



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRANSPORTES E GESTÃO DAS INFRAESTRUTURAS URBANAS

ALAN MONTEIRO BORGES

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE CORREDORES DE TRANSPORTES NO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AMAZÔNIA LEGAL**

Recife
2025

ALAN MONTEIRO BORGES

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE CORREDORES DE TRANSPORTES NO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AMAZÔNIA LEGAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas

Orientador: Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade

Recife

2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Borges, Alan Monteiro.

Avaliação dos impactos de corredores de transportes no desenvolvimento sustentável da Amazônia Legal / Alan Monteiro Borges. - Recife, 2025.
242f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2025.

Orientação: Maurício Oliveira de Andrade.

Inclui referências e apêndices.

1. Corredores de transportes; 2. Amazônia Legal; 3. Desenvolvimento sustentável; 4. Indicadores de Desenvolvimento. I. Andrade, Maurício Oliveira de. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

ALAN MONTEIRO BORGES

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE CORREDORES DE TRANSPORTES NO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AMAZÔNIA LEGAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas.

Aprovada em 28/07/2025

Orientador: Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade, UFPE

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência

Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira (examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência

Prfof.^a Dr.^a Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro (examinadora externa)
Universidade Federal do Amazonas

participação por videoconferência

Prof. Dr. Daniel Nogueira Silva (examinador externo)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

participação por videoconferência

Prof. Dr. Rafael Amorim Viana de Moura (examinador externo)
Universidade Federal do Vale do São Francisco

participação por videoconferência

Prof. Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado (examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a minha mãe, Ana Maria Monteiro, que sob o forte sol amazônico, fez-me chegar até aqui, na sombra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida, pela sabedoria e pelas oportunidades que me permitiram trilhar esta caminhada.

À minha família, meu alicerce, por todo amor e apoio incondicional. Em especial à minha mãe, Ana Maria, pela força, pelos ensinamentos e pelo exemplo de dedicação. Aos meus irmãos, irmãs e sobrinhos (as) - que, mesmo invadindo meu quarto nos momentos de escrita, me proporcionaram sorrisos e leveza nos dias mais difíceis. Aos meus avós, tios, tias, primos e primas, que sempre me cercaram de carinho, confiança e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Maurício, expressei profunda gratidão pela orientação cuidadosa, paciência e pelas contribuições fundamentais ao longo de todo o doutorado. Sua escuta atenta e críticas construtivas foram essenciais para a consolidação deste trabalho. Aos membros da banca examinadora, agradeço pelas valiosas sugestões que enriquecerão a pesquisa.

Agradeço ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFPE) pelo valioso conhecimento compartilhado ao longo da minha trajetória acadêmica. Em especial, registro minha gratidão aos Professores Leonardo e Anísio, cujas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Estendo meus agradecimentos à secretaria do PPGEC, pelo suporte atencioso e eficiente em todas as etapas do doutorado.

Aos colegas e amigos que o PPGEC me apresentou - não citarei nomes (a lista é longa), mas saibam que muitos de vocês deixaram marcas profundas. As amizades construídas foram, sem dúvida, uma das maiores conquistas dessa jornada.

Sou profundamente grato aos amigos Jr Cortinhas e Nina, que, mesmo à distância, nunca deixaram de me apoiar com palavras de incentivo e amizade constante. São quase duas décadas de convivência e durante esse tempo ambos acompanharam, como poucos, diversas etapas da minha vida pessoal e acadêmica. Às amigas de vida e profissão, Nuria e Lygia, minha gratidão por acreditarem no meu potencial, especialmente nos momentos mais desafiadores.

Agradeço à minha irmã paraense de Abaetetuba, Ana Carla, que a vida me apresentou no Recife. Muito obrigado pela parceria acadêmica, pelas trocas generosas de conhecimento e pelos momentos de alegria compartilhados ao longo dessa jornada.

Ao meu companheiro de vida, André, que esteve ao meu lado em todos os momentos, compartilhando alegrias, incertezas e cansaços. Sua presença, paciência e palavras encorajadoras foram meu porto seguro.

Por fim, deixo meu sincero agradecimento a todos e todas que, de alguma forma, estiveram comigo nesta trajetória, contribuindo, apoiando e acreditando neste projeto.

Muito obrigado!

RESUMO

A Amazônia ocupa uma posição central nos debates globais, devido principalmente à sua importância ambiental. Compreender os impactos da implantação e operação de grandes infraestruturas de transporte é essencial para fomentar um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável na região. Esta pesquisa integra análise exploratória de dados e modelagem espacial, por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), para avaliar de forma comparativa, os impactos socioeconômicos e ambientais de 206 municípios situados ao longo dos mais importantes corredores de transporte da Amazônia Legal: a Hidrovia Solimões-Amazonas, a Rodovia Cuiabá-Santarém e as Ferrovias Norte-Sul e Carajás. A análise abrange um período de mais de três décadas (1990-2021), permitindo identificar dinâmicas temporais e tendências regionais. A partir dos resultados da ACP, observou-se que os três primeiros componentes principais (CP1, CP2 e CP3) concentraram, cerca de 67,79% de explicação cumulativa da variância dos dados. Assim foi desenvolvido o Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM), classificados em cinco categorias quanto ao nível de sustentabilidade: “Muito baixo”, “Baixo”, “Intermediário”, “Alto” e “Muito alto”. Os resultados indicam uma perda significativa de áreas florestais ao longo dos corredores de transportes rodoviário e ferroviário, acompanhada pelo avanço da agropecuária. No entanto, nesses dois corredores, observa-se uma relativa estabilidade na proporção de municípios classificados com níveis “Intermediário” e “Alto”, associada a uma maior integração multimodal, avanços no IDHM, expansão da urbanização e diversificação econômica. Por outro lado, a situação dos municípios atravessados pela Hidrovia Solimões-Amazonas é preocupante, com cerca de 93% deles classificados com nível “Muito baixo” ou “Baixo” em 2010 e 2021. A baixa diversificação econômica, as dificuldades logísticas e os desafios sociais persistentes contribuem para essa vulnerabilidade dos municípios da hidrovia, destacando a necessidade de políticas públicas mais eficazes para reverter esse quadro. Ao integrar múltiplas variáveis e abordar diferentes realidades municipais na Amazônia, esta pesquisa oferece subsídios para o aprimoramento da engenharia territorial e para a formulação de estratégias que conciliem crescimento econômico, equidade social e conservação ambiental. Os resultados reforçam a importância do planejamento integrado das infraestruturas de transporte, garantindo que seu impacto promova um desenvolvimento sustentável e minimize os efeitos adversos sobre os territórios amazônicos.

Palavras-chave: Corredores de transportes; Amazônia Legal; Desenvolvimento sustentável; Indicadores de Desenvolvimento.

ABSTRACT

Amazon is central to global debates, primarily due to its environmental significance. Understanding the impacts of implementing and operating large-scale transportation infrastructure is essential to promote more balanced and sustainable development in the region. This research integrates exploratory data analysis and spatial modeling, using Principal Component Analysis (PCA), to comparatively assess the socioeconomic and environmental impacts across 206 municipalities located along the most significant transportation corridors in the Legal Amazon: The Solimões-Amazonas Waterway, the Cuiabá-Santarém Highway, and the North-South and Carajás Railways. The analysis covers a period of over three decades (1990–2021), allowing for the identification of temporal dynamics and regional trends. Based on the PCA results, the first three principal components (PC1, PC2, and PC3) accounted for approximately 67.79% of the cumulative variance in the data. From these findings, the Sustainability Index for Amazonian Municipalities (ISMAM) was developed, classifying them into five categories of sustainability: “Very Low”, “Low,” “Intermediate,” “High,” and “Very High.” The results indicate significant forest area loss along the highway and railway corridors, accompanied by the expansion of livestock farming. However, in these two corridors, there is relative stability in the proportion of municipalities classified at “Intermediate” and “High” levels, associated with greater multimodal integration, improvements in the Human Development Index (HDI), urbanization growth, and economic diversification. On the other hand, the situation of municipalities along the Solimões-Amazonas Waterway is concerning, with around 93% classified as “Very Low” or “Low” in both 2010 and 2021. Low economic diversification, logistical difficulties, and persistent social challenges contribute to the vulnerability of these municipalities, emphasizing the need for more effective public policies to reverse this scenario. By integrating multiple variables and addressing diverse municipal realities in the Amazon, this study provides valuable insights for improving territorial planning and formulating strategies that balance economic growth, social equity, and environmental conservation. The results reinforce the importance of integrated transportation infrastructure planning to ensure its impact fosters sustainable development and minimizes adverse effects on Amazonian territories.

