrão remete à forma da abertura de vias a partir de um eixo estruturante e que indicam o avanço da exploração nas áreas, sendo amplamente observados nos últimos anos, inclusive, no interior de parques, unidades de conservação e terras indígenas, normalmente criados no contexto de recrudescimento da política de proteção ambiental. Isso indica que a acessibilidade viária e fluvial, historicamente associada ao extrativismo sustentável, passa a operar também como vetor de incorporação da floresta à fronteira agropecuária.

Nesse sentido, os dados produzidos neste estudo reforçam a urgência de instrumentos de ordenamento territorial que considerem a lógica espacial subjacente à expansão da fronteira pecuária no estado do Acre.

#### **4. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo investigou as mudanças no uso e cobertura da terra no Acre entre 2020 e 2024 por meio de matrizes de transição e análise espacial com variáveis externas complementares.

Foi possível quantificar que a dinâmica de uso e cobertura da terra no Acre entre 2020 e 2024 foi dominada pela conversão de áreas florestais em pastagem, concentrada sobretudo na porção leste do estado. Apesar da oscilação atípica de 2023, é possível observar que o aumento contínuo da área de pastagem, associado à expansão do desmatamento e ao crescimento do rebanho, evidencia a consolidação da pecuária bovina como principal vetor de transformação da paisagem no estado do Acre.

De modo geral, a distribuição das produções bovinas no Acre apresenta forte correlação espacial com a malha rodoviária, sobretudo com base na análise visual, reforçando a hipótese de que a acessibilidade viária constitui um dos principais fatores condicionantes da expansão pecuária na região. A predominância de registros ao longo dos eixos rodoviários federais e das estradas vicinais associadas confirma o papel estruturante da infraestrutura de transporte terrestre na configuração espacial da atividade pecuária amazônica.

A importância desta pesquisa dá-se por fomentar informações ao monitoramento territorial, a identificação de áreas com maior probabilidade de expansão da fronteira agropecuária e o subsídio a políticas públicas voltadas ao controle do desmatamento e à promoção de modelos de uso do solo mais sustentáveis na Amazônia Ocidental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRE. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre. Zoneamento ecológicoeconômico do Acre: fase II: documento síntese: escala 1:250.000. Rio Branco, AC: SEMA, 2010. 356 p.

ALMEIDA, Cláudio Aparecido de et al. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291-302, 2016. Disponível em: [http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2008.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2008.php). Acesso em: mar. 2026.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Base Hidrográfica Ottocodificada da Amazônia. Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/a01764d3-4742-4f7d-b867-01bf544dde6d>. Acesso em: mar. 2026.

\_\_\_\_\_. Limite dos países da América do Sul. Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7cfd53c4-b4e1-4aba-a79b-857a19649df6>. Acesso em: mar. 2026.

\_\_\_\_\_. Malha rodoviária estadual. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ff37f924-e88d-4ee4-82e7-14a3e5efe0fd>. Acesso em: mar. 2026.

\_\_\_\_\_. Solos da Amazônia Legal. Brasília: ANA, [s.d.]. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/8581b812->

[c744-4391-bb56-d0337c244b23/attachments/solos\\_AMZ.zip](https://doi.org/10.29327/268458.4.2-9). Acesso em: mar. 2026.

ANDRADE, B. G. B. de; ROCHA, K. Silva; HID, A. R.; DUETI, L. S. M.; REIS, F. S. Análise espaço temporal das alterações de uso e cobertura da terra na bacia do Igarapé São Francisco, Rio Branco Acre Brasil (2001 - 2021). **UÁQUIRI: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 04, n. 02, p. 139-151, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29327/268458.4.2-9>.

ASBIA - Associação Brasileira de Inseminação Artificial. Cepea destaca produção recorde de carne bovina em 2023. 2023 [S.l.]. Disponível em: <https://asbia.org.br/cepea-destaca-producao-recorde-de-carne-bovina-em-2023/>. Acesso em: mar. 2026.

BARRETO, Paulo; PEREIRA, Ritaumaria; ROCHA, Arthur José da Silva. Da 'Escassez' à Abundância: O Caso da Pecuária Bovina na Amazônia. **Amazoniana**, v. 2030, 2024.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Malha rodoviária federal e hidroviária do Acre. Brasília: Ministério dos Transportes, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/centrais-de-conteudo/acre.kmz>. Acesso em: mar. 2026.

CARDOSO, Katarina Moraes; SILVA, Viviane Vidal da; ARAÚJO FILHO, Daniel Alves de. A expansão da fronteira e os territórios da reforma agrária no sul do Amazonas. **Revista Contexto Geográfico**, Maceió-AL, v. 9, n. 20, p. 142–153, set. 2024. ISSN 2595-7236.

CARVALHO, André Cutrim; ALMEIDA, Emyly Mayara Silva de; CARVALHO, David Ferreira; FARIAS, Victor Melo; NEDER, Raquel do Nascimento. O papel da fronteira pecuária como principal driver do

desmatamento no Estado do Pará. **Gestão Ambiental nos Trópicos Úmidos: impactos das ações humanas nos recursos naturais das fronteiras amazônicas**, 2021. Disponível em: DOI 10.37885/210203283.

CHIACCHIO, Marcílio Alves; SOUZA, Armando Lirio de. A expansão da soja e os efeitos no mercado de terras na Amazônia. **Geografia**, v. 17, n. 02, p. 147-168, 2024. ISSN 2178-0234. DOI: 10.48075/geoq.v17i02.29126.

DIAS, Filipe Gomes; LIMA, Aline Maria Meiguins de. As mudanças de cobertura da terra em bacia hidrográfica sob pressão dos sistemas de uso e ocupação do território na Amazônia Oriental. **Revista InterEspaço**, Grajaú/MA, v. 07, p. 01-23, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202105>. Acesso em: mar. 2026.

DOMICIANO, L. F. et al. Agroforestry systems: an alternative to intensify forage-based livestock in the Brazilian Amazon. **Agroforestry Systems**, Springer Nature B.V., 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00499-1>. Acesso em: mar. 2026.

FERNANDES, Emanuela Costa et al. Panorama do rebanho bovino do Acre em 2022 - Amazônia Ocidental. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n. 7, p. 1-23, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n7-032.

FREITAS JUNIOR, Adirson Maciel de; BARROS, Pedro Henrique Batista de. A expansão da pecuária para a Amazônia legal: externalidades espaciais, acesso ao mercado de crédito e intensificação do sistema produtivo. **Nova Economia**, v. 31, n. 1, p. 303-333, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6351/5064>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ac.html>. Acesso em: mar. 2026.

\_\_\_\_\_. Malhas territoriais. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: mar. 2026.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. TerraBrasilis: Plataforma de dados geográficos. Mapa de supressão da vegetação nativa (PRODES). São José dos Campos: INPE, [s.d.]. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: mar. 2026.

KOHLER, M. R.; BAMPI, A. C.; SILVA, C. A. F.; ARANTES, A.; GASPAR, W. J. O desmatamento da Amazônia brasileira sob o prisma da pecuária: a degradação dos recursos hídricos no contexto da região norte de Mato Grosso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, e66101119252, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19252>. Acesso em: mar. 2026.

LOPES, E. et al. Modeling potential and realized açai (Euterpe precatoria Mart.) production in extractivist landscapes of the Brazilian Amazon. **Landscape and Urban Planning**, 2019.

MAPBIOMAS. Coleção 10 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil: cobertura e uso do solo – 2024. [S.l.]: Projeto MapBiomas, 2025. Disponível em: [https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection\\_10/lulc/coverage/brazil\\_coverage\\_2024.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_10/lulc/coverage/brazil_coverage_2024.tif). Acesso em: mar. 2026.

NASA LP DAAC. NASADEM Merged Digital Elevation Model Global 1 arc second V001. 2020. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: mar. 2026.

O PRESENTE RURAL. Produção brasileira de carne bovina bate recorde em 2023. 2023 [S.l.]. Disponível em: <https://opresenterural.com.br/producao-brasileira-de-carne-bovina-bate-recorde-em-2023/>. Acesso em: mar. 2026.

OLIVEIRA, Rodrigo Rafael Souza de; VENTURIERI, Adriano; SAMPAIO, Sandra Maria Neiva; LIMA, Aline Maria Meiguins de; ROCHA, Edson José Paulino da. Dinâmica de uso e cobertura da terra das Regiões de Integração do Araguaia e Tapajós/PA, para os anos de 2008 e 2010. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 68, v. 7, p. 1411-1424, jul./ago. 2016.

OSM – OpenStreetMap. Brasil – Norte. [S.l.]: Geofabrik, 2026. Disponível em: <https://download.geofabrik.de/south-america/brazil/norte.html>. Acesso em: 14 abr. 2026.

PAULA, Danielle Silva de; ESCADA, Maria Isabel Sobral; ORTIZ, Jussara de Oliveira. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra na Amazônia: a expansão da agricultura de larga escala na bacia do rio Curuá-Una. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 2, p. 383-397, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv74n2-63206>.

POSIT TEAM. RStudio: Ambiente de Desenvolvimento Integrado para R. Boston, MA: Posit Software, PBC, 2025. Disponível em: <http://www.posit.co/>. Acesso em: mar. 2026.

QGIS.org. QGIS 3.44. Geographic Information System Developers Manual. QGIS Association. Electronic. 2026. Disponível em:

[https://docs.qgis.org/3.44/en/docs/developers\\_guide/index.html](https://docs.qgis.org/3.44/en/docs/developers_guide/index.html).

Acesso em: mar 2026.

SANTOS, Cesar Simoni. A REALIDADE DA FRONTEIRA: o desmatamento, a sujeição do trabalhador e a ambivalência do estado. **Geo UERJ**, n. 45, 2024.

SILVA, Maria Evanilce Gomes da. O agronegócio do boi e conflitos socioambientais: uma discussão sobre fronteira na regional do Baixo Acre. 2022. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Geografia, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2022.

SILVEIRA, Júlia Graziela da et al. Land Use, Land Cover Change and Sustainable Intensification of Agriculture and Livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil. **Sustainability**, v. 14, p. 2563, 23 fev. 2022. DOI: 10.3390/su14052563.

SOUSA, L. M. de; ADAMI, M.; LIMA, A. M. M. de; RAMOS, W. F. Avaliação do uso e cobertura da terra em Paragominas e Ulianópolis-PA, utilizando dados do Projeto TerraClass. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 3, p. 421-431, 2017.

VALE, Jones Remo Barbosa; BORDALO, Carlos Alexandre Leão. Caracterização morfométrica e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Apeú, Amazônia Oriental. **Formação (Online)**, v. 27, n. 51, p. 313-335, mai-ago 2020. ISSN 2178-7298. E-ISSN 1517-543X.

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo pelo Instituto Federal de Rondônia. Técnico em Defesa Agropecuária. vinculado ao Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Acre. Discente do Programa de

Especialização em Geoprocessamento da Universidade Federal do ABC. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6099-4142>

<sup>2</sup> Pós-graduada em Gestão Ambiental: Diagnóstico e Adequação Ambiental pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro. Especialista em Matemática e Ciências da Natureza pela Universidade Federal do Piauí. Engenheira Agrônoma pela Faculdades Associadas de Uberaba-FAZU. Discente do programa de Especialização em Geoprocessamento da Universidade Federal do ABC.M E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4267-0288>

<sup>3</sup> Doutor e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande. Docente da Universidade Federal do Pampa. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8700-0860>

<sup>4</sup> Doutor e Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande. Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2495-9737>