



Desenvolvimento Humano Ajustado às Emissões: Uma análise sobre a distribuição espacial na Amazônia Legal

Emissions-Adjusted Human Development: An analysis of spatial distribution in the Legal Amazon

1. Davi Lourenço Cruz  <https://orcid.org/0009-0004-1444-5972>

1. Universidade Federal de Minas Gerais  Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

2. Ricardo Alexandrino Garcia  <https://orcid.org/0000-0001-7144-9866>

2. Universidade Federal de Minas Gerais  Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

3. Uilmer Rodrigues Xavier da Cruz  <https://orcid.org/0000-0002-2489-7655>

3. Universidad Nacional de La Matanza  Matanza, Buenos Aires, Argentina

Autor de correspondência: davilorenco21@gmail.com

RESUMO

Este trabalho analisa a distribuição espacial do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), penalizado pelas emissões de CO₂e *per capita*, nos 771 municípios da Amazônia Legal, tendo como referência o ano de 2010. Parte-se da compreensão de que o desenvolvimento humano também produz pressões ambientais, sendo necessário incorporar os custos associados às emissões à sua avaliação. Para isso, foi elaborado um índice normalizado de emissões de CO₂e *per capita*, utilizado para aplicar uma penalização direta ao IDHM de 2010. Os resultados foram espacializados por meio de Sistemas de Informação Geográfica, permitindo comparar o indicador convencional e sua versão penalizada nos municípios e nas nove Unidades da Federação da Amazônia Legal. Os resultados demonstram alterações expressivas na distribuição dos municípios entre os níveis de desenvolvimento, especialmente em Mato Grosso, Pará, Rondônia, Maranhão e Tocantins, onde municípios das classes Médio e Alto foram deslocados para níveis inferiores. A análise evidencia a relevância das emissões associadas à Mudança do Uso da Terra (MUT) e à expansão agropecuária. Conclui-se que o IDHM penalizado permite incorporar a dimensão climática à análise do desenvolvimento humano e evidenciar seus custos ambientais territoriais.

Palavras-chave: Desenvolvimento Humano, Amazônia Legal, Emissões de CO₂e, Mudança do Uso da Terra.

ABSTRACT

This study analyzes the spatial distribution of the Municipal Human Development Index (MHDI), adjusted for per capita CO₂e emissions, across the 771 municipalities of the Legal Amazon, using 2010 as the reference year. It is based on the premise that human development should not be assessed solely through social and economic dimensions, as development processes also exert environmental pressures on natural systems. To incorporate these pressures, a normalized per capita CO₂e emissions index was developed and used to directly adjust the 2010 MHDI. The results were spatialized using Geographic Information Systems (GIS), allowing comparisons between the conventional and adjusted indicators across municipalities and the nine states comprising the Legal Amazon.

The findings show substantial changes in the distribution of municipalities across development levels, particularly in Mato Grosso, Pará, Rondônia, Maranhão, and Tocantins, where municipalities shifted from Medium and high development levels to lower categories. The analysis also highlights the role of the Land-Use Change (LUC) sector and its relationship with agricultural expansion and economic frontiers. The study concludes that the adjusted MHDI provides a means of incorporating the climate dimension into human development analysis and revealing the environmental costs associated with different territorial development trajectories in the Legal Amazon.

Keywords: Human development, Legal Amazon, CO₂e emissions, Land-use change.

INTRODUÇÃO

O Brasil é signatário do Acordo de Paris e tem como meta reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em 43% até 2030 (UNFCCC, 2015). Entretanto, o país mantém uma forte pressão planetária sobre a mudança do uso da terra, especialmente associada à expansão agropecuária, desmatamento e reorganização territorial da fronteira produtiva. Nesse aspecto, a contribuição brasileira para a transgressão de limites planetários não se expressa apenas pelo carbono energético, mas sobretudo pela transformação de ecossistemas estratégicos como Amazônia e Cerrado, que possuem função reguladora global.

Historicamente, o Brasil tem buscado ampliar o bem-estar social, mas a transformação dos padrões de produção e consumo intensificou a pressão ambiental nas últimas décadas. Modelos de insumo-produto indicam que, desconsiderando os efeitos da Mudança de Uso da Terra (MUT), as emissões continuam acompanhando a expansão da produção e do consumo.

A interdependência entre limites planetários reforça que mudanças lentas podem desencadear efeitos sistêmicos amplos. O caso da Amazônia é frequentemente citado porque a conversão florestal altera a evapotranspiração, modifica padrões regionais de precipitação e influencia teleconexões atmosféricas de larga escala. Dessa forma, a degradação local não permanece confinada territorialmente, mas produz efeitos globais, tornando a governança ambiental inseparável da governança climática internacional.

Atualmente, o desafio consiste em conciliar o crescimento econômico com a manutenção dos serviços ecossistêmicos. As emissões de GEE estão associadas, sobretudo, à conversão de florestas para pastagens e áreas agrícolas, diferentemente do padrão predominante nos países desenvolvidos, baseado no uso de combustíveis fósseis. Esse processo de ocupação e conversão florestal contribuiu para a formação do chamado “Arco do Desmatamento”, que se estende do Maranhão ao Acre (Fearnside, 2022).

A região administrativa também apresenta níveis inaceitáveis de pobreza, desigualdade e vulnerabilidade social quando comparada à média nacional. Em termos de desenvolvimento humano, a região registra um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH de 2012) Médio de 0,683, valor considerado inferior aos observados nas regiões Sudeste (0,754) e Sul (0,756). Essa disparidade reflete-se também no Produto Interno Bruto (PIB), revelando municípios com economias frágeis que não garantem a satisfação de necessidades básicas da população. A situação de pobreza extrema é alarmante, com cerca de 92,73% dos municípios classificados em níveis potencialmente insustentáveis nesse quesito (Oliveira, 2016).

Costa (2011) argumenta que as discussões sobre emissões muitas vezes carecem de uma visão sistêmica sobre os fluxos econômicos locais e o ambiente institucional que os garante. Para o autor, o mercado de terras é o cerne da questão, pois as variações na economia afetam diretamente como a base natural é utilizada. Percebe-se que as desigualdades ambientais são frequentemente maiores do que as desigualdades de desenvolvimento humano propriamente ditas.

Uma análise crítica das emissões na Amazônia requer a compreensão das forças econômicas e institucionais que impulsionam o uso da terra. E no caso da Amazônia Legal, o desmatamento não é só fruto da pobreza, mas de investimentos estratégicos e falhas de governança. Existe um círculo vicioso em que a extração de madeiras nobres, como o mogno, abre estradas ilegais que precedem e facilitam a construção de rodovias oficiais, tornando fronteiras remotas acessíveis ao agronegócio (Fearnside, 2022).

A sistematização dos dados brasileiros é uma iniciativa do Observatório do Clima, realizada por meio do SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases

de Efeito Estufa). As estimativas do SEEG seguem rigorosamente as diretrizes do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) em Relatórios de Avaliação (ARs) e dos Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, publicados anualmente pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, garantindo a qualidade e a comparabilidade dos dados.

Em 2016 (Um ano após o Acordo de Paris), segundo o MCTI (2021), o setor da Agropecuária tenha contribuído com 2,3% das emissões de CO₂e, mas sua participação no total de gases de efeito estufa é muito maior quando se considera o metano (CH₄). No entanto, só as emissões líquidas do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas representaram 41,8% das emissões totais de CO₂e, sendo as emissões de conversão de floresta para campo e pastagem as mais significativas.

Na Amazônia, historicamente a combinação de baixa densidade populacional e altas emissões brutas resulta em índices *per capita* comparáveis aos de países desenvolvidos, apesar da redução no desmatamento. Destacam-se positivamente o Amazonas e o Amapá, cujos habitantes atuam como sequestradores líquidos de carbono (com marcas de -15 e -19 toneladas *per capita*, respectivamente), reflexo da vasta extensão de unidades de conservação e terras indígenas que preservam o saldo ambiental desses estados (Tsai et al., 2025).

Fearnside (2022), ainda ressalta que esquemas de compensação e políticas rurais afetam a demanda final efetiva e o valor da produção, influenciando as decisões de desmatar ou conservar. Esta abordagem crítica sugere que as emissões de carbono não são apenas um subproduto técnico do uso do solo, mas o resultado de complexas interações socioeconômicas e falhas institucionais na governança regional.

O debate teórico contemporâneo converge para a noção de corredor seguro e justo, isto é, a necessidade de combinar piso social mínimo com teto ecológico máximo, como defende Rockström, et al, (2009). Essa formulação aproxima a teoria dos limites planetários da justiça distributiva, indicando que o desafio não consiste apenas em reduzir impactos globais, mas em redistribuir espaço ecológico entre países com responsabilidades históricas distintas.

Para o Brasil, isso implica defender expansão de capacidades humanas sem reproduzir trajetórias intensivas em carbono e degradação territorial já observadas em economias centrais. Por fim, o desafio é institucionalizar essas métricas para guiar políticas públicas que promovam uma política para a sustentabilidade verdadeiramente ecológica, capaz de manter o país e o mundo dentro de um espaço operacional seguro para as futuras gerações.

O estudo parte da constatação de que o modelo histórico de desenvolvimento da Amazônia Legal – baseado em expansão das fronteiras agropecuárias, grandes projetos de infraestrutura e exploração mineral global – gerou altíssimas pressões ambientais e profundas desigualdades socioespaciais e encontra-se hoje no epicentro do debate mundial sobre a crise climática e os limites biofísicos do planeta (Fearnside, 2022).

Discussões atuais buscam ajustar o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), incorporando os custos sociais do carbono e a variação da riqueza natural. O Índice de Desenvolvimento Humano Ajustado às Pressões sobre o Planeta (IDH-P) surge com a intenção de contabilizar o impacto ambiental por meio de um fator corretivo, baseado nas emissões *per capita* de dióxido de carbono e na pegada material *per capita* (PNUD, 2021).

Assim, a apresentação do conceito de custo ambiental de Ajishnu Roy et al. (2023) neste estudo, emerge como proposta teórica que considera as emissões de GEE desses entes municipais, como um relevante indicador que pondera e aponta a necessidade de mitigações climáticas nos territórios administrativos. Esse custo ambiental é definido como a pressão biofísica exercida sobre os sistemas da Terra para sustentar o progresso socioeconômico local ou global, aproximando-se das formulações recentes do IDH ajustado às pressões planetárias (IDH-P) (PNUD, 2021).

Inspirado nesta proposta, o objetivo central foca em elaborar um indicador para a Amazônia Legal que penalize o IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) de 2010 pelas emissões de CO₂e *per capita*, adequando a escala municipal brasileira com a finalidade de quantificar e espacializar a deterioração do desenvolvimento humano quando o custo ambiental é internalizado. Especificamente, o trabalho busca: Elaborar um índice de emissões de CO₂e *per capita* normalizado para os 771 municípios

da Amazônia Legal; Aplicar a penalização direta ao IDHM especificamente do ano de 2010 com base nesse índice, produzindo um “IDHM penalizado”; Analisar os padrões territoriais do desenvolvimento ajustado, por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), identificando e espacializando áreas de maior insustentabilidade humana com base no IDHM penalizado, indicador quantitativo desenvolvido para essa análise.

METODOLOGIA

O presente estudo adota uma abordagem metodológica exploratória e quantitativa, combinando inferência de indicadores e distribuição espacial. Para sustentar a integridade e a precisão dessa avaliação, a primeira ação metodológica foi estabelecer a caracterização exata da área de estudo e, por meio de pesquisa bibliográfica, determinar a lista completa dos municípios da região. A Amazônia Legal apresenta uma área total de 5.014.107,875 km², correspondendo a cerca de 58,924% do território brasileiro, conforme o mais recente levantamento divulgado pelo IBGE (2024).

A delimitação dessa área exigiu um cuidado informacional específico, particularmente em relação ao estado do Maranhão. O IBGE (2024) propõe uma delimitação precisa que abrange apenas as áreas dos municípios do Maranhão situados a oeste do Meridiano 44º. Uma pesquisa detalhada também revela que dois municípios são notavelmente recentes, o que impacta a disponibilidade de dados históricos de 2010 do Censo Demográfico, do IDHM e das bases de emissões de CO₂e. Devido a essa incompletude informacional, e para garantir a integridade da base para o cálculo do IDHM ajustado, a análise será conduzida com uma amostra de 771 municípios, excluindo formalmente Mojuí dos Campos (PA) que emancipou-se em 2013, e Boa Esperança do Norte (MT) que veio a torna-se município em 2023, do escopo desta pesquisa. Após a correta determinação dos municípios elegíveis (771) e da unidade territorial, a etapa seguinte se concentrou na coleta e organização dos dados essenciais para o cálculo do IDHM ajustado ao índice de emissões de CO₂e *per capita*.

A variável de pressão ambiental utilizada neste estudo são as emissões totais de Gases de Efeito Estufa (GEE) de CO₂e (t)/GWP-AR-5 equivalentes (e), expressas em toneladas

(t). Os dados utilizados para essas estimativas são disponibilizados pela plataforma do observatório do clima o SEEG que atribuem a poluição ao país onde ela ocorre fisicamente. Essa fonte é reconhecida por sua robustez na quantificação de gases de efeito estufa no Brasil, sendo a métrica mais adequada para conceber as pressões ambientais e quantificar as mudanças no clima que o estudo se propõe a avaliar. Tais estimativas incluem os principais gases de efeito estufa — dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) —, que juntos respondem por mais de 99% das emissões em carbono equivalente (CO₂e). As emissões de CO₂e no Amazônia Legal resultam principalmente do setor de mudanças no uso e cobertura da terra, em especial o desmatamento (MCTI, 2021).

Os dados utilizados nesta pesquisa são provenientes do Atlas Brasil, fruto da parceria entre o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e a Fundação João Pinheiro (FJP). Para que seja possível calcular as emissões de CO₂e *per capita* de cada município da Amazônia Legal, o Censo Populacional é uma variável complementar indispensável. Assim, a próxima ação metodológica foi a coleta dos dados de população total do Censo Demográfico do IBGE para o ano de 2010, que corresponde ao período do IDHM. A intenção central é harmonizar essas duas variáveis de unidades e escalas distintas.

A proposta desenvolvida nesta pesquisa inspira-se no IDH-P do PNUD, mas não constitui uma adaptação direta do índice. Para sua aplicação, considera-se exclusivamente o indicador de emissões territoriais brutas de GEE em CO₂e *per capita* aos 771 municípios selecionados da Amazônia Legal, enquanto a pegada material é excluída em razão das dificuldades metodológicas de sua mensuração na escala municipal. Esses cálculos seguem as diretrizes metodológicas do IPCC (2023) e SEEG (Tsai et al., 2025) para a distribuição de emissões totais (excluindo as remoções), garantindo a validade técnica do indicador de pressão ambiental.

A próxima etapa é calcular as emissões de CO₂e *per capita* e descobrir o índice de emissões de CO₂e *per capita* de cada município. Primeiro, dividem-se as emissões totais equivalentes de cada município por sua população total, gerando a métrica que reflete o impacto climático individualizado:

$$E_{PC} = \frac{E_{total}}{Pop_{total}} \quad (1)$$

onde, E_{PC} , corresponde a Emissões *per capita* de CO₂e; E_{total} , as emissões totais de GEE CO₂ (GWP/AR-5) e Pop_{Total} , a população total.

Ao converter as emissões para CO₂e *per capita* (que possuem uma unidade de medida em toneladas, não comparável diretamente com a escala de 0 a 1 do IDHM), calcula-se a normalização pelo valor máximo observado dos dados de emissões de CO₂e *per capita* para que se obtenha o índice de emissões de CO₂e *per capita* por município (variável de pressão ambiental). Esse procedimento normaliza a variável de pressão ambiental em uma escala de 0 a 1, permitindo sua integração ao IDHM:

$$I_{CO_2e} = \frac{E_{PC}}{X} \quad (2)$$

onde, I_{CO_2e} , corresponde ao índice de emissões de CO₂e *per capita*; E_{PC} as emissões *per capita* de CO₂e e X , o valor máximo ocorrido de emissões *per capita* de CO₂e em cada censo do IBGE.

A etapa de ponderação é o cerne metodológico da pesquisa. Ela consiste no ajuste do IDHM do ano de 2010 com o índice de emissões de CO₂e *per capita* normalizado. O objetivo é ir além da simples mensuração do desenvolvimento, integrando o custo ambiental desse desenvolvimento. Essa nova variável ajustada é o principal resultado analítico que será o foco das análises espaciais subsequentes. O cálculo (3) dessa ponderação/ajuste é formalizado pela expressão:

$$IDHM_{ajustado} = (1 - I_{CO_2e}) * IDHM \quad (3)$$

Onde, $IDHM_{ajustado}$, corresponde ao Índice de Desenvolvimento Humano Ajustado (pelo índice de emissões de GEE); I_{CO_2e} , ao índice de emissões de CO₂e *per capita* e $IDHM$ ao Índice de Desenvolvimento Humano original.

Com a variável do IDHM ajustada, calculada e organizada, a próxima fase direciona o foco para a análise da distribuição espacial mediante o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O primeiro passo no ambiente SIG é a criação do dado vetorial, que consiste em espacializar a informação alfanumérica. Para isso, utiliza-se o dado vetorial

dos limites municipais da Amazônia Legal, referente ao ano de 2010, obtido na base mais atualizada do IBGE.

Essa nova métrica funcionará como um indicador penalizado, no qual o desenvolvimento humano alcançado é descontado ou atenuado pelo grau de pressão ambiental que o município exerce. Em outras palavras, a metodologia dimensiona os custos ambientais de um município (em termos de emissões) e os reflete em seu nível de desenvolvimento humano. A escolha por penalizar o IDHM é estratégica, pois permite observar duas coisas: a busca pelo desenvolvimento (por vezes econômico) está intrinsecamente ligada ao impacto climático; e essas tentativas são traduzidas em custos ambientais elevados e desenvolvimento baixo em alguns dos municípios da região da Amazônia Legal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entende-se que o projeto econômico da Região passa por ciclos produtivos de planejamento que acentuam as pressões ambientais no território investigado, como apontado em outras partes do estudo. Portanto, esses subsídios empíricos auxiliam na compreensão da relação entre progresso socioeconômico e custos ambientais na região. A distribuição das emissões territoriais de GEE por pessoa evidencia expressiva heterogeneidade entre as unidades federativas da Amazônia Legal, veja na tabela 1:

Tabela 1 – Emissões territoriais de CO₂e *per capita* nas unidades federativas da Amazônia Legal

Unidade Federativa	Emissões de CO ₂ e(t) PC por UF's	Municípios c/Outliers por UF	Emissões de CO ₂ e(t) PC desses Municípios
Acre	59,72t	Bujari	184,65t
Amazonas	13,27t	Apuí	204,4t
Amapá	11,57t	Serra Do Navio	35,8t
Maranhão	14,17t	Brejo De Areia	171,95t
Mato Grosso	81,46t	Gaúcha Do Norte	669,46t
Pará	25,59t	Cumaru Do Norte	638,78t
Rondônia	49,39t	Pimenteiras do Oeste	317,12t
Roraima	43,87t	Mucajaí	131,05t
Tocantins	43,49t	Mateiros	303,66t

Fonte: Censo Demográfico do IBGE (2010); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

A média regional foi de 59,61tCO₂e por habitante da região. O Mato Grosso apresentou o maior valor, com 81,46tCO₂e/habitante, seguido pelo Acre, com 59,72tCO₂e/habitante, enquanto Amapá e Amazonas apresentaram os menores valores, com 11,57 e 13,27tCO₂e/habitante, respectivamente. Essa heterogeneidade reforça a necessidade de analisar conjuntamente IDHM e a versão ajustada, uma vez que diferentes configurações territoriais podem combinar níveis distintos de desenvolvimento e de emissões. Em suma, as emissões brutas de CO₂e *per capita* por UF estabelece a base para identificar regiões de intenso vetor de pressões ambientais no ano de 2010, e na compreensão do fator de penalização do IDHM (Tabela 2):

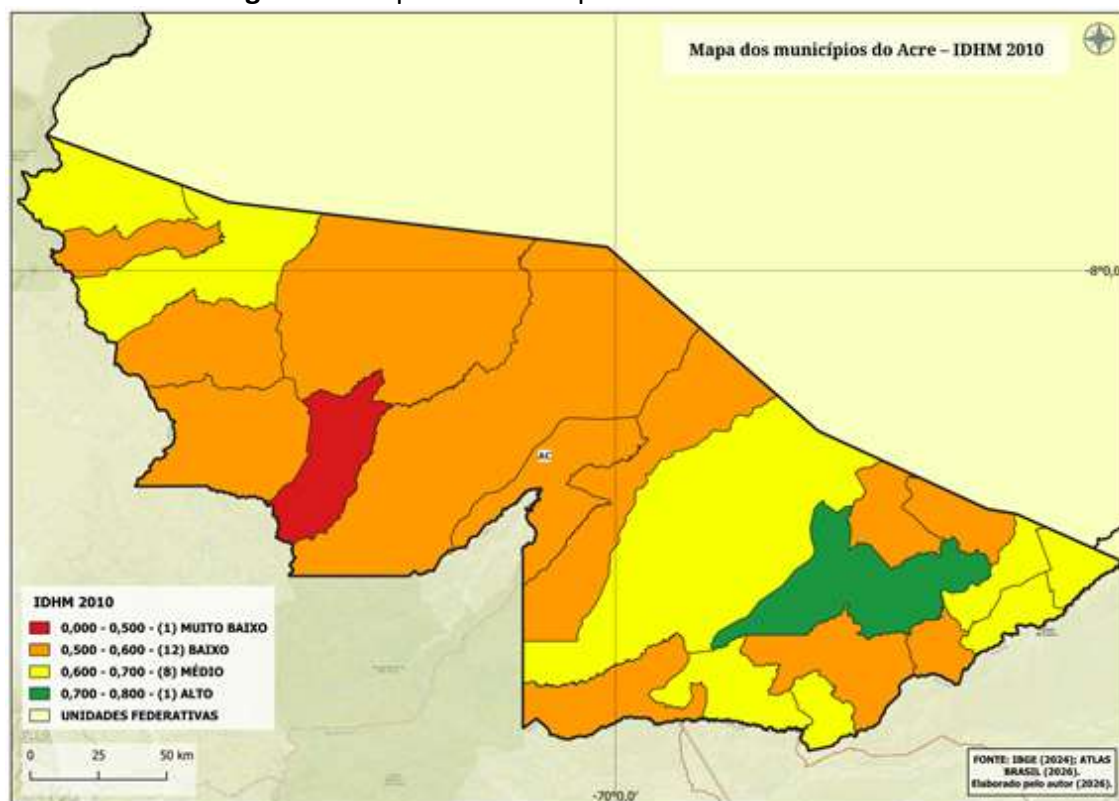
Tabela 2 – Mudanças na distribuição dos municípios da Amazônia Legal segundo os níveis de IDHM

Níveis DO IDHM	IDHM (2010)	% Em 2010	Posterior ao ajuste	% Posterior ao ajuste	Saldo	Variação (%)
Nível ALTO (0,700 - 0,800)	78	10,12%	35	4,54%	-43	-55%
Nível MÉDIO (0,600 - 0,700)	366	47,47%	203	26,33%	-163	-45%
Nível BAIXO (0,500 - 0,600)	305	39,56%	399	51,75%	+94	31%
Nível MUITO BAIXO (0 - 0,500)	22	2,85%	134	17,38%	+112	509%
TOTAL	771	100%	771	100%	-	-

Fonte: Censo Demográfico do IBGE (2010); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

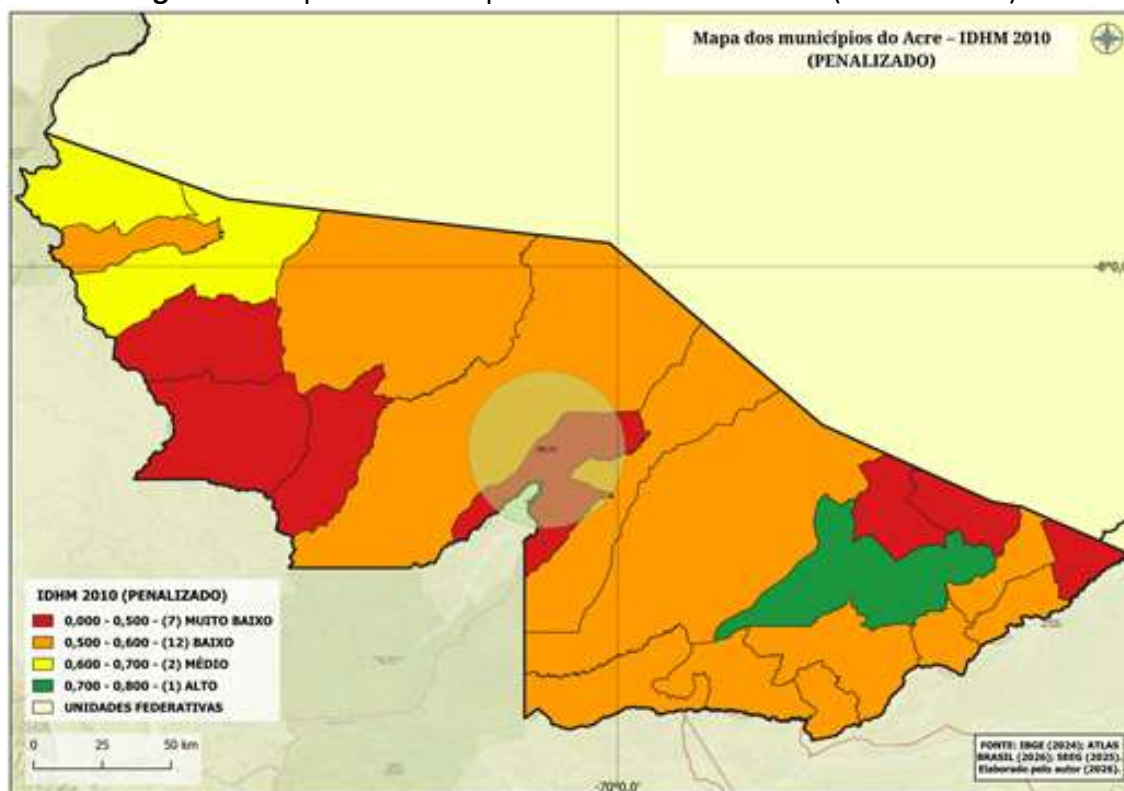
O nível ALTO passou de 78 para 35 municípios, uma redução líquida de 43 municípios (-55%), enquanto o MÉDIO, que concentrava a maior parcela em 2010, caiu de 366 para 203, redução de 163 municípios (-45%). No sentido oposto, o nível BAIXO aumentou de 305 para 399 municípios, incorporando 94, e o MUITO BAIXO passou de 22 para 134, um acréscimo de 112 municípios. Esse deslocamento alterou significativamente a composição regional: o MUITO BAIXO passou de 2,85% para 17,38% dos municípios, enquanto o BAIXO aumentou de 39,56% para 51,75%. Assim, observa-se uma redução da participação dos níveis superiores acompanhada pela concentração dos municípios em níveis inferiores. A média regional do IDHM também caiu de 0,614 para 0,559, reforçando essa mudança, embora seu valor isolado não expresse a distribuição municipal, marcada pela recomposição do quadro nos níveis BAIXO e MUITO BAIXO.

Figura 1 - Mapa dos Municípios do Acre – IDHM 2010



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026). Organização: Autores, 2026.

Figura 2 - Mapa dos Municípios do Acre – IDHM 2010 (PENALIZADO)

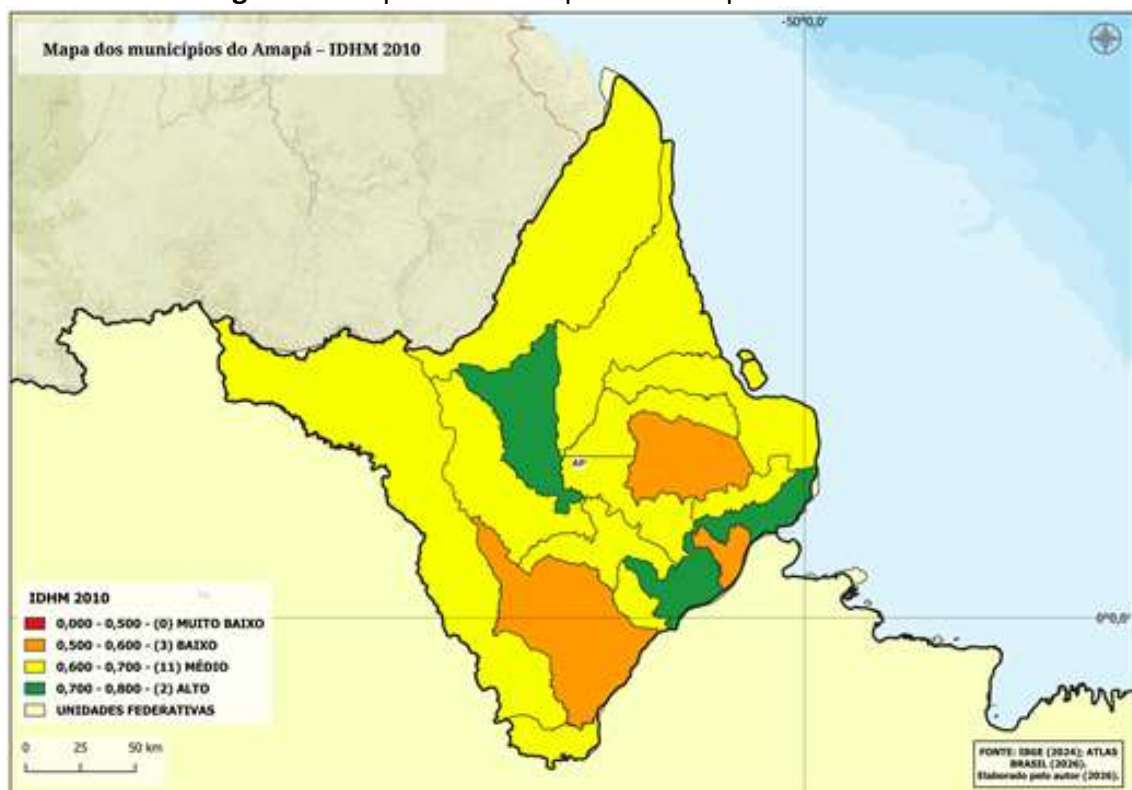


Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

No Acre (Figura 1 e 2), a comparação entre o IDHM convencional e o IDHM penalizado demonstra que a incorporação das emissões de CO₂e altera de forma expressiva a distribuição dos municípios entre as classes de desenvolvimento humano. O Acre apresenta a segunda maior emissão por habitante de 59,72tCO₂e, devido à uma pequena concentração populacional. Enquanto no indicador original apenas 1 município encontrava-se na faixa de IDHM Muito Baixo (0,000 – 0,500) representada na cor vermelha, a penalização eleva esse número para 7 municípios. Simultaneamente, o nível de IDHM Médio (0,600–0,700) em amarelo, sofre uma redução expressiva, passando de 8 para apenas 2 municípios, enquanto a faixa de IDHM Alto (0,700–0,800) que está na cor verde, permanece praticamente inalterada, com 1 município em ambas as situações. A classe de IDHM Baixo (0,500–0,600) na cor laranja, mantém 12 municípios tanto antes quanto após a penalização. Esses resultados evidenciam que a principal consequência da incorporação das emissões de CO₂e consistem na migração de municípios classificados anteriormente como desenvolvimento Médio para o nível de desenvolvimento Muito Baixo, aumentando a concentração dos municípios nos níveis inferiores do indicador.

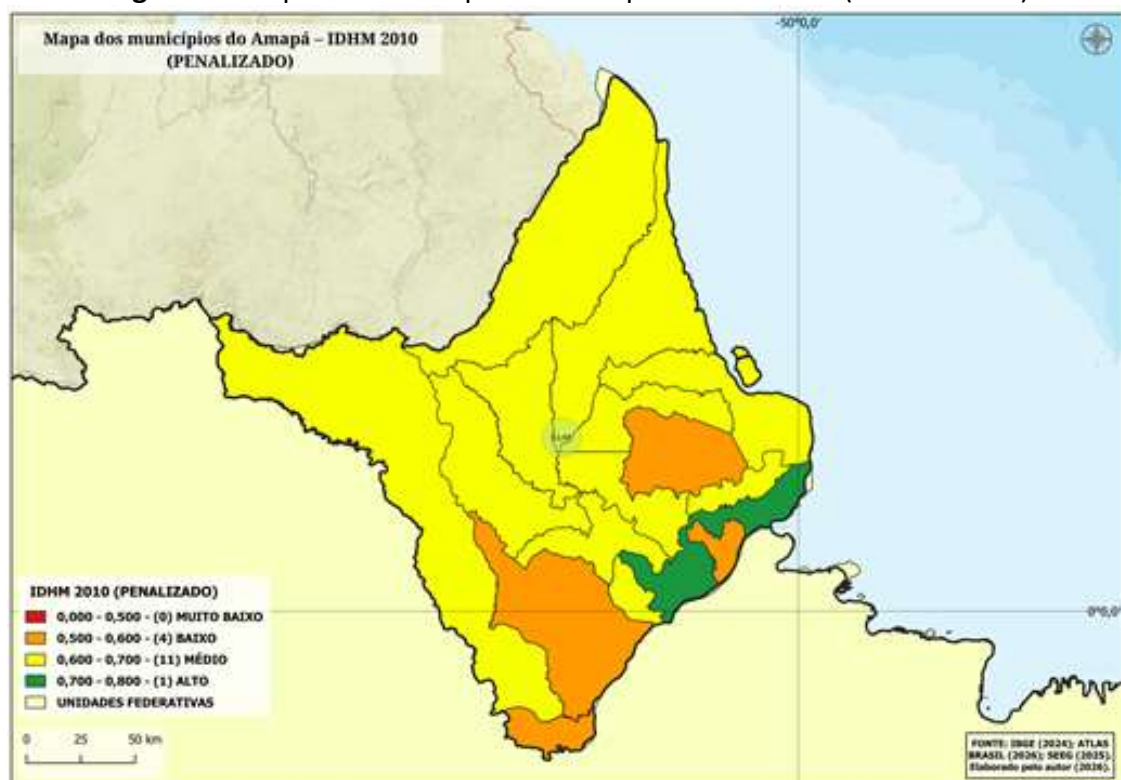
Essa redistribuição acompanha a dinâmica territorial do estado. Embora o Acre apresente uma economia menos intensiva que a dos estados que possuem externalidades ambientais relevantes na conversão de floresta para pastagem, a expansão da pecuária e a abertura de novas áreas agrícolas promove o aumento das emissões de CO₂e associadas principalmente ao setor de Mudança do Uso da Terra (MUT). Os resultados são compatíveis com um contexto territorial em que processos de conversão da cobertura florestal constituem importante componente das pressões ambientais associadas ao desenvolvimento municipal.

Figura 3 - Mapa dos Municípios do Amapá – IDHM 2010



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026). Organização: Autores, 2026.

Figura 4 - Mapa dos Municípios do Amapá – IDHM 2010 (PENALIZADO)

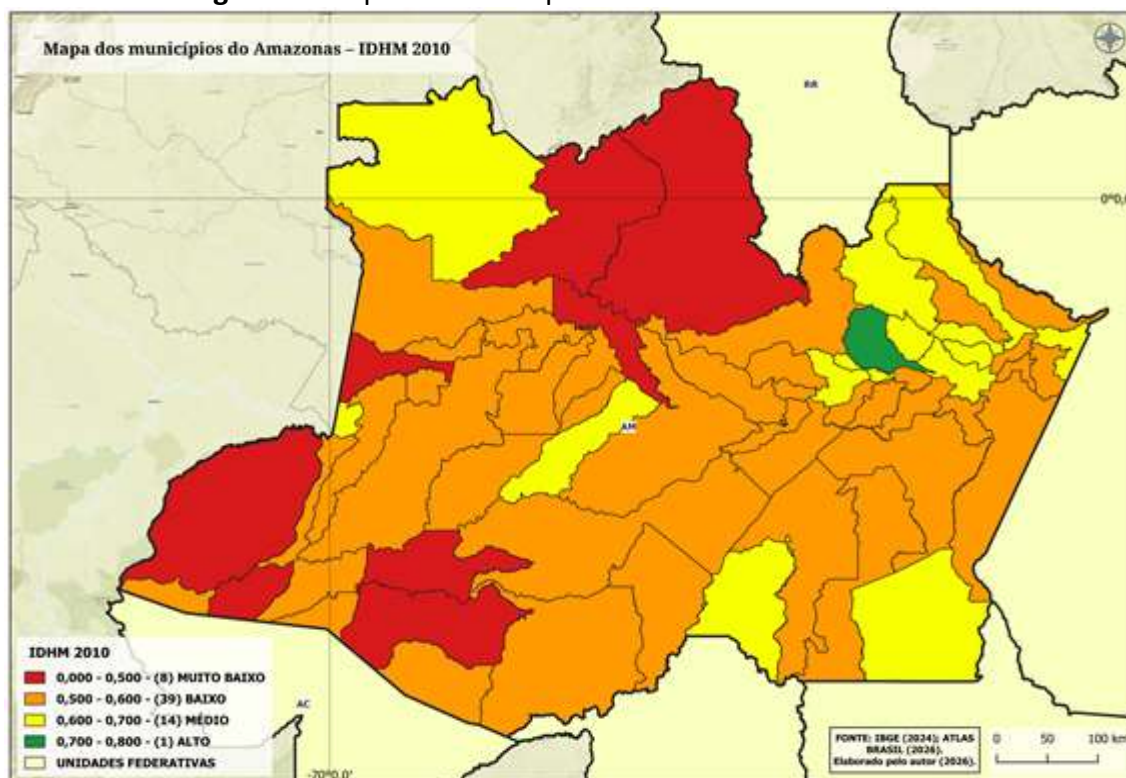


Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

O Amapá (Figura 3 e 4) apresenta a menor alteração entre todas as unidades federativas analisadas. A distribuição municipal praticamente permanece inalterada após a penalização pelas emissões de CO₂e, isso acontece pois a UF possui a segunda menor população total no Censo de 2010, o Amapá apresenta o menor valor da série 11,57tCO₂e por habitante. Os municípios classificados com IDHM Médio permanecem em 11 entes municipais, enquanto o nível do IDHM Alto reduz de 2 para apenas 1 município. Paralelamente, a faixa de IDHM Baixo aumenta discretamente de 3 para 4 municípios, sem qualquer município enquadrado no nível de desenvolvimento Muito Baixo em ambos os indicadores.

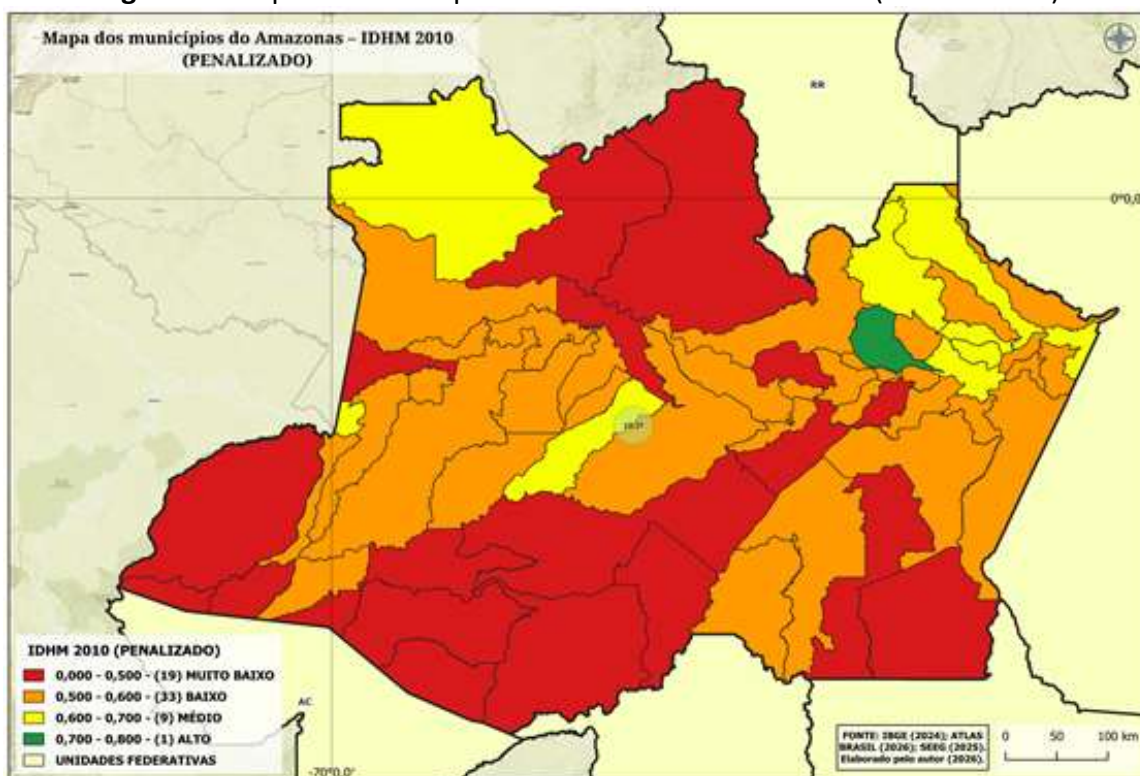
Os resultados confirmam que as emissões territoriais exercem impacto bastante limitado sobre o desenvolvimento humano estadual. O comportamento observado está diretamente relacionado à reduzida pressão sobre a cobertura vegetal, elevada presença de unidades de conservação e terras indígenas e menor participação das atividades agropecuárias extensivas na economia estadual. Embora existam atividades minerárias e algum crescimento urbano concentrado, o setor MUT possui participação muito inferior à observada em outros estados.

Figura 5 - Mapa dos Municípios do Amazonas – IDHM 2010



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026). Organização: Autores, 2026.

Figura 6 - Mapa dos Municípios do Amazonas – IDHM 2010 (PENALIZADO)



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

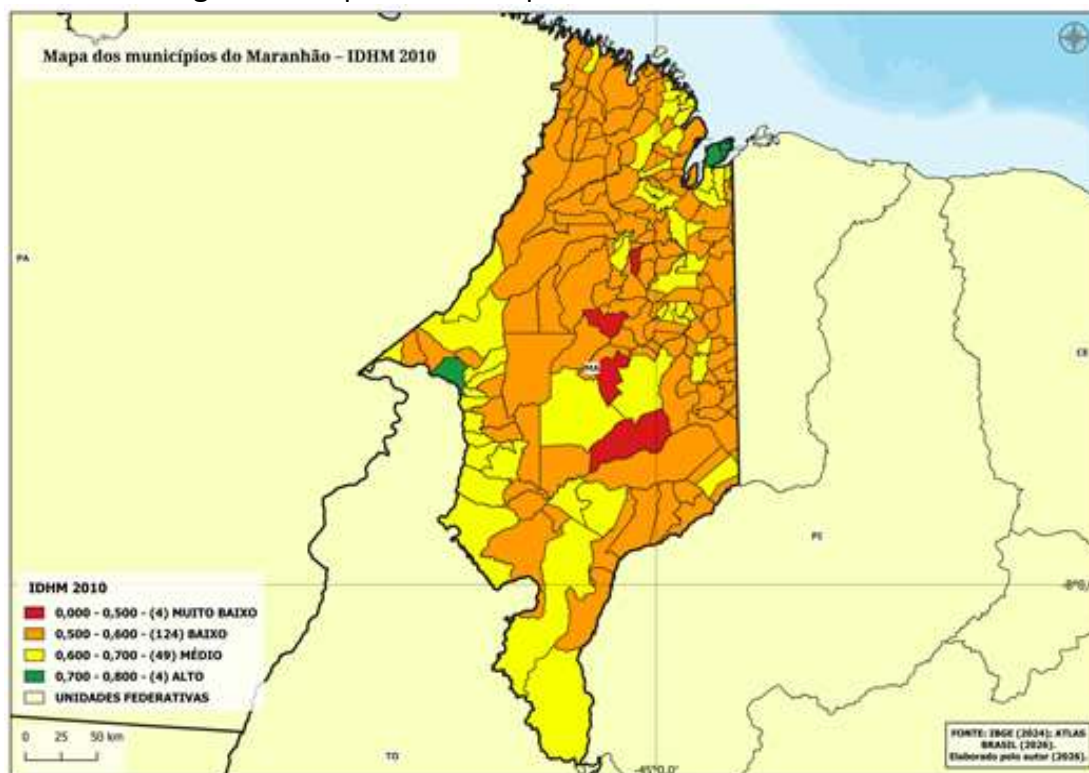
No Amazonas (Figura 5 e 6), a penalização modifica substancialmente a distribuição dos municípios entre os níveis de IDHM. O número de municípios classificados com o desenvolvimento Muito Baixo aumenta de 8 para 19 entes municipais, enquanto o nível de IDHM Baixo diminui de 39 para 33 municípios. Simultaneamente, a quantidade de municípios classificados com o desenvolvimento Médio reduz de 14 para 9 entes, permanecendo apenas 1 município na faixa de desenvolvimento Alto em ambas as situações.

O Amazonas, com 13,27tCO₂e, apresenta um dos menores níveis de emissões por habitante entre as Unidades da Federação analisadas. Esse resultado está associado, em parte, à extensa cobertura florestal ainda preservada no território estadual e à forte concentração populacional e econômica em Manaus. A redistribuição demonstra que parte notável dos municípios originalmente classificados com o desenvolvimento Baixo e Médio passam a integrar o nível de desenvolvimento Muito Baixo após a incorporação das emissões de CO₂e.

Esse padrão pode ser contextualizado pelas dinâmicas de ocupação e transformação da cobertura vegetal discutidas na literatura, embora o indicador utilizado não permita identificar a contribuição específica de atividades legais ou ilegais para as emissões municipais, essa estratégia serve para influenciar uma outra dinâmica ao território. Embora Manaus concentre importante atividade industrial, as emissões de CO₂e provenientes do setor de Mudança do Uso da Terra continuam predominando na escala estadual, evidenciando que os custos ambientais do avanço da fronteira econômica são mais determinantes para a penalização do indicador do que as emissões industriais.

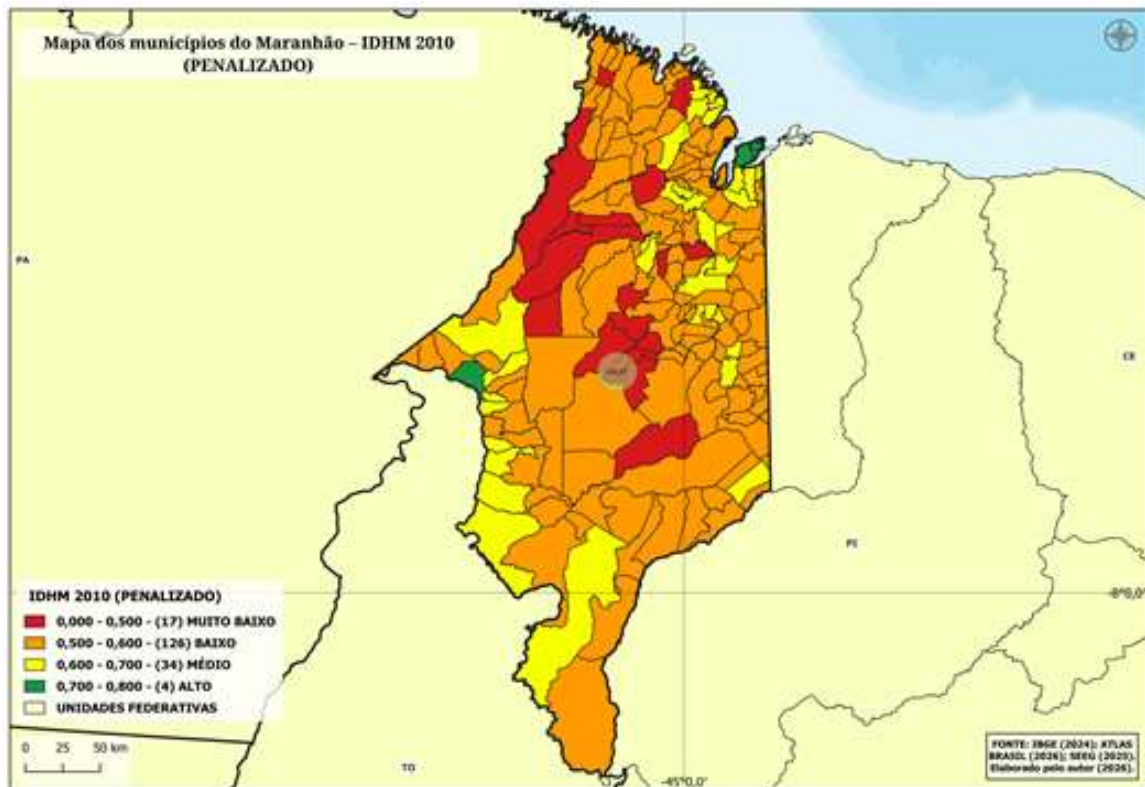
No Amazonas, a diferença entre a baixa emissão média estadual e a existência de municípios com valores *per capita* muito elevados evidencia a importância de não interpretar a média da UF como representação homogênea de seu território. Essa heterogeneidade dialoga com Fearnside (2022), ao considerar que as pressões sobre a floresta decorrem de diferentes processos de ocupação e transformação territorial. A Tabela 1 permite visualizar essa discrepância entre a média estadual e os municípios extremos. O resultado reforça, portanto, a necessidade de considerar a escala municipal para compreender a distribuição espacial das pressões.

Figura 7 - Mapa dos Municípios do Maranhão – IDHM 2010



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026). Organização: Autores, 2026.

Figura 8 - Mapa dos Municípios do Maranhão – IDHM 2010 (PENALIZADO)



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

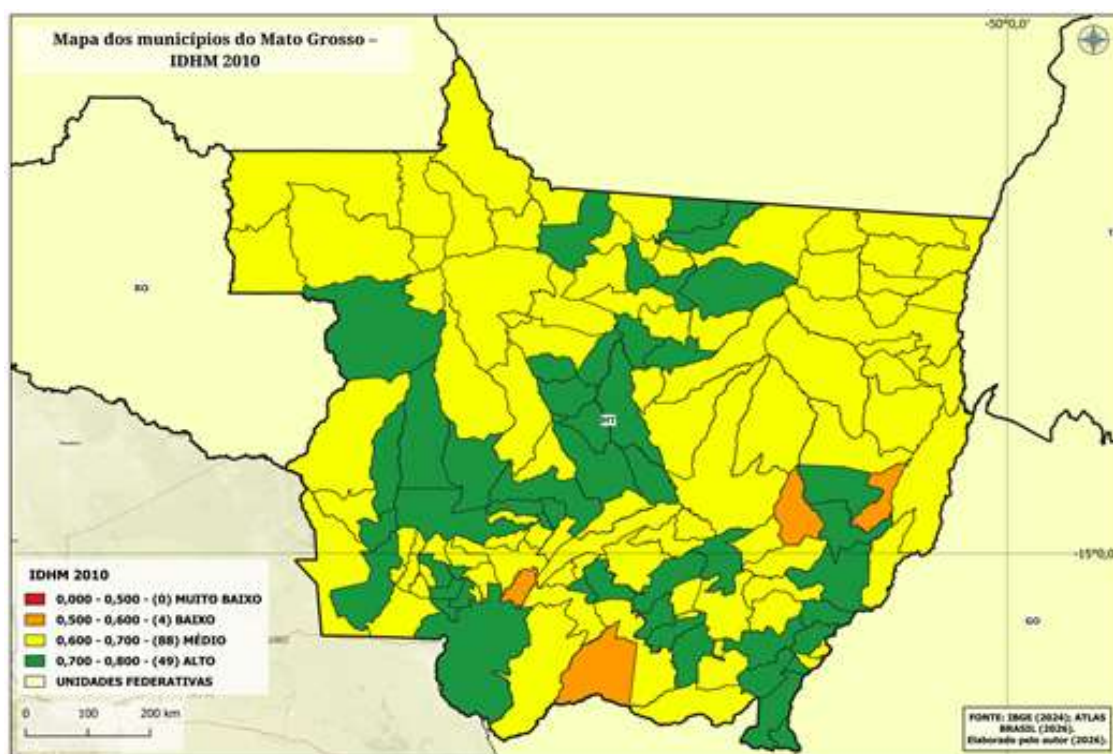
No Maranhão (Figura 7 e 8), a comparação evidencia uma alteração importante na estrutura do desenvolvimento municipal. Os municípios classificados com o IDHM Muito Baixo aumentam de 4 para 17 após a penalização, enquanto o nível de desenvolvimento Médio reduz de 49 para 34 municípios. A faixa de desenvolvimento Baixo permanece praticamente estável, aumentando discretamente de 124 para 126 municípios, ao passo que os municípios classificados como desenvolvimento Alto permanecem inalterados em 4 unidades municipais. O Maranhão se encontra em um patamar de 14,17tCO₂e por pessoa, indicando que suas emissões são moderadas à medida que seu desenvolvimento é pensado para uma UF que possui uma população considerável para a região da Amazônia Legal.

Os resultados demonstram que a incorporação das emissões de CO₂e associadas ao território produz uma alteração relevante na classificação do desenvolvimento humano de diversos municípios maranhenses. Esse comportamento pode ser contextualizado pelas transformações da cobertura vegetal e pela expansão da fronteira agropecuária em diversos municípios maranhenses, como já foi discutido. O modelo de produção do

agronegócio que influencia a fronteira agrária na região do MATOPIBA e sua posição de transição entre Amazônia e Cerrado favoreceram a rápida expansão da soja e da pecuária nas últimas décadas, tornando o setor de emissões MUT o principal responsável pelas emissões estaduais. O deslocamento de municípios para níveis inferiores, evidencia que uma parcela do desenvolvimento humano observado em 2010 coexistia territorialmente com níveis elevados de pressão ambiental medida pelas emissões de CO₂e.

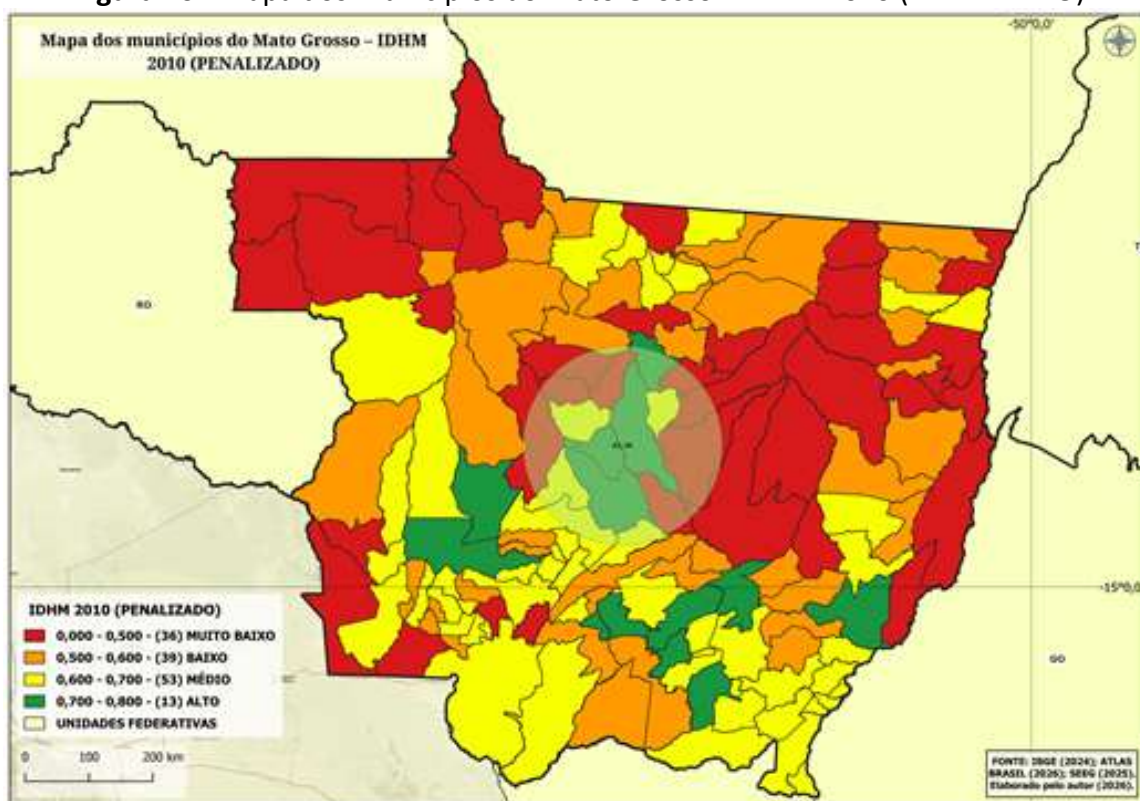
A posição do Maranhão nas tabelas evidencia uma situação intermediária: embora sua emissão *per capita* estadual seja inferior à de estados como Mato Grosso e Acre, a penalização modifica de forma expressiva a composição das classes municipais. Esse contraste pode ser relacionado a expansão das fronteiras produtivas e à transformação da cobertura vegetal, particularmente em áreas de transição entre diferentes dinâmicas territoriais. A comparação entre as tabelas demonstra, assim, que uma emissão estadual moderada não implica necessariamente baixa repercussão sobre a distribuição municipal do indicador. O resultado reforça a importância de analisar simultaneamente a intensidade das emissões e sua distribuição territorial.

Figura 9 - Mapa dos Municípios do Mato Grosso – IDHM 2010



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026). Organização: Autores, 2026.

Figura 10 - Mapa dos Municípios do Mato Grosso – IDHM 2010 (PENALIZADO)



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

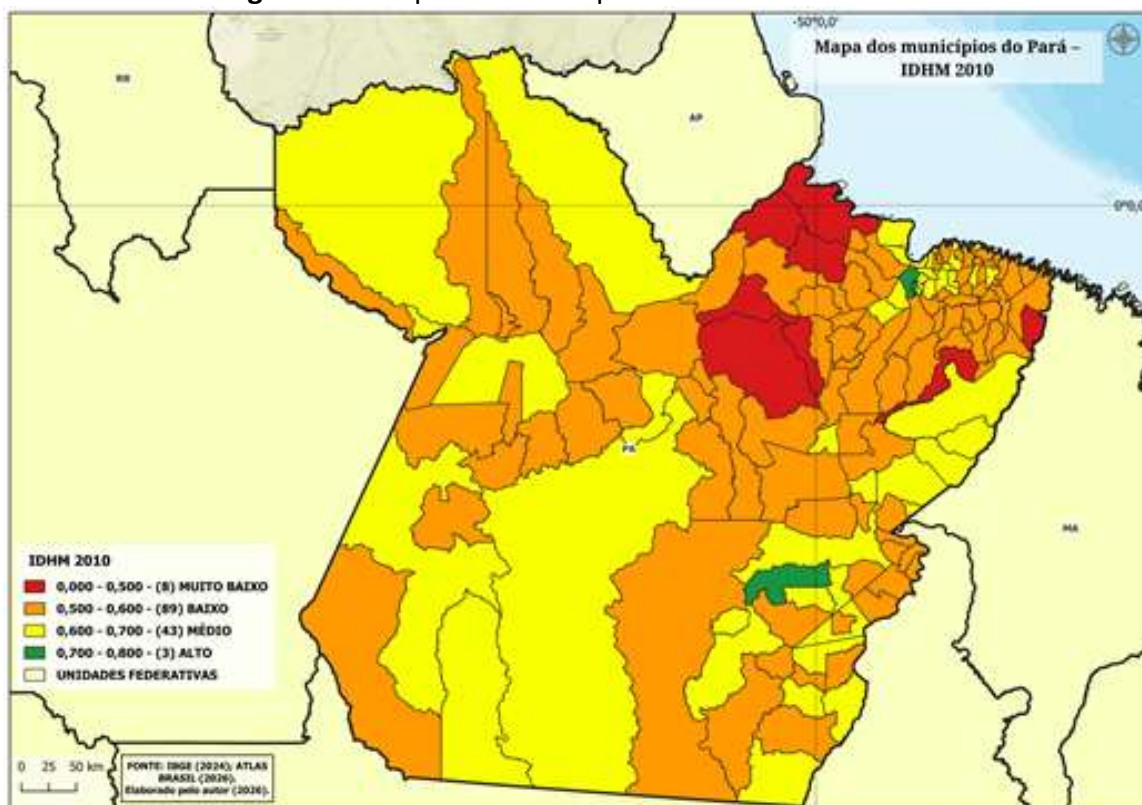
O Mato Grosso (Figura 9 e 10) apresenta a transformação mais expressiva entre todos os estados da Amazônia Legal. Enquanto o IDHM convencional não registrava nenhum município no nível de desenvolvimento Muito Baixo, a penalização elevou esse número para 36 municípios. O nível de desenvolvimento Baixo saltou, anteriormente registrava 4 entes, depois passou para 39 municípios, enquanto os municípios classificados com o nível de desenvolvimento Médio reduziram de 88 para 53 municípios. Antes de aplicar a penalização para o estado, o território revelou a maior emissão por habitante, com o valor de 81,46tCO₂e no ano de 2010. A alteração mais acentuada ocorre no nível de desenvolvimento Alto, que diminuiu drasticamente de 49 para 13 municípios.

Essa redistribuição demonstra que praticamente os municípios de destaque da UF que detinham níveis acima da média ideal do desenvolvimento humano para época sofreram um rebaixamento histórico quando incorporou os custos ambientais das emissões de CO₂e. Trata-se do estado em que a penalização produz a maior alteração na distribuição dos municípios entre as classes de desenvolvimento humano.

O resultado pode estar diretamente relacionado ao elevado protagonismo econômico do agronegócio, responsável pela intensa expansão das fronteiras de soja, milho, algodão e em especial a pecuária bovina. A conversão histórica da vegetação nativa consolidou o setor de Mudanças do Uso da Terra como principal emissor estadual, os resultados revelam a coexistência, de níveis elevados de desenvolvimento humano e elevada pressão ambiental medida pelas emissões *per capita*.

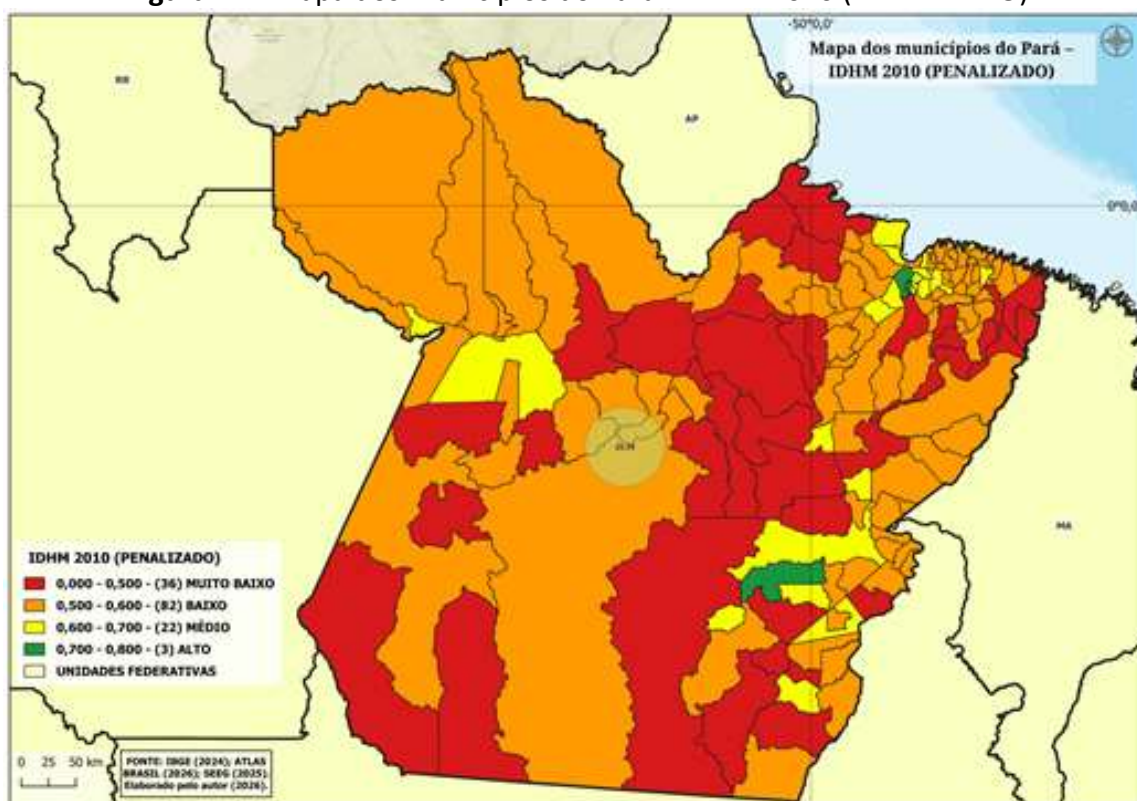
Conforme demonstram conjuntamente as duas tabelas, a configuração destaca a relevância da Mudança do Uso da Terra nas emissões associadas às transformações das fronteiras produtivas. A elevada emissão por habitante registrada na Tabela 1 ganha maior significado diante da forte redistribuição das classes apresentada na Tabela 2. Mais do que indicar apenas uma alteração quantitativa, esse resultado evidencia a dimensão ambiental como elemento capaz de modificar substancialmente a leitura territorial do desenvolvimento humano.

Figura 11 - Mapa dos Municípios do Pará – IDHM 2010



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026). Organização: Autores, 2026.

Figura 12 - Mapa dos Municípios do Pará – IDHM 2010 (PENALIZADO)



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

O Pará (Figura 11 e 12) também apresenta alterações profundas na distribuição municipal do desenvolvimento humano. O número de municípios classificados com o IDHM Muito Baixo aumentou de 8 para 36 entes, enquanto isso o nível de desenvolvimento Médio sofre redução de 43 para 22 municípios. O nível de desenvolvimento Baixo apresenta pequena redução de 89 para 82 municípios, enquanto os municípios classificados com o nível de desenvolvimento Alto permanecem constantes em 3 unidades municipais.

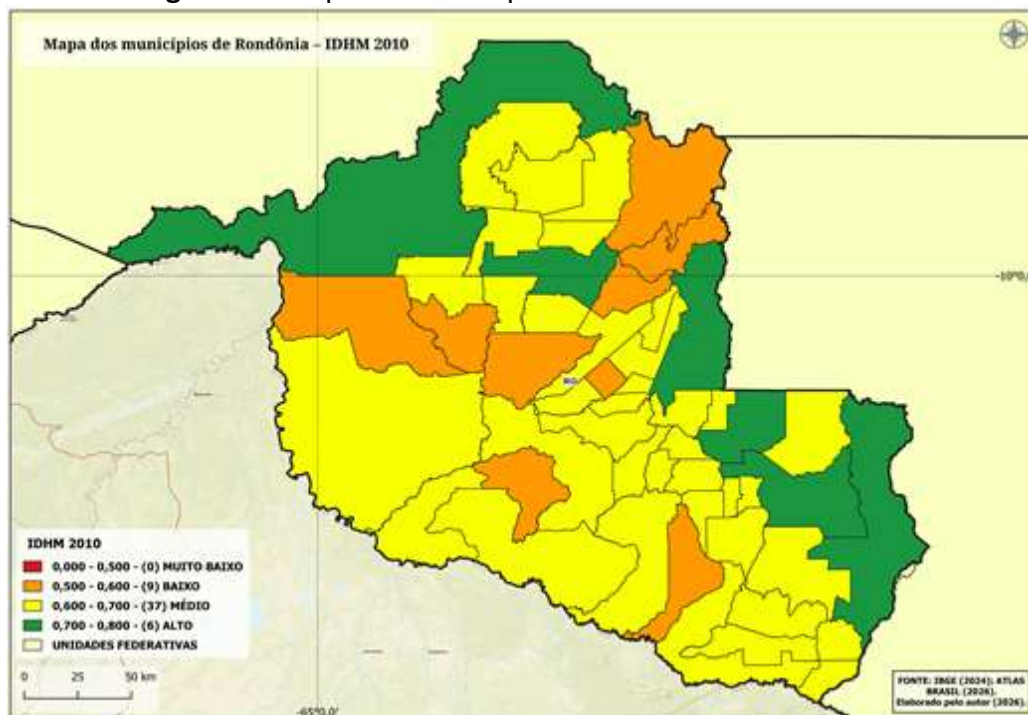
O Pará apresenta um nível intermediário de emissões *per capita*, registrando 25,59tCO₂e por habitante. A elevada densidade demográfica, associada à diversidade de sua estrutura econômica, contribui para uma distribuição das emissões entre diferentes atividades produtivas. Nesse contexto, embora diversos setores possuam importante participação na economia estadual, as emissões não se concentram exclusivamente em uma única atividade, refletindo a complexidade da estrutura produtiva paraense.

A expressiva ampliação do nível de desenvolvimento Muito Baixo demonstra que a penalização incide principalmente sobre municípios anteriormente classificados como

desenvolvimento Médio. Esse comportamento acompanha a estrutura econômica paraense, fortemente marcada pela coexistência da mineração, exploração madeireira, pecuária extensiva e expansão da agricultura mecanizada. Entretanto, assim como nos demais estados do Arco do Desmatamento, o setor de emissões MUT continua sendo o principal responsável pelas emissões territoriais. A distribuição observada ocorre em um contexto econômico marcado pela coexistência de mineração, exploração madeireira, pecuária e agricultura, enquanto a literatura destaca a importância da conversão florestal nas pressões ambientais da região.

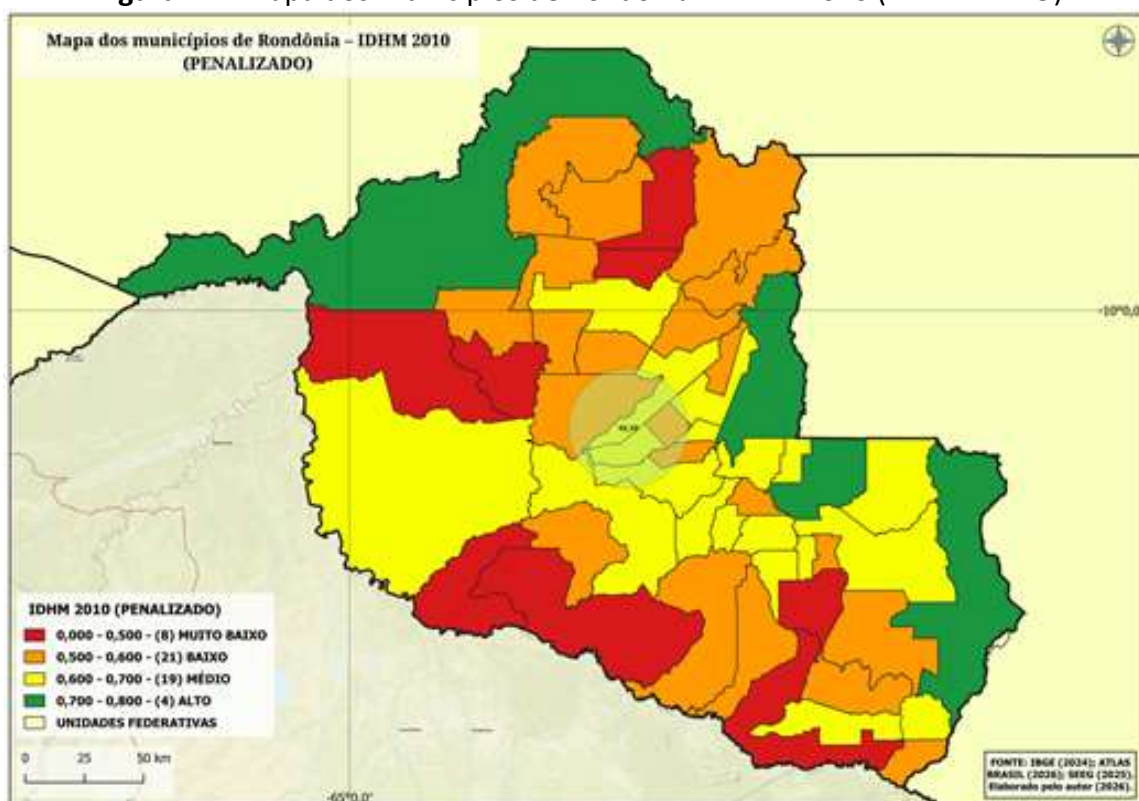
A relação entre as tabelas revela que uma emissão *per capita* intermediária em comparação com outras UFs não impede uma forte transformação da distribuição municipal do desenvolvimento. Esse comportamento é pertinente à discussão de Costa (2011) sobre a relação entre mercado de terras, dinâmica econômica e utilização da base natural, bem como sobre a transformação territorial amazônica. A combinação entre os valores da Tabela 1 e a redistribuição apresentada na Tabela 2 sugere que a pressão ambiental não deve ser compreendida apenas pela média estadual, mas também pela forma como se distribui entre os municípios. Assim, a análise municipal acrescenta heterogeneidade a uma leitura que seria menos evidente pela média da UF.

Figura 13- Mapa dos Municípios de Rondônia – IDHM 2010



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026). Organização: Autores, 2026.

Figura 14 - Mapa dos Municípios de Rondônia – IDHM 2010 (PENALIZADO)



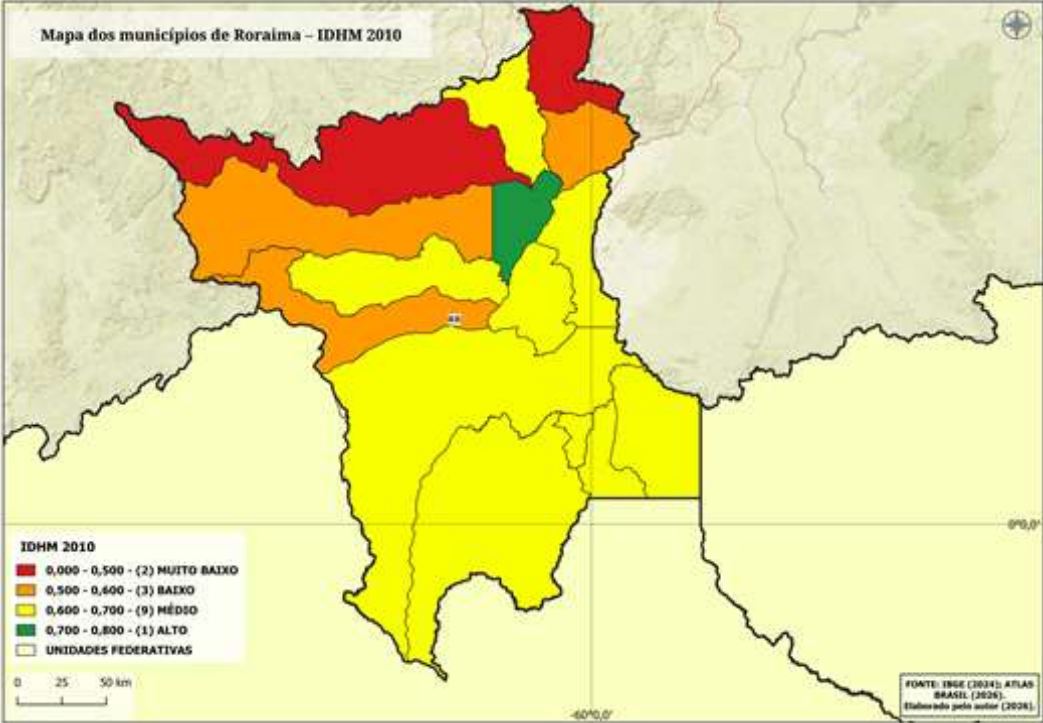
Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

Rondônia (Figura 13 e 14) ocupa a terceira posição e fecha o pódio com 49,39tCO₂e por habitante. O IDHM penalizado promove a redistribuição dos municípios entre os níveis de desenvolvimento. Enquanto não havia municípios classificados como desenvolvimento Muito Baixo no indicador convencional, a penalização eleva esse quantitativo para 8 municípios. O nível de desenvolvimento Baixo aumenta de 9 para 21 municípios, enquanto os municípios classificados com o nível de desenvolvimento Médio diminuem de 37 para 19. A faixa de desenvolvimento Alto sofre pequena redução, passando de 6 para 4 municípios.

O comportamento evidencia que a maior parte dos municípios rondonienses apresenta redução do valor do indicador quando as emissões de CO₂e são incorporadas ao cálculo do desenvolvimento humano. A explicação encontra respaldo na própria formação econômica do estado, caracterizada pela colonização agrícola, expansão da pecuária e intenso desmatamento institucionalizado pela ditadura-empresarial-militar ocorrido desde as décadas de 1970 e 1980. Atualmente, Rondônia constitui uma fronteira

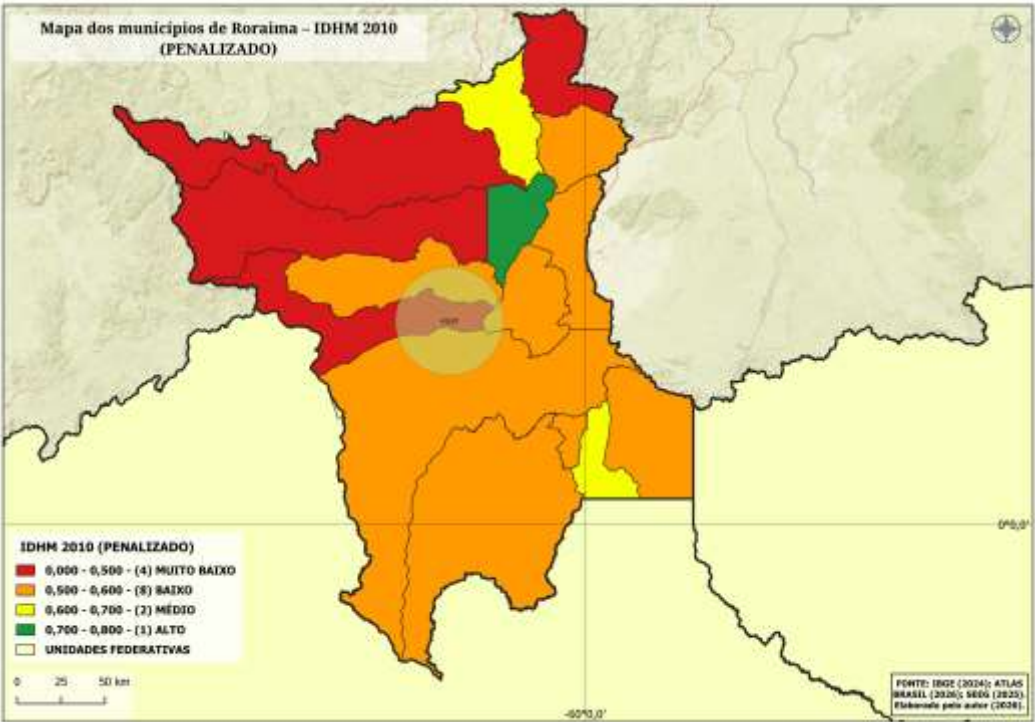
agrícola consolidada, na qual o setor de emissões MUT e o fronteira da agropecuária permanecem como os principais responsáveis pela penalização observada no indicador.

Figura 15 - Mapa dos Municípios de Roraima – IDHM 2010



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026). Organização: Autores, 2026.

Figura 16 - Mapa dos Municípios de Roraima – IDHM 2010 (PENALIZADO)



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

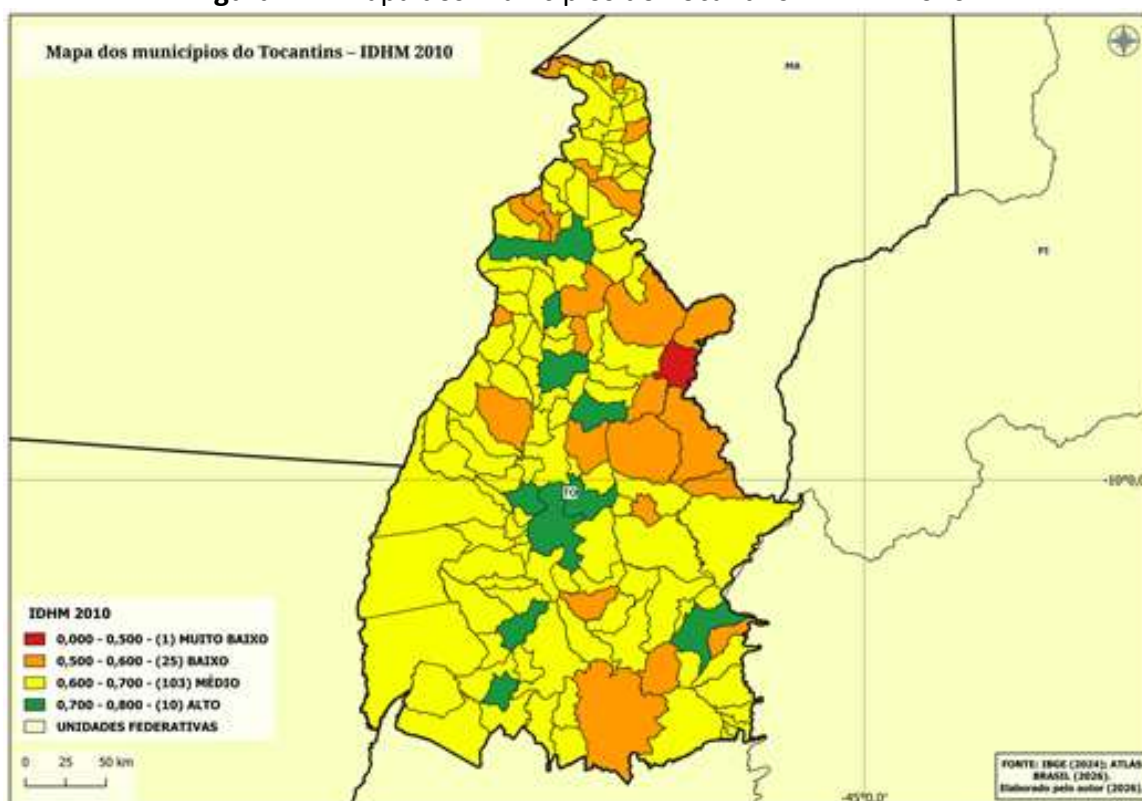
Roraima (Figura 15 e 16) apresenta alterações proporcionais relevantes, embora envolvam um pequeno número absoluto de municípios. Os municípios classificados com o nível de desenvolvimento Muito Baixo aumentam de 2 para 4 entes, enquanto o nível de desenvolvimento Baixo cresce de 3 para 8 municípios.

Em contrapartida, a faixa de desenvolvimento Médio reduz de 9 para apenas 2 municípios, permanecendo apenas 1 município no nível de desenvolvimento Alto. Em 2010, o estado possuía a menor população total no Censo do IBGE, entre todas as UF's analisadas na região (e também no Brasil). Roraima ostenta uma posição infeliz no quadro geral com 43,87tCO₂e por habitante, o resultado indica que a elevada pressão ambiental, cuja interpretação deve considerar a reduzida população estadual.

A literatura utilizada sobre as dinâmicas amazônicas permite contextualizar a importância das transformações territoriais, mas a especificidade observada em Roraima reforça que indicadores agregados precisam ser interpretados considerando a estrutura demográfica de cada UF. Embora o estado apresente uma intensidade econômica moderada quando comparado aos demais integrantes da Amazônia Legal, a penalização demonstra que municípios originalmente classificados com o nível de desenvolvimento Médio apresentam elevada sensibilidade quando incorporadas as emissões de CO₂e.

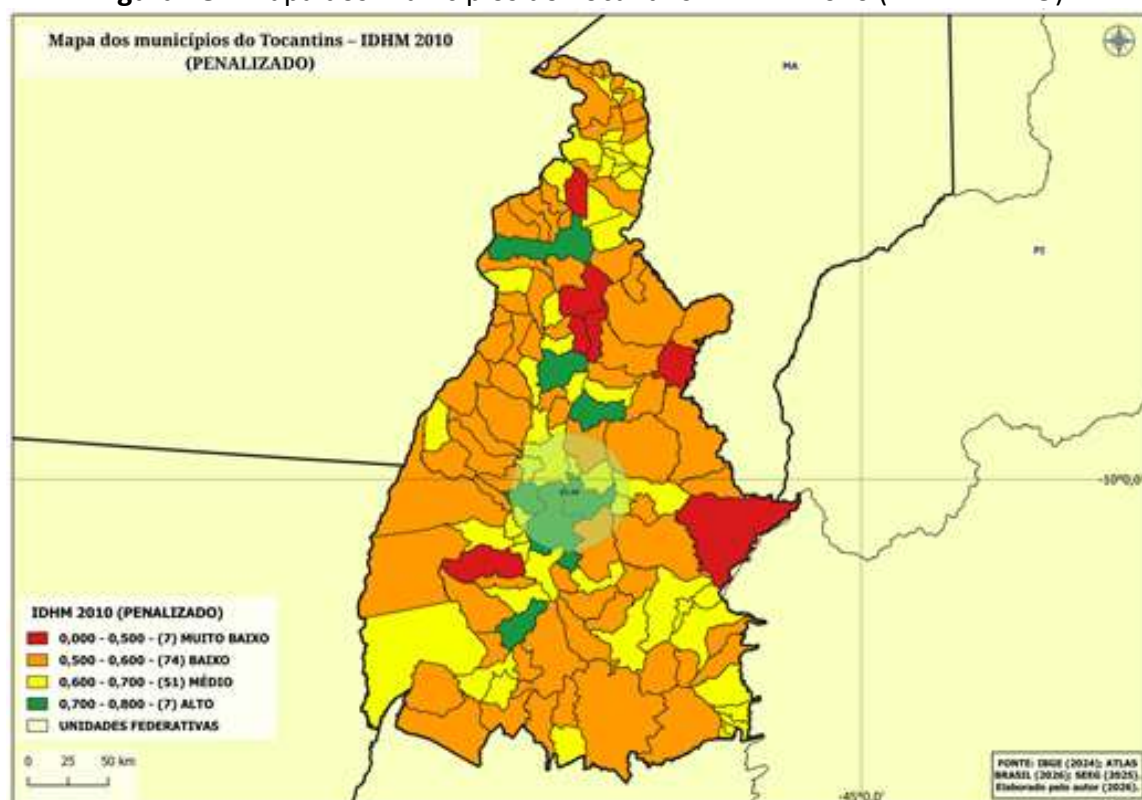
Ainda que esse comportamento não decorra de uma economia fortemente industrializada ou com uma atuação mais intensa dos setores do agronegócio, uma hipótese que paira sobre, é de que há um entendimento comum que a influência econômica dos estados vizinhos passe a fazer parte do projeto de desenvolvimento de Roraima e que possua os mesmos setores econômicos, essa expansão geralmente está atrelada ao setor de emissões de mudanças do uso da terra, mesmo que haja uma pequena quantidade de municípios a concentração espacial de altas emissões pode vir a ser significativa ao longo dos próximos anos.

Figura 17 - Mapa dos Municípios do Tocantins – IDHM 2010



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026). Organização: Autores, 2026.

Figura 18 - Mapa dos Municípios do Tocantins – IDHM 2010 (PENALIZADO)



Fonte: Base Cartográfica do IBGE (2024); Atlas Brasil (2026); SEEG (2025). Organização: Autores, 2026.

O Tocantins (Figura 17 e 18) apresenta uma das redistribuições mais intensas entre os estados analisados. O número de municípios classificados com o nível de desenvolvimento Baixo praticamente triplica, passando de 25 para 74 municípios. Paralelamente, os municípios classificados com o nível de desenvolvimento Médio reduzem de 103 para 51, enquanto o nível de desenvolvimento Muito Baixo aumenta de 1 para 7 municípios.

A faixa de desenvolvimento Alto apresenta pequena redução, passando de 10 para 7 municípios. O Tocantins apresenta um nível alto de externalização (43,49tCO₂e), infelizmente por ser mais um estado que compõe uma faixa populacional considerada baixa, as atividades econômicas que geram renda apresentam custos ambientais expressivos de carbono por habitante na UF e na Amazônia Legal.

Esses resultados evidenciam que grande parte dos municípios tocantinenses experimentam um decréscimo notável dos níveis de desenvolvimento humano quando considerados os custos ambientais das emissões de CO₂e. Tal comportamento acompanha o fortalecimento da fronteira agrícola do MATOPIBA e a rápida expansão da agricultura empresarial baseada na soja, associada à pecuária extensiva e à conversão da vegetação nativa do Cerrado. Embora parte do estado esteja situada fora do bioma Amazônico, sua inserção na Amazônia Legal faz com que compartilhe os mesmos processos de expansão das fronteiras econômicas observados em Mato Grosso, Maranhão e Pará. O setor de Mudança do Uso da Terra, portanto, continua sendo o principal responsável pela penalização observada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que a proposta exploratória de incorporação das emissões de CO₂e *per capita* ao IDHM modifica de forma expressiva a leitura do desenvolvimento humano nos municípios da Amazônia Legal. A penalização é mais intensa no Mato Grosso, Pará, Rondônia, Maranhão e Tocantins, estados associados às principais frentes de expansão agropecuária e transformação da cobertura vegetal, onde municípios das classes Médio e Alto deslocam-se para categorias inferiores. Esse comportamento evidencia que diferentes trajetórias econômicas produzem distintos níveis de pressão

ambiental e que o IDHM, analisado isoladamente, pode não revelar os custos ambientais associados ao desenvolvimento territorial.

Nesse sentido, o IDHM penalizado constitui uma proposta exploratória para incorporar a dimensão climática à análise do desenvolvimento humano e evidenciar diferenças territoriais menos perceptíveis no indicador convencional. A abordagem permite relacionar desenvolvimento, estrutura econômica e pressões ambientais, mas seus resultados devem ser interpretados à luz das limitações do estudo, especialmente o recorte temporal de 2010 e a dependência do método de normalização.

A proposta também poderá ser ampliada futuramente com a incorporação da pegada material, permitindo aprofundar a avaliação das pressões associadas aos processos de desenvolvimento, ajustar a intensidade das emissões e ampliar a dimensão ambiental incorporada ao indicador. Ainda assim, a principal contribuição do estudo está em demonstrar que a incorporação das emissões altera a interpretação espacial do desenvolvimento humano e revela desigualdades imperceptíveis no IDHM, identificando territórios nos quais a expansão das capacidades humanas ocorre simultaneamente à intensificação das pressões sobre a cobertura vegetal e o sistema climático.

Por fim, os resultados reforçam a necessidade de aprofundar a construção de indicadores que integrem dimensões sociais, econômicas e ambientais. Pesquisas futuras poderão ampliar a série temporal, testar diferentes métodos de normalização, incorporar outras dimensões da pressão ambiental e aperfeiçoar a análise para contornar incertezas. A aplicação de técnicas de estatística espacial poderá ainda contribuir para identificar padrões de concentração das pressões ambientais e avaliar a robustez da proposta em diferentes contextos territoriais.

AGRADECIMENTOS

Palavras iniciais – DESENVOLVIMENTO HUMANO AJUSTADO ÀS EMISSÕES: UMA ANÁLISE SOBRE A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NA AMAZÔNIA LEGAL. O presente artigo faz parte da pesquisa em andamento no curso de Mestrado em Geografia — Programa de Mestrado e Doutorado em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Financiamento: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, (CNPq) pela concessão de bolsa de pesquisa.

Financiamento: Ao Conselho Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, (CAPES) pela bolsa de pós-doutoramento.

REFERÊNCIAS

COSTA, F. A. Políticas de contenção de desmatamento, produção e mercado de terras na Amazônia: um ensaio sobre a economia local do sudeste paraense usando contas sociais alfa (CSα). **Estudos Econômicos** (São Paulo), v. 41, n. 3, p. 621-646, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-41612011000300006>. Acesso em: 16 de jan. 2026.

FEARNSIDE, P. M. Destruição e conservação da floresta amazônica. **Manaus: Editora do INPA, 2022.** Disponível em: http://www.conservation.org.br/publicacoes/megadiversidade/16_Fearnside.pdf. Acesso em: 26 de jan. 2026.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Áreas Especiais: cadastro de municípios localizados na Amazônia Legal. Brasil/IBGE.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?edicao=43762>. Acesso em: 12 de ago. 2025.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2023. **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. . [S.I.]: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 25 jul. 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 27 de jul. 2025.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Resultados do Quarto Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa. [2021].** Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1133061/1/final9694.pdf>. Acesso em: 19 de nov. 2025.

OLIVEIRA, R. A. **Desenvolvimento Regional Sustentável dos Municípios da Amazônia Legal: Análise de Políticas Públicas.** Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGMAD), Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Porto Velho, 2016. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4914509. Acesso em: 09 de abr. 2026.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Relatório do desenvolvimento humano 2020 A próxima fronteira - O desenvolvimento humano e o

antropoceno. **Erscheinungsort nicht ermittelbar: United Nations, 2021.** Disponível em: <https://www.undp.org/pt/angola/publications/relatorio-do-desenvolvimento-humano-2020-proxima-fronteira-o-desenvolvimento-humano-e-o-antropoceno>. Acesso em: 12 de nov. 2025.

ROCKSTRÖM, J. *et al.* Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. **Ecology and Society**, v. 14, n. 2, p. 32, 2009. Disponível em: <https://www.stockholmresilience.org/download/18.8615c78125078c8d3380002197/1459560331662/ES-2009-3180.pdf>. Acesso em: 01 de nov. 2025.

ROY, *et al.* Human development at the cost of the environment? — an application of planetary pressures—adjusted human development index in the lens of planetary boundaries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 32383–32405, dez. 2022 (emitido em mar. 2023). DOI: 10.1007/s11356-022-24399-2. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-24399-2>. Acesso em: 12 de fev. 2026.

TSAL, D. *et al.* Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970-2024. **SEEG, 2025.** Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2026.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Adoption of the Paris agreement: draft decision-/CP.21: proposal by the presidente. Genebra: UNFCCC, 2015. **Documento adotado na 21a Conferência das Partes (COP1) da UNFCCC, Paris, 2015.** Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>. Acesso em: 07 de mai. 2025.

Recebido: 24/08/2026 Publicado: 30/09/2026

Editor Geral: Dr. Eliseu Pereira de Brito