Keywords: Transportation corridors; Legal Amazon; Sustainable development; Development indicators.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Acre
ACP	Análise de Componentes Principais
AM	Amazonas
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
AP	Amapá
BM	Banco Mundial
BR	Brasil
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COVID-19	Corona Virus Disease
CP	Componente Principal
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DOI	Digital Object Identifier
EF	Estrada de Ferro
ENID	Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento
ESG	Environmental, Social, and Governance
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICLEI	International Council for Local Environmental Initiatives
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IIRSA	Integração da Infraestrutura Regional Sul-Americana
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Ipea	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISMAM	Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia
km	Quilômetro
m	Metro
MA	Maranhão
MATOPIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
Max.	Máximo

Min.	Mínimo
MT	Mato Grosso
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Pará
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PAS	Plano Amazônia Sustentável
PDS	Programa de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido
PDSA	Programa de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia
PIB	Produto Interno Bruto
PILPI	Plano Integrado de Longo Prazo para a Infraestrutura
PIN	Plano de Integração Nacional
PNDR	Política Nacional de Desenvolvimento Regional
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPP	Parceria Público Privado
PRDA	Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia
Qu.	Quartil
RH	Região Hidrográfica
RJ	Rio de Janeiro
RO	Rondônia
RR	Roraima
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPEVEA	Plano de Valorização Econômica da Amazônia
SUDAM	Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TBL	Triple Bottom Line
TO	Tocantins
UF	Unidade da Federação
ZFM	Zona Franca de Manaus

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Apresentação do problema	16
1.2 Justificativas e motivações	20
1.3 Pergunta condutora da Tese	25
1.4 Hipótese	25
1.5. Objetivo Geral	25
1.6. Objetivos Específicos	25
1.7. Inovação Contribuições Desta Tese	26
1.8. Delimitações, Limitações e Estrutura de Apresentação Desta Pesquisa	27
2. REVISÃO DA LITERATURA	28
2.1. Análise bibliométrica.....	28
2.2. Referencial teórico	40
2.2.1. Considerações gerais sobre desenvolvimento	40
2.2.2. Considerações gerais sobre desenvolvimento regional sustentável	42
2.2.3. Influência dos corredores de transportes no desenvolvimento sustentável	47
2.2.4. Planos e programas de fomento a infraestruturas na Amazônia.....	50
3. CORREDORES DE TRANSPORTE NA AMAZÔNIA.....	68
3.1. Considerações ambientais, culturais e sociais da Amazônia Legal.....	68
3.2. Considerações Gerais sobre os Corredores de Transportes da Amazônia Legal..	71
3.3. Apresentação da Área de Estudo	75
3.3.1. Características Gerais do Corredor Rodoviário	79
3.3.2. Características gerais do corredor hidroviário	81
3.3.3. Características gerais do corredor ferroviário	83
3.4. Justificativas da Escolha dos Três Corredores	85
4. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	88
4.1. Desenho da Pesquisa.....	88
4.2. Coleta de Dados e Características das Variáveis.....	90
4.3. Ferramentas Computacionais Utilizadas na Análise dos Dados	94
4.4. Análise Exploratória dos Dados	96
4.5. Análise Espacial	97
4.6. Testes estatísticos preliminares	98
4.7. Análise de Componentes Principais (ACP)	101
4.8. Construção do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM)	106
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	111
5.1. Análise Temporal e Descritiva por Corredor	111

5.1.1. Análise Descritiva Preliminar.....	111
5.1.2. Produto Interno Bruto Per Capita	119
5.1.3. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM.....	124
5.1.4. Densidade Populacional	125
5.1.5. Percentual de Área Ocupada por Florestas.....	127
5.1.6. Percentual de Área Urbana	131
5.1.7. Percentual de Área Queimada Anual.....	133
5.1.8. Percentual de Área Desmatada Anual	134
5.1.9. Área de Uso do Solo para a Agropecuária (pastagem e agricultura).....	135
5.2. Testes estatísticos preliminares	138
5.2.1 Verificação de <i>Outliers</i> : Distância de Mahalanobis	139
5.2.2. Teste de Esfericidade de Bartlett	147
5.2.3. Teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)	148
5.2.4. Determinante da Matriz de Correlação.....	149
5.3. Análise de Componentes Principais (ACP).....	162
5.3.1. Autovalor das Componentes Principais.....	162
5.3.2. Comunalidades de Cada Variável	163
5.3.3. Matriz de Componentes (ou Cargas Fatoriais).....	166
5.4. Apresentação do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM)	167
5.4.1. Análise temporal da distribuição do ISMAM nos corredores de transportes.....	169
5.4.2. Distribuição do ISMAM em 1990	170
5.4.3. Distribuição do ISMAM em 2000	173
5.4.4. Distribuição do ISMAM em 2010	176
5.4.5. Distribuição do ISMAM em 2021	180
5.4.6. ISMAM para o corredor hidroviário nas três décadas.....	184
5.4.7. ISMAM para o corredor rodoviário nas três décadas.....	187
5.4.8. ISMAM para o corredor ferroviário nas três décadas	190
5.4.9. Validação do ISMAM e a correlação com outros indicadores	193
5.5. Síntese Analítica dos Achados Empíricos.....	196
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	200
REFERÊNCIAS	204
APÊNDICE A - CLASSIFICAÇÃO DOS MUNICÍPIOS (1990, 2000, 2010 e 2021)	225

1. INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) propôs em setembro de 2015, uma série de metas por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS compreendem 17 objetivos e 169 metas em que os 193 Estados membros da ONU, incluindo o Brasil, comprometeram-se a adotar, a chamada Agenda 2030. Dentro desses objetivos são listadas metas que os países devem alcançar até o ano de 2030. De forma geral, as medidas tratam da erradicação da pobreza, proteção do meio ambiente e do clima, garantia da segurança das pessoas, redução das desigualdades, entre outros.

Nesse contexto dos ODS, os países devem garantir a proteção e uso sustentável dos oceanos (ODS 14), e dos ecossistemas terrestres (ODS 15), crescimento econômico inclusivo (ODS 8), construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação (ODS 9).

Sabe-se que o Brasil é um país de dimensões continentais. Durante seu processo histórico, desde a chegada dos europeus, as regiões se desenvolveram de forma desigual. Dessa forma, garantir a redução das desigualdades regionais continua sendo um grande desafio nacional.

É notadamente comum na literatura encontrar trabalhos que tratam das infraestruturas de transportes como um catalizador do desenvolvimento econômico das regiões (Banister; Berechman, 2001; Andrade, 2012; Aarhaug; Gundersen, 2017). Observando o mapa das redes de transportes no Brasil, por exemplo, é nítida a grande concentração de rodovias, ferrovias, portos e aeroportos nas regiões sul e sudeste, onde se situam os principais polos econômicos do país (Lima Neto *et al.*, 2001).

Oposto a esse processo, na Região Amazônica, no norte do Brasil, as infraestruturas de transportes são menos densas. Como características próprias, a região apresenta: presença de grandes rios, da maior floresta tropical do mundo, com fauna e flora peculiares e comunidades indígenas, quilombolas e ribeirinhas que, em sua maioria, dependem da própria natureza como fonte de subsistência. Nesse contexto, garantir o alcance dos ODS 8, 9 e 15, no que tange uso sustentável dos ecossistemas terrestres, crescimento econômico inclusivo, infraestrutura e industrialização em uma área com características únicas e sensível a mudanças abruptas, tem sido um grande desafio.

A Amazônia Legal, delimitada pela Lei nº 5.173 de 27 de outubro de 1966, que complementou a Lei nº 1.806 de 6 de janeiro de 1953, que originalmente criou o termo, possui 773 municípios, incluindo cidades totalmente isoladas, onde o principal meio de transporte se dá pelos rios. Há também grandes metrópoles regionais, ligadas por diversos modos de

transportes. As diferenças econômicas, sociais e ambientais na Amazônia Legal são evidentes, visto que é uma região que ocupa cerca de 60% da superfície do Brasil, e é composta por nove estados da federação (IBGE, 2023). A finalidade de sua criação foi a de facilitar a implementação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento e à preservação ambiental da região, considerando suas características únicas e seus desafios sociais e econômicos.

Fatores econômicos, sociais e ambientais formam a base do “desenvolvimento sustentável”, visto que alguns estudos clássicos definem a sustentabilidade com base nestes pilares (Elkington, 1994; Sachs, 1993). Compreender esses aspectos, a partir da ótica dos grandes corredores de transporte da região Amazônica é de suma importância, visto que as pesquisas podem direcionar para o entendimento aprofundado das dinâmicas dessa região e para o alcance nela dos ODS propostos pela ONU.

Dessa forma, esta Tese tem como objetivo principal analisar comparativamente os impactos de corredores de transporte no desenvolvimento sustentável da Amazônia Legal, analisando indicadores sociais, econômicos e ambientais ao longo do período de 1990 a 2021. O estudo se concentrará em três corredores de transporte distintos, buscando compreender como essas importantes infraestruturas de transportes têm afetado o crescimento econômico, a qualidade de vida das populações locais e a conservação ambiental na Região Amazônica ao longo do tempo.

Por isso, foi realizado um levantamento de uma série de dados secundários de 206 municípios perpassadas pela hidrovía Solimões-Amazonas, rodovia Cuiabá-Santarém e ferrovias Estrada de Ferro Carajás e Norte-Sul. Esses corredores de transportes estão localizados dentro dos limites da Amazônia Legal brasileira. Os dados foram levantados e analisados anualmente de 1990 a 2021 e de forma segmentada por década, assim constituem-se como dados em painel, pois contém informações de algumas variáveis ao longo do tempo.

Em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, a pesquisa tangencia o ODS 8 - Trabalho decente e crescimento econômico; ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura; ODS 10 - Redução das desigualdades; ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis e ODS 15 – Vida terrestre.

1.1 Apresentação do problema

Uma das lacunas pertinentes nesta pesquisa reside na compreensão dos impactos dos grandes corredores de transporte da Amazônia no desenvolvimento sustentável e na qualidade de vida das pessoas, abrangendo aspectos de bem-estar social, impactos ambientais e econômicos.

No trabalho seminal de Krugman (1991), que deu origem à Nova Geografia Econômica (NGE), foi introduzida a concepção de que as disparidades de riqueza entre cidades e regiões estão intrinsecamente ligadas à aglomeração de atividades econômicas. Segundo as proposições do autor, são as oportunidades de mobilidade de fatores de produção, capital e mão de obra que, ao migrarem de uma região para outra, promovem a concentração de atividades em determinadas áreas em detrimento de outras. Esse fenômeno permite que algumas cidades e regiões prosperem mais do que outras, devido à sua capacidade de atrair um mercado de trabalho mais amplo.

Nessa perspectiva, historicamente houve diversas tentativas de impulsionar o desenvolvimento da Amazônia, inclusive com a inserção de grandes infraestruturas de transportes. Como exemplo pode-se citar diversas políticas públicas criadas a partir de planos e programas governamentais: Plano Moraes (1869); Plano de Metas (1956); Plano de Valorização e de Promoção do Desenvolvimento da Amazônia (1966); Plano de Integração Nacional (1970); Programa Brasil em Ação (1996); Programa Avança Brasil (2000); Programa de Aceleração do Crescimento (2007); Plano Amazônia Sustentável (2008); Política Nacional de Desenvolvimento Regional (2019); Plano Integrado de Longo Prazo para a Infraestrutura (2020); Programa de Aceleração do Crescimento Novo PAC (2023); Política Nacional de Desenvolvimento Regional (2024). No entanto, muitas dessas tentativas falharam em decorrência do não entendimento aprofundado das questões locais, descontinuidades por mudanças de governos, corrupção, crises econômicas etc. (Locatelli, 2009).

Esses desafios evidenciam a importância de um modelo de desenvolvimento que valorize os recursos e capacidades endógenas da região, permitindo que o crescimento econômico ocorra a partir da mobilização dos atores locais e da valorização das especificidades territoriais, conforme destaca Vázquez Barquero (2002). O conceito de desenvolvimento endógeno, segundo esse autor, refere-se a um modelo de crescimento econômico baseado na mobilização dos recursos internos de uma região, enfatizando a participação dos agentes locais e a valorização das especificidades territoriais. Esse desenvolvimento ocorre por meio da interação entre empresas, instituições e a sociedade, promovendo inovações e competitividade sustentável. Dessa forma, destaca-se que diferentemente dos modelos tradicionais que dependem de investimentos externos, o desenvolvimento endógeno se apoia na capacidade de organização social e produtiva do próprio território. Assim, a dinâmica amazônica requer uma ótica diferenciada, visto que é uma região única, onde vivem aproximadamente 28 milhões de pessoas com renda média e Produto Interno Bruto - PIB per capita equivalente a 70% da média

do restante do Brasil (IBGE, 2022). Detém, ainda, a maior floresta tropical do mundo e diversas comunidades indígenas, quilombolas e ribeirinhos.

Constantemente, as pesquisas sobre o desenvolvimento ligado aos transportes são debatidas no meio acadêmico e social. Muitos estudos concluem que as infraestruturas de transportes são indutoras do crescimento e desenvolvimento de determinadas localidades (Banister; Berechman, 2001; Andrade, 2012; Aarhaug; Gundersen, 2017). Porém, algumas conclusões são controversas sobre o impacto social, econômico e ambiental quando analisadas no ambiente amazônico, visto a sensibilidade, principalmente ambiental, da região. Além dos impactos climáticos e econômicos associados ao desmatamento, o custo da inação também resulta em progresso social mais lento para as populações locais (Banco Mundial, 2023).

Os efeitos de investimentos em infraestrutura de transporte podem ser percebidos a partir das trocas econômicas de um município ou de uma região. De acordo com Rodrigue (2020), é mais provável que surjam oportunidades econômicas onde as infraestruturas de transporte possam garantir o acesso a mercados e recursos. No caso da Região Amazônica, nos últimos anos, houve certo aumento das receitas de alguns municípios, a exemplo dos que estão próximos à Zona Franca de Manaus (indústria e comércio), norte do Mato Grosso (soja) e no sudeste do Pará (mineração). Muitos dos municípios dessas regiões dispõem de importantes corredores de transportes para escoamento da produção (Hidrovia Solimões-Amazonas; Estrada de Ferro Carajás e Rodovia Cuiabá-Santarém).

Porém, é importante destacar que há algumas controvérsias quanto à presença de corredores econômicos e a relação ao progresso social, à integração espacial e à aglomeração das atividades econômicas. Os corredores de transportes têm o potencial de preparar o terreno para a expansão da produção, entretanto, a expansão econômica também envolve efeitos externos indesejáveis de desigualdades espaciais e de marginalização de algumas comunidades (Athukorala; Narayanan, 2018).

Estudos anteriormente citados indicaram que as infraestruturas de transportes desempenham um papel importante, principalmente em relação a mudanças econômicas em determinado espaço geográfico. A melhoria na acessibilidade da mão de obra, o fluxo de mercadorias e a disponibilidade de insumos são fatores que impactam positivamente na atividade econômica local (Banister; Berechman, 2001). Além disso, a relação entre acessibilidade e atratividade geográfica é evidente, pois os locais com infraestruturas de transportes mais bem desenvolvidas tendem a atrair mais atividades econômicas (Aarhaug; Gundersen, 2017). No Brasil, um exemplo claro da relação entre infraestrutura e atividades econômicas é a região Sudeste do país, onde há maior disponibilidade de infraestrutura de

transportes e onde estão presentes os municípios, que mais contribuem para o Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Essa relação entre infraestrutura e atratividade econômica pode ser fundamental para o crescimento e o desenvolvimento sustentável das regiões.

Pesquisas mais recentes sugerem que, embora tenha havido avanços, ainda existem lacunas consideráveis, especialmente com respeito aos efeitos de infraestruturas de transportes em regiões vulneráveis, como a Amazônia Brasileira. Há carência de pesquisas que abordem esses corredores de transportes em contextos críticos, onde as questões de conservação ambiental e desenvolvimento sustentável se entrelaçam de forma complexa, como apontado nos estudos de Roxas Jr *et al.*, 2023; e Shen, Li, e Li, 2023; Bhattacharya, Sarkar, Chaturvedi, 2023, Luo, Li e Cheng, 2024. Além disso, grande parte da literatura não aborda de forma integrada, os três pilares da sustentabilidade - social, econômico e ambiental.

Tratar de um tema sobre a Amazônia e sua relação com o desenvolvimento a partir da ótica dos meios de transportes é fundamental, pois os resultados dos estudos podem nortear decisões, contribuir para o alcance dos ODS e estabelecer que as cidades e regiões sejam, além de mais sustentáveis, também mais justas para as comunidades locais.

É nesse enfoque que esta Tese se insere, pois se propõe a investigar, por meio da análise comparativa de indicadores sociais, econômicos e ambientais, a influência dos corredores de transporte no desenvolvimento sustentável da Amazônia brasileira e quais os impactos positivos e negativos são decorrentes dessa relação. Para tal investigação foi adotada a Análise de Componentes Principais (ACP) e partir dela, proposto um Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM).

Através da busca sistemática de artigos sobre corredores de transportes e desenvolvimento sustentável, notou-se que as pesquisas têm se concentrado principalmente em aspectos específicos, como os impactos ambientais ou os impactos econômicos. Assim, há uma lacuna significativa no entendimento de como esses aspectos estão interligados e como eles são influenciados pela presença de diferentes corredores de transportes na Amazônia.

A pesquisa de Cristo *et al.* (2022) foi uma referência importante na construção deste trabalho, visto que é a que mais se aproxima dos objetivos propostos. Porém, essa analisou somente a Estrada de Ferro Carajás (EFC) e 28 municípios ao longo de sua extensão, enquanto este estudo amplia a análise para três corredores de transporte na Amazônia, abrangendo um total de 206 municípios. Essa amplitude de escopo permite uma compreensão mais abrangente dos impactos, capturando padrões espaciais e setoriais que podem variar entre diferentes corredores.

Além disso, enquanto Cristo *et al.* (2022) desenvolveram um Índice de Vulnerabilidade focado nos impactos diretos da EFC, a presente pesquisa buscou construir o Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM), permitindo uma avaliação integrada e comparativa dos efeitos de distintos corredores de transporte sobre o desenvolvimento sustentável. A inclusão de múltiplos corredores possibilita explorar as dinâmicas territoriais de forma mais ampla, analisando sinergias e conflitos entre crescimento econômico, equidade social e conservação ambiental em diferentes espaços territoriais da Amazônia Legal.

Diante da problemática relacionada à análise dos efeitos dos diferentes corredores de transportes sobre o desenvolvimento sustentável. E, considerando a escassez de estudos que integrem aspectos sociais, econômicos e ambientais vinculados à infraestrutura de transportes, esta tese propõe-se a preencher essa lacuna por meio de uma abordagem integrada. O estudo analisa os impactos sociais, econômicos e ambientais nos municípios atravessados pela Hidrovia Solimões-Amazonas, pela Rodovia Cuiabá-Santarém e pelas Ferrovias Norte-Sul e Carajás. Além disso, busca compreender se, e de que forma, esses corredores de transportes têm contribuído para o desenvolvimento regional sustentável. Dessa forma, por meio de uma análise detalhada, a pesquisa pretende oferecer subsídios para o entendimento dos desafios e das oportunidades relacionadas à promoção do desenvolvimento sustentável nos municípios da Amazônia Legal a partir das redes de transportes.

1.2 Justificativas e motivações

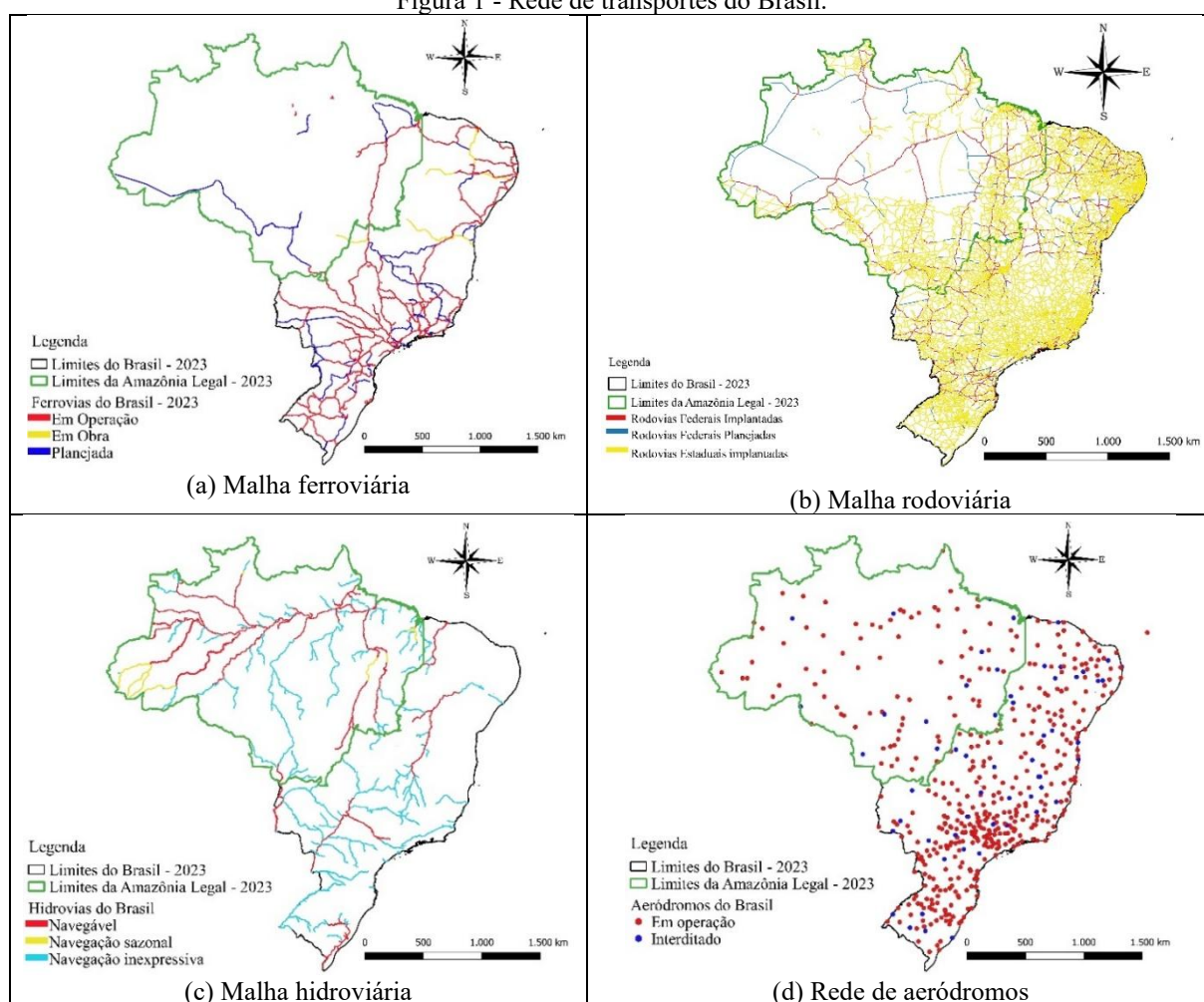
Esta pesquisa se justifica pela necessidade de se avaliar os resultados em termos de crescimento econômico, inclusão social e sustentabilidade ambiental de corredores de transportes, como propõem Berg *et al* (2015), no seu estudo para o Banco Mundial sobre políticas de transporte e desenvolvimento. Além disso, ressalta-se a importância dada à área de estudo para o equilíbrio do clima global, fato esse que coloca a Amazônia no foco do debate nacional e internacional sobre sustentabilidade. Assim, compreender a região amazônica do ponto de vista dos aportes de infraestruturas para o seu desenvolvimento é extremamente necessário, uma vez que a região é rica em biodiversidade e exerce um papel importante no ecossistema do planeta (Fearnside, 2015). No entanto, enfrenta problemas ambientais, sociais e econômicos que remontam há séculos da história do Brasil.

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea, 2008), a Amazônia Legal engloba a totalidade de oito estados - Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins - e parte do Estado do Maranhão. A partir de dados do IBGE (2023), compreende-se que a Amazônia Legal abriga cerca de 28 milhões de brasileiros em

uma vasta área de, aproximadamente, 5,1 milhões de quilômetros quadrados. Portanto, a densidade populacional da região é baixa. Embora ocupe cerca de 60% do território brasileiro, abriga somente 13% da população.

Em relação à rede de transportes, a partir dos dados do Ministério dos Transportes (2024), é possível notar que a região possui uma rede viária limitada, com alguns projetos iniciados na década de 1960 que até os dias atuais permanecem inacabados (BR-230, BR-163, Ferrovia Norte-Sul, Hidrovia Araguaia-Tocantins). Na Figura 1 (a, b, c e d) abaixo é possível notar as diferenças de densidade das redes de transportes no território Nacional, principalmente dos meios terrestres (rodovias e ferrovias).

Figura 1 - Rede de transportes do Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do Ministério dos Transportes (2023).

Em relação à malha ferroviária, nota-se uma ausência significativa desse modo de transporte na Amazônia Legal. Entre os quatro modos apresentados (Figura 1), as ferrovias são menos representativas. Atualmente, a malha ferroviária brasileira possui aproximadamente 30.000 km de extensão, conforme dados do DNIT de 2023. Em 1950, o Brasil chegou a ter

cerca de 37.000 km de malha ferroviária (DNIT, 2023). Nota-se daí, que a quantidade de ferrovias tem diminuído ao longo do tempo.

A representação cartográfica evidencia que a distribuição das ferrovias no país é desigual, com concentração significativa na Região Sudeste, que de acordo com o Ministério dos Transportes (2023), abriga cerca de 52% da malha ferroviária nacional. Na Amazônia Legal estão presentes as ferrovias dos Carajás (972 km), Norte-Sul (975 km), Trombetas (27 km), Juruti (48 km), Jari (57 km) e Rumo Malha Norte (322 km), que juntas representam apenas 8% da malha nacional, numa área de cerca de 60% do país. Essa disparidade evidencia profundas assimetrias regionais em termos de infraestrutura de transporte ferroviário, fato que pode dificultar a integração logística, o escoamento de produtos e o desenvolvimento da Região Amazônia.

Em relação à malha rodoviária brasileira, observa-se uma distribuição espacial desigual, seguindo a mesma lógica identificada na malha ferroviária, com a maior parte da infraestrutura concentrada nas regiões Sul e Sudeste. De acordo com dados do Sistema Nacional de Viação (SNV, 2024), o Brasil possui aproximadamente 74,3 mil km de rodovias federais em operação, dos quais 7,8 mil km não são pavimentados e 66,5 mil km são pavimentados. Além disso, há cerca de 47,7 mil km em fase de planejamento. Já nos nove estados que compõem a Amazônia Legal, a malha rodoviária existente totaliza cerca de 18,4 mil km, o que representa aproximadamente 24,7% da malha nacional.

Esses dados revelam um expressivo grau de desigualdade regional no que diz respeito à infraestrutura rodoviária. Enquanto o Sul e o Sudeste apresentam maior densidade e qualidade viária (53,57% da malha), com redes mais estruturadas e integradas aos principais polos econômicos, a Amazônia Legal ainda enfrenta desafios significativos relacionados à conectividade terrestre. Grande parte das estradas na região amazônica permanece não pavimentada, com condições precárias de trafegabilidade, especialmente durante o período chuvoso. Essa limitação pode comprometer o escoamento da produção, o acesso a serviços públicos essenciais e a integração entre municípios, contribuindo para o isolamento de diversas comunidades e dificultando o desenvolvimento regional.

No que se refere à malha hidroviária, a Resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabelece a divisão do território brasileiro em doze Regiões Hidrográficas (RHs), sendo que as maiores se encontram na Amazônia Legal. A Região Hidrográfica Amazônica ocupa cerca de 42% da superfície nacional, enquanto a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia corresponde a aproximadamente 11% (Brasil, 2003). Por serem definidas com base nos limites das unidades federativas, essas regiões hidrográficas estão

restritas ao território das 27 unidades da federação. Os rios que integram essas RHs desempenham papel fundamental na organização do espaço amazônico, funcionando como importantes corredores naturais de transporte e influenciando diretamente as dinâmicas econômicas, sociais e ambientais da região (Pompermayer *et al.*, 2014).

De acordo com a ANTAQ (2023) e o DNIT (2023), a rede hidroviária da Amazônia é a mais extensa do Brasil, com mais de 15.000 km de rios navegáveis - o que corresponde a cerca de 60% da malha hidroviária nacional. Esta rede inclui as hidrovias dos rios Amazonas, Solimões, Madeira, Negro, Purus, Juruá, Tapajós, Trombetas, Xingu, entre outros de menor porte, configurando um sistema vital para a mobilidade regional. Apesar de sua relevância estratégica, a infraestrutura hidroviária na Amazônia ainda enfrenta desafios, como a falta de balizamento, dragagem inadequada, sinalização deficiente e ausência de integração logística com outros modos de transporte, pois mesmo na Amazônia, apesar de rios volumosos, alguns precisam de algum tipo de adequação de seus leitos para permitir o pleno aproveitamento para a navegação em larga escala (Pompermayer *et al.*, 2014). Tais limitações comprometem a eficiência e a segurança da navegação, sobretudo em períodos de seca severa. Além disso, as populações ribeirinhas, em sua maioria, continuam a depender de embarcações precárias e de longos deslocamentos para acessar serviços públicos essenciais, o que reforça a importância de políticas públicas voltadas à melhoria da eficácia da navegação interior.

Em relação à rede de aeródromos públicos, dados da ANAC (2022) indicam que o Brasil possui 503 aeródromos públicos em operação, dos quais 105 estão localizados em municípios da Região Amazônica, representando aproximadamente 20,87% do total nacional. Esse número evidencia a relevância estratégica do transporte aéreo na Amazônia, especialmente considerando a vasta extensão territorial, a baixa densidade populacional e a precariedade de outras formas de conectividade, como a rodoviária e ferroviária.

A presença relativamente elevada de aeródromos na região reflete a necessidade de garantir acessibilidade mínima a áreas remotas, muitas vezes isoladas por barreiras naturais, como rios extensos e florestas densas. No entanto, apesar da capilaridade dos aeródromos, muitos enfrentam problemas operacionais e estruturais, como pistas não pavimentadas, falta de equipamentos de navegação e ausência de voos regulares (ANAC, 2024). Além disso, a dependência do transporte aéreo eleva os custos logísticos e limita o acesso de populações vulneráveis a serviços de saúde, educação e mercados consumidores.

Assim, analisar essa região ao longo dos anos, pode trazer resultados importantes para implantação de políticas públicas de transportes e de desenvolvimento regional sustentável mais eficientes, visto que a região amazônica é uma das áreas mais importantes do planeta em termos

de biodiversidade, desempenhando um papel crucial na regulação do clima global e na manutenção dos serviços ecossistêmicos (Banco Mundial, 2023).

No entanto, as atividades humanas, como a expansão agrícola, o desmatamento e a própria infraestrutura de transporte, têm exercido pressões significativas sobre esse ecossistema único (Fearnside, 2005; Simon; Garagorry, 2005; Morton *et al*, 2008; Laurance *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2023). Dentre os elementos de infraestrutura que exercem impacto ambiental direto na região amazônica, destacam-se os corredores de transportes, como rodovias, hidrovias e ferrovias. Por outro lado, esses corredores são essenciais para o desenvolvimento econômico e social da região, por facilitarem o acesso a recursos naturais, o escoamento da produção agrícola, mineral e industrial, e a integração dos mercados locais com centros urbanos nacionais e com o resto do mundo.

No entanto, a construção, manutenção e operação desses corredores também trazem consigo uma série de desafios e impactos negativos. Entre os principais estão o aumento da pressão sobre as áreas protegidas dos povos originários (Bebbington *et al.*, 2018; Soares-Filho *et al.*, 2019; Araujo *et al.*, 2023; Silva *et al*, 2023), bem como a fragmentação de *habitats*, a perda de biodiversidade, a poluição da água e do ar, a migração desordenada, o aumento da violência e da criminalidade e o deslocamento forçado de comunidades tradicionais (Banco Mundial, 2023).

Conforme destacado pelo Banco Mundial (2023), o desenvolvimento na Amazônia Legal se apresenta como um desafio complexo, exigindo ações coordenadas em âmbitos global, nacional e local. A Amazônia pertence ao Brasil, mas, como suas florestas geram impactos e benefícios globais, os esforços para preservá-la e apoiar sua população também devem ser compartilhados por diversos países. Assim, estudos aprofundados sobre a dinâmica local se tornam relevantes para apontar os fatores que influenciam no desenvolvimento regional sustentável dessa rica região.

Neste contexto, por meio de uma abordagem interdisciplinar, que combina métodos quantitativos e qualitativos, ao integrar modelagem espacial, dados históricos e indicadores de sustentabilidade, a pesquisa avança na construção de um diagnóstico que transcende dicotomias simplistas, revelando padrões de sinergia e conflito entre desenvolvimento e conservação. Tal abordagem não apenas preenche lacunas epistemológicas sobre o tema, mas também subsidia a formulação de políticas capazes de converter lições do passado em planejamento territorial adaptativo para o futuro, essencial para harmonizar infraestrutura, crescimento econômico, equidade social e resiliência ambiental na Amazônia do século XXI.

1.3 Pergunta condutora da Tese

Esta tese se desenvolve a partir da seguinte pergunta condutora: Em que medida, diferentes corredores de transportes da Amazônia Legal têm impactado no desenvolvimento sustentável de municípios ao longo das últimas décadas?

1.4 Hipótese

A presença de corredores de transporte na Amazônia Legal tem promovido dinâmicas contrastantes de desenvolvimento em nível local, sugerindo que seus impactos variam conforme o modo de transporte, grau de integração territorial e diversidade econômica. Embora a presença de grandes infraestruturas possa impulsionar o crescimento econômico em alguns municípios, especialmente nos corredores rodoviário e ferroviário, esses efeitos não necessariamente resultam em um desenvolvimento sustentável equilibrado. Assim, dependendo do modo de transportes, os corredores podem aprofundar desigualdades regionais, pois enquanto alguns municípios experimentam avanços socioeconômicos, outros permanecem estruturalmente vulneráveis, sobretudo municípios do corredor hidroviário. Essa discrepância pode ser explicada pelas descontinuidades de planos e programas governamentais, concentração setorial da economia, pela ausência de planejamento territorial integrado e pela distribuição desigual dos benefícios da infraestrutura. Esses fatores criam certo grau de insustentabilidade e reforçam a necessidade de políticas públicas que harmonizem crescimento econômico, conservação ambiental e inclusão social.

1.5. Objetivo Geral

Analisar, no período de 1990 a 2021, os impactos de corredores de transporte (rodoviário, ferroviário e hidroviário) no desenvolvimento sustentável da Amazônia Legal, identificando sinergias e conflitos decorrentes da implantação dessas infraestruturas e fornecendo subsídios para políticas de planejamento territorial dos municípios atravessados.

1.6. Objetivos Específicos

- Sistematizar um quadro teórico-crítico sobre os impactos de infraestruturas de transportes em regiões de alta sensibilidade socioambiental, identificando lacunas conceituais e convergências, na literatura nacional e internacional.
- Aplicar a Análise de Componentes Principais (ACP) para agrupar variáveis socioeconômicas, ambientais e de infraestrutura de transporte em componentes principais, a

fim de identificar padrões latentes para correlacionar esses componentes com as dinâmicas de desenvolvimento sustentável nos municípios da Amazônia Legal.

- Mapear e categorizar as externalidades (positivas e negativas) associadas aos corredores de transporte, propondo um Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia para priorizar ações de mitigação em municípios críticos.

- Elaborar diretrizes para novas políticas para a Amazônia Legal baseadas em evidências deste estudo, articulando planejamento territorial, justiça ambiental e inclusão social.

1.7. Inovação Contribuições Desta Tese

A principal inovação desta tese consiste na análise dos impactos diferenciados dos corredores de transporte sobre o desenvolvimento sustentável na Amazônia Legal, por meio da proposição do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM). A construção do ISMAM baseia-se em uma abordagem metodológica que integra dados em painel e técnicas de Análise de Componentes Principais (ACP), permitindo sintetizar múltiplos indicadores sociais, econômicos e ambientais em uma medida composta. A utilização de dados longitudinais, abrangendo o período de 1990 a 2021, possibilita uma avaliação aprofundada das variações temporais e das disparidades espaciais entre os municípios localizados ao longo dos três principais corredores de transporte da Amazônia Legal.

O estudo se destaca ao integrar indicadores sociais, econômicos, ambientais e de infraestrutura, proporcionando uma visão holística dos efeitos dos corredores hidroviário, rodoviário e ferroviário sobre as dimensões do desenvolvimento sustentável. Além disso, os resultados podem oferecer uma nova perspectiva sobre a distribuição e intensidade dos impactos ambientais, facilitando a identificação de áreas críticas e a formulação de políticas públicas de transporte e desenvolvimento mais direcionadas e eficazes.

A proposição de um índice é uma abordagem ainda pouco explorada em estudos regionais da Amazônia Legal, quando se considera municípios atravessados por diferentes corredores de transportes. A aplicação da ACP permitiu lidar adequadamente com a variabilidade entre diferentes escalas dos indicadores socioeconômicos e ambientais analisados. Essa metodologia contribuiu para uma análise mais rigorosa e comparável dos municípios, ampliando a compreensão das dinâmicas locais e regionais.

Ao focar distintos corredores de transporte e sua influência no desenvolvimento sustentável, esta pesquisa não apenas avança o conhecimento acadêmico sobre o tema, mas também fornece *insights* práticos para a formulação de novas políticas de transportes que

promovam um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável para diferentes territórios da Amazônia Legal.

1.8. Delimitações, Limitações e Estrutura de Apresentação Desta Pesquisa

Esta pesquisa está delimitada à análise dos impactos dos corredores de transporte sobre o desenvolvimento sustentável na Amazônia Legal, com foco em três eixos principais: a Hidrovia Solimões-Amazonas, a Rodovia Cuiabá-Santarém e as Ferrovias Norte-Sul e Carajás. A abordagem considera variáveis econômicas, sociais, ambientais e de infraestrutura no nível municipal, com dados secundários provenientes de fontes oficiais, abrangendo o período de 1990 a 2021.

Entre as limitações, destaca-se a indisponibilidade de dados atualizados ou históricos para algumas variáveis relevantes, como fluxos migratórios, atividades econômicas informais e indicadores institucionais. Em alguns casos, foi necessário recorrer a estimativas, como no caso do PIB anterior a 1994 e do IDHM de 2021. Além disso, a escolha das variáveis e a escala municipal podem não capturar todas as dinâmicas locais e intraurbanas, o que pode restringir a precisão da análise. A construção do ISMAM, ainda que fundamentada na ACP, também envolve decisões metodológicas que podem influenciar os resultados.

Apesar dessas limitações, a metodologia adotada proporciona uma análise robusta e integrada da sustentabilidade nos municípios analisados, oferecendo subsídios relevantes para o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas voltadas à Amazônia Legal.

Quanto à estrutura, esta Tese está organizada em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução, contextualizando o tema, os objetivos e a relevância do estudo. No Capítulo 2, são discutidos os referenciais teóricos através da revisão da literatura, incluindo uma análise bibliométrica sobre os temas abordados. No Capítulo 3, são exploradas as características dos corredores de transportes da Amazônia Legal. O Capítulo 4 descreve a metodologia adotada, detalhando os procedimentos de coleta, tratamento e análise dos dados. No Capítulo 5, são apresentados os resultados e discussões, explorando as principais tendências e implicações dos achados. Por fim, o Capítulo 6 traz as considerações finais, sintetizando as conclusões do estudo e apontando possíveis direções para pesquisas futuras.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo traz uma abordagem sobre a literatura existente relacionada ao tema principal desta Tese. Na primeira subseção é apresentado um levantamento dos artigos utilizados neste estudo realizado a partir de uma abordagem bibliométrica. A análise bibliométrica é uma ferramenta importante para mapear a evolução e o impacto da pesquisa acadêmica (Ellegaard; Wallin, 2015), neste caso trata-se de corredores de transporte e desenvolvimento sustentável. Através da análise de publicações científicas sobre a temática, é possível identificar tendências, lacunas e áreas de crescimento no campo (Bao *et al*, 2023). Após a realização de uma busca nas bases, apresenta-se uma revisão bibliográfica com abordagem bibliométrica, visando mapear os principais estudos sobre corredores de transportes e desenvolvimento sustentável.

Em síntese, no tópico 2.1, realizou-se uma revisão da literatura com base em análise bibliométrica, considerando como palavras-chave: corredores ou infraestruturas de transportes e desenvolvimento sustentável para selecionar os trabalhos relacionados ao tema. No tópico 2.2 apresenta-se o referencial teórico, considerando os trabalhos levantados na bibliometria e na literatura clássica relacionada a abordagem principal desta tese.

2.1. Análise bibliométrica

A análise bibliométrica é realizada a partir de buscas em bases especializadas que concentram trabalhos acadêmicos das mais diversas áreas (Bao *et al.*, 2023). Para esta pesquisa utilizou-se duas bases de busca:

1) *Web of Science*, da Clarivate Analytics - amplamente respeitada por sua confiabilidade e relevância na pesquisa acadêmica (Caviggioli; Ughetto, 2018).

2) *Scopus*, mantida pela Elsevier, é reconhecida pela sua abrangência e rigor na indexação da literatura científica, consolidando-se como uma fonte essencial para a pesquisa acadêmica (Burnham, 2006).

As duas bases de pesquisa são disponibilizadas de forma gratuita pelo sistema da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Utilizou-se como palavras-chave no campo de busca das bases, os termos em inglês "*Transport corridors*" or "*transport infrastructure*" and "*sustainable development*". Após a inserção dos termos de busca, foram incluídos alguns filtros para deixar a busca mais direcionada com os objetivos da pesquisa. Com a utilização de filtros é possível selecionar trabalhos que têm forte ligação com o assunto estudado, podendo ser realizada uma análise mais diretiva. Para este trabalho utilizou-se os critérios nos filtros apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Síntese dos filtros utilizados na busca.

Palavras-chave	<i>"Transport corridors" or "transport infrastructure" and "sustainable development"</i>
Tipo de documento	Artigos completos
Ano de publicação	Sem limitação
Fase de publicação	Final
Idioma	Sem limitação
Data da pesquisa	08 de agosto de 2024
Total de documentos na base <i>Web of Science</i>	289
Total de documentos na base <i>Scopus</i>	316
Exclusão (duplicados e sem o DOI)	123
Total geral para análise	482

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

As 482 referências resultantes foram usadas como conjunto de dados para análise. Após a coleta dos dados nas bases mencionadas, os resultados das publicações foram processados e analisados no *software* RStudio, utilizando pacotes específicos para manipulação e análise bibliométrica. Inicialmente, os dados foram importados utilizando a função “convert2df” do pacote “bibliometrix” no R, que permite converter arquivos de formato BibTeX em data frames adequados para análise. Os arquivos “scopus.bib” e “savedrecs.bib”, correspondentes às bases Scopus e Web of Science, respectivamente, foram carregados e convertidos, mantendo a integridade dos metadados bibliográficos necessários para a análise.

Após a conversão, as duas bases de dados foram integradas em um único conjunto de dados utilizando a função “mergeDbSources”, com a remoção de registros duplicados para evitar a superestimação de publicações. O conjunto combinado de dados foi exportado para um novo arquivo em Excel, facilitando o acesso e a manipulação dos dados em outras plataformas, se necessário. Em seguida, foi realizada a análise bibliométrica com a função “biblioAnalysis”, que gerou uma avaliação detalhada dos principais autores, fontes, documentos e outras métricas bibliométricas relevantes.

Para algumas visualizações interativas dos resultados, foi utilizado o “biblioshiny”, uma interface gráfica do pacote “bibliometrix” que permite explorar visualmente os dados, gerando gráficos e relatórios personalizados. Essa abordagem metodológica proporcionou uma análise abrangente dos dados bibliográficos, facilitando a identificação de padrões e tendências na literatura científica sobre o tema em estudo.

Utilizou-se também a versão gratuita VOSviewer 1.6.18.0 para sistemas Microsoft Windows. O VOSviewer é um *software* para construção e uma visualização de ferramenta de redes bibliométricas (Bao *et al*, 2023), essas redes, por exemplo, incluem periódicos, pesquisas ou publicações, autoria, coautoria, países e instituições ligadas às publicações. Dentre as várias funções, o VOSviewer pode ser utilizado para realizar análises das redes de coocorrência e

cocitação de termos-chave, aplicando algoritmos avançados de análise de rede de texto para identificar padrões e conexões entre publicações científicas (Zhu; Hua, 2017).

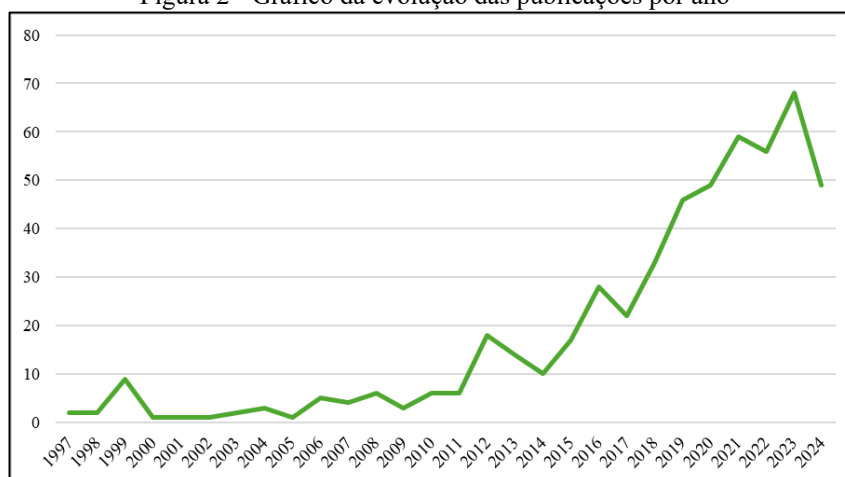
Após a definição da análise bibliométrica, seleção das bases de dados, termos de busca e aplicação de filtros, foram selecionados 482 artigos que abordam a relação entre “corredores de transportes ou infraestrutura de transportes e desenvolvimento sustentável”. A busca foi realizada sem delimitação temporal, com o objetivo de identificar a data da primeira publicação sobre o tema e analisar a evolução das publicações ao longo dos anos.

O levantamento revelou que os primeiros artigos relacionados ao tema foram publicados em 1997, com dois trabalhos destacados: “*Ecologo-geographical problems of high-speed railway (HSR) St.- Petersburg - Moscow construction*”, de Tishkov, Arkady A. (Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscou, Rússia), e “*Approaches for the planning of rural road networks according to sustainable land use planning*”, de Jaarsma, Catharinus F. (Wageningen University & Research, Wageningen, Países Baixos). Esses estudos iniciais refletem certas preocupações sobre o impacto ambiental e o planejamento sustentável de infraestruturas de transporte, estabelecendo um marco inicial para a evolução da literatura na área.

Considerando o ano da primeira publicação, pode-se afirmar que o campo de pesquisa sobre corredores/infraestrutura de transportes e desenvolvimento sustentável começou a se consolidar na segunda metade da década de 1990, um período marcado por intensos debates sobre desenvolvimento sustentável, impulsionados pela Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Rio-92 ou Cúpula da Terra, realizada no Rio de Janeiro em 1992. Esse evento pode ter sido fundamental para trazer à tona a importância da sustentabilidade no âmbito das políticas públicas, inclusive de inserção de infraestruturas, influenciando diretamente a evolução das pesquisas na área.

Observa-se uma evolução significativa nas publicações relacionadas ao tema, conforme ilustrado na Figura 2. Até 2009, o número de artigos publicados era relativamente baixo, com uma média de apenas três trabalhos por ano. A partir de 2011, o volume de publicações começou a crescer, atingindo seu ápice em 2023, com 68 trabalhos publicados. Em 2024, até a data da busca, já haviam sido publicados 49 artigos.

Figura 2 - Gráfico da evolução das publicações por ano

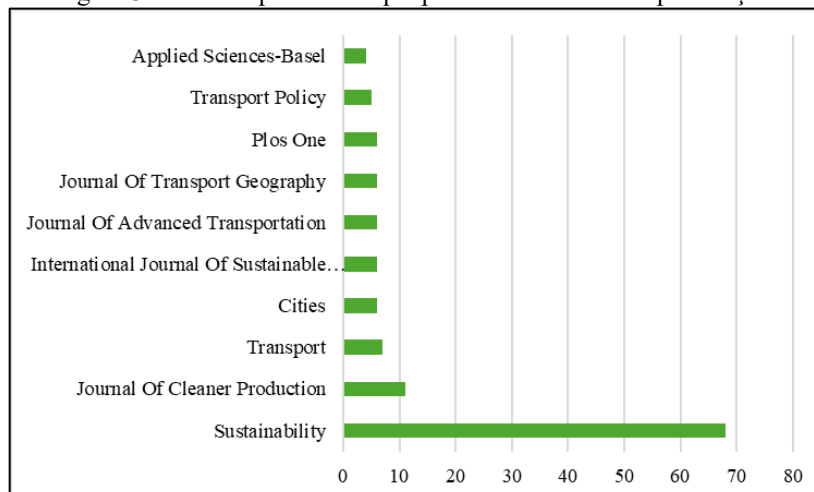


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

A análise gráfica da Figura 2 evidencia uma tendência crescente de interesse acadêmico no tema, refletindo a crescente relevância das discussões sobre desenvolvimento sustentável e a busca pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU em 2015, conforme apresentado também nos trabalhos de Bao *et al.* (2023). Essa expansão sugere que o tema continuará a ganhar destaque na literatura científica, acompanhando as preocupações globais com a sustentabilidade e a integração das infraestruturas de transporte com práticas mais sustentáveis e inclusivas previstas na agenda 2030 da ONU.

Em relação aos periódicos que mais publicam sobre o tema, é fundamental apresentar dados quantitativos que possam orientar autores interessados em divulgar suas pesquisas nessa área. Na Figura 3 é apresentada a lista dos dez periódicos com mais publicações. Nota-se que o periódico com o maior número de publicações sobre o tema é o “Sustainability”, com 68 artigos publicados, seguido pelo “Journal of Cleaner Production”, com 11 publicações, e o periódico “Transport”, com 7 publicações no período analisado.

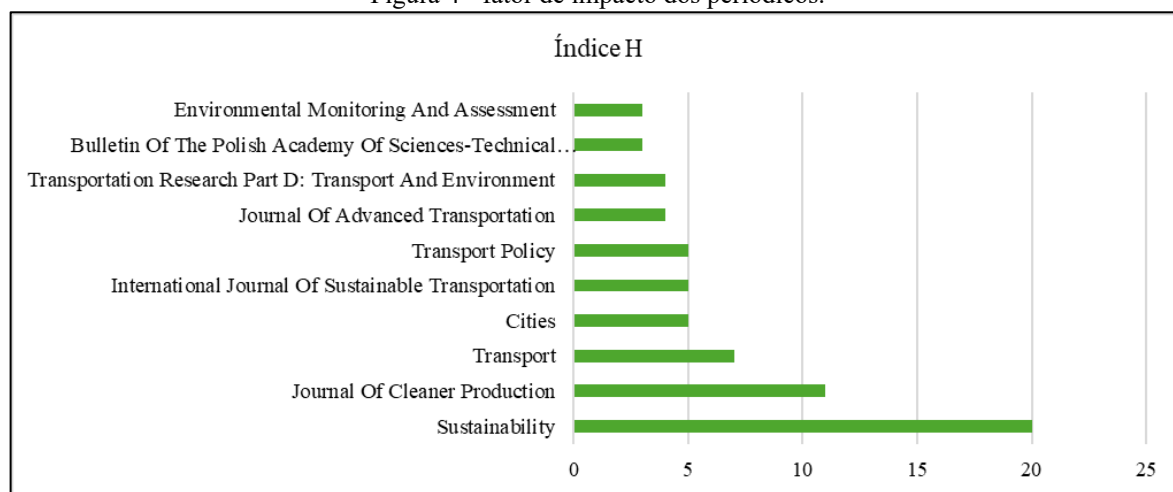
Figura 3 - Lista de periódicos que possuem três ou mais publicações



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Além da lista de revistas que mais publicam sobre o tema, a análise do fator de impacto dos periódicos é relevante, pois esse indicador mede a frequência com que os artigos são citados, funcionando como um parâmetro de importância e qualidade acadêmica. A Figura 4 apresenta uma análise dos periódicos mais influentes no campo de estudo de corredores/infraestrutura de transportes e desenvolvimento sustentável, medidos pelo índice H, que indica o impacto e relevância acadêmica dos artigos publicados. O índice H foi gerado a partir do *software* Biblioshiny, uma interface gráfica baseada no pacote “bibliometrix” do RStudio.

Figura 4 - fator de impacto dos periódicos.



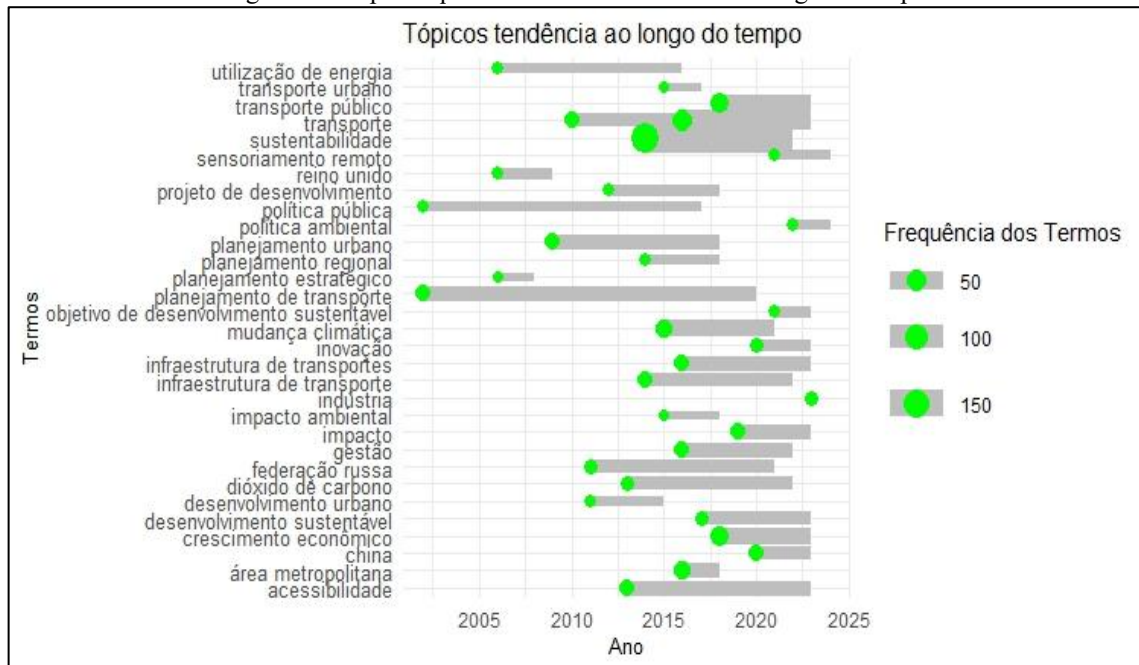
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O índice H reflete tanto o número de publicações, quanto a quantidade de citações que essas publicações recebem, sendo um indicador importante da qualidade e influência do periódico. O periódico com o maior número de publicações é o mesmo que apresenta maior fator de impacto, *Sustainability* com $H = 20$. A análise sugere que os pesquisadores interessados em publicar sobre corredores/infraestrutura de transportes com enfoque sustentável devem considerar esses periódicos como potenciais veículos de divulgação, especialmente aqueles com índices H mais elevados, pois oferecem maior visibilidade e impacto acadêmico.

Em relação aos termos que são tendência ao longo do tempo, a Figura 5 ilustra uma análise temporal de tópicos relacionados a corredores/infraestrutura de transportes e desenvolvimento sustentável. Observa-se, que temas como infraestrutura de transporte, sustentabilidade, política ambiental e política pública começaram a ser discutidos mais intensamente no período entre 2005 e 2010, refletindo o início de um diálogo sobre a importância da sustentabilidade aplicada ao transporte. Entre 2010 e 2015, tópicos como mudança climática, inovação, impacto ambiental e planejamento urbano passam a ganhar destaque, evidenciando uma crescente preocupação com os efeitos das mudanças climáticas e

a busca por soluções inovadoras. Nessa mesma época, surgem discussões sobre planejamento de transportes e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, alinhadas às metas globais de sustentabilidade.

Figura 5 – Tópicos que se tornaram tendências ao longo do tempo

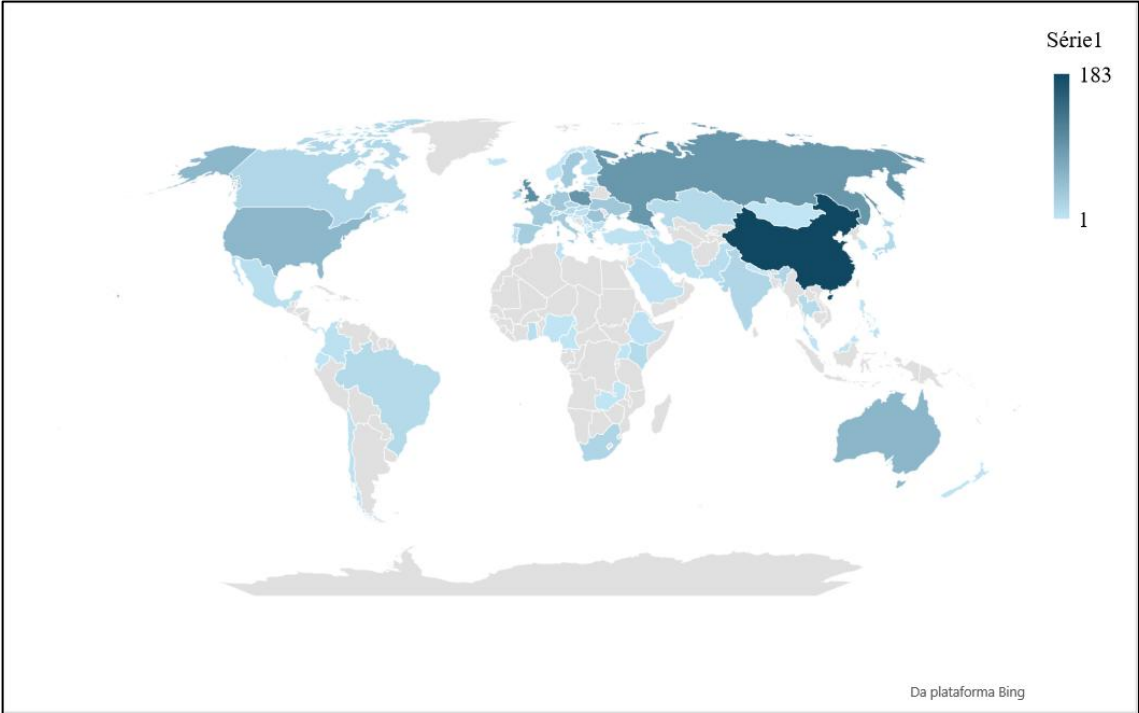


Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do RStudio, 2024.

Já no período entre 2020 e 2024, a Figura 5 revela um aumento da relevância de temas como crescimento econômico, acessibilidade e desenvolvimento sustentável. Esse movimento sinaliza que, além da sustentabilidade ambiental, há certa preocupação com o impacto socioeconômico das infraestruturas de transporte e a inclusão social, conforme já apontado nos trabalhos de Bao *et al*, 2023. A análise temporal, portanto, evidencia uma expansão do escopo dos debates, que hoje englobam não apenas aspectos ambientais, mas também econômicos e sociais, sugerindo uma visão mais abrangente e inclusiva sobre o desenvolvimento sustentável no contexto de transportes.

Considera-se importante verificar quais nações mais publicam sobre o tema em questão. Na Figura 6 abaixo, desenvolvida com auxílio do Excel e da plataforma Bing, nota-se que a China aparece como o país que mais concentra publicações, contabilizando 183 no período da análise, seguido por Reino Unido, com 102 publicações e a Polônia com 94 publicações. O Brasil aparece com 13 publicações sobre o tema. Vale ressaltar a carência de estudos sobre o tema, por parte de muitas nações da América do Sul e África, conforme apresentado na cor cinza na figura.

Figura 6 - Países que mais publicam sobre o tema



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do Excel e plataforma Bing, 2024.

No caso do Brasil, a análise revelou que muitos dos trabalhos com autores brasileiros presentes nas bases de dados resultam de colaborações internacionais, o que faz com que nem todos os estudos abordem especificamente temas relacionados ao contexto brasileiro. No Quadro 2, observa-se a lista dos trabalhos com participação de autores brasileiros, evidenciando uma presença significativa, mas ainda limitada, no debate global sobre infraestrutura de transportes e desenvolvimento sustentável.

Quadro 2: Lista dos trabalhos com autores brasileiros

Título do artigo	Periódico/Ano	País das instituições dos autores
<i>The consideration of environmental and social issues in transport policy, plan, and programme making in Brazil: A systems analysis</i>	Journal of Cleaner Production/2018	Brasil e Reino Unido
<i>Determinants of urban mobility in India: Lessons for promoting sustainable and inclusive urban transportation in developing countries</i>	Transport Policy/2016	Brasil, Alemanha, China, Malásia e Estados Unidos
<i>Assessing the Contributions of Urban Light Rail Transit to the Sustainable Development of Addis Ababa</i>	Sustainability/2021	Brasil e Etiópia
<i>Geospatial-based decision support system for prioritizing road segments for maintenance and rehabilitation</i>	Case Studies on Transport Policy/2024	Brasil
<i>A Model for the Evaluation of Brazilian Road Transport: A Sustainable Perspective</i>	Journal of Advanced Transportation/2018	Brasil

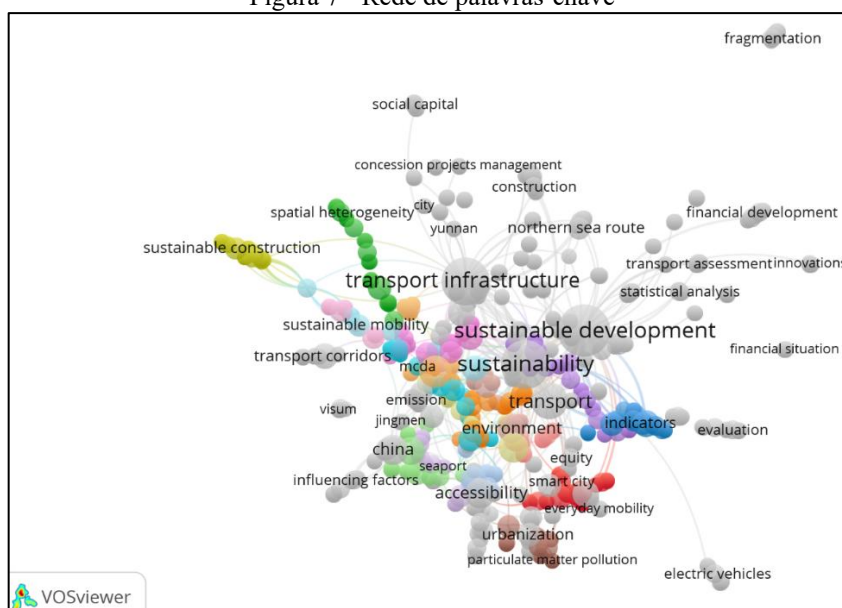
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Notavelmente, há uma carência de estudos que abordem os grandes corredores de transporte do Brasil, como as ferrovias ou rodovias, que são importantes para a logística nacional. Além disso, destaca-se a ausência de pesquisas focadas nos corredores ou na infraestrutura de transportes da Amazônia, uma região que se encontra no centro das discussões atuais sobre desenvolvimento sustentável e preservação ambiental. Essa lacuna ressalta a necessidade de mais estudos que investiguem o impacto dessas infraestruturas na promoção de um desenvolvimento equilibrado, considerando as especificidades socioambientais e os desafios únicos da região amazônica.

Os resultados das análises geográficas sugerem que o debate sobre infraestrutura de transportes e desenvolvimento sustentável é dominado por países com fortes economias e interesse em estratégias globais de comércio e transporte (Wang, *et al.*, 2018). A China, em particular, lidera essa discussão, refletindo seu investimento massivo em infraestrutura. Países europeus e norte-americanos também desempenham um papel importante, enquanto nações em desenvolvimento começam a aumentar sua participação nessa área de estudo.

Numa análise bibliométrica, é importante também identificar e avaliar as principais palavras-chave encontradas nos artigos incluídos pela base de dados durante a busca. No VOSviewer foi gerada a Figura 7 que analisa a frequência com que determinadas palavras-chave, atribuídas pelos autores dos artigos, aparecem juntas nos documentos. Esse tipo de análise é importante para identificar as principais áreas de interesse, os temas recorrentes e como esses tópicos se inter-relacionam dentro de um campo de estudo específico (Huang *et al.*, 2021; Bao *et al.*, 2023).

Figura 7 - Rede de palavras-chave



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* VOSviewer, 2024.

A rede representada na Figura 7 é composta por 901 itens, 71 *clusters* e 3.171 conexões. Nessa rede, é possível identificar as palavras-chave mais utilizadas (de acordo com o tamanho do círculo) e as interconexões entre elas (de acordo com as linhas que ligam os círculos). A palavra-chave mais utilizada e com maior força de ligação com as outras foi “sustainable development” (desenvolvimento sustentável). Numa análise mais dinâmica, feita no *software*, ressalta-se que o termo *sustainable development* tem forte relação com *transport infrastructure*, *sustainability* e *transport*. Na análise bibliométrica é importante identificar os artigos mais citados por outros trabalhos, conforme apresentado no Quadro 3, em que a última coluna se refere ao quantitativo de trabalhos que mencionam o artigo analisado. Para este trabalho selecionou-se os cinco artigos mais citados. De acordo com Aksnes *et al.* (2019), o número de citações de um artigo é um indicador fundamental de seu impacto científico e relevância dentro de seu campo de pesquisa. Essa ação permite identificar quais são as principais referências que servem de base sobre o assunto principal.

Quadro 3: Lista de trabalhos mais citados

Autores/Ano	Título do trabalho	Periódico	Nº de citações
Melanie J. Froude e David N. Petley, 2018	<i>Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016</i>	<i>Natural Hazards and Earth System Sciences</i>	960
D. J. Weiss, A. Nelson, H. S. Gibson, W. Temperley, S. Peedell, A. Lieber, M. Hancher, E. Poyart, S. Belchior, N. Fullman, B. Mappin, U. Dalrymple, J. Rozier, T. C. D. Lucas, R. E. Howes, L. S. Tusting, S. Y. Kang, E. Cameron, D. Bisanzio, K. E. Battle, S. Bhatt & P. W. Gething, 2018	<i>A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015</i>	<i>Nature</i>	650
Maria Pregnotato, Alistair Ford, Sean M. Wilkinson, Richard J. Dawson, 2017	<i>The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function</i>	<i>Transportation Research Part D: Transport and Environment</i>	277
Haopeng Wang, Xueyan Liu, Panos Apostolidis, Tom Scarpas, 2018	<i>Review of warm mix rubberized asphalt concrete: Towards a sustainable paving technology</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	152
Denisa L. Badiu, Cristian I. Ioja, Maria Pătroescu, Jürgen Breuste, Martina Artmann, Mihai R. Niță, Simona R. Grădinaru, Constantina A. Hossu, Diana A. Onose, 2016	<i>Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities' sustainability goals? Romania as a case study</i>	<i>Ecological Indicators</i>	149

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

As contribuições dos artigos listados no quadro anterior contemplam distintas linhas de investigação. Diante disso, torna-se essencial sistematizar as ideias centrais no contexto dos corredores e das infraestruturas de transportes em articulação com o desenvolvimento sustentável, a fim de orientar a análise de forma mais coerente com o objetivo central desta pesquisa. Com base na leitura integral dos estudos, foram selecionados 20 artigos com maior proximidade temática, os quais também apresentam número expressivo de citações. Essa seleção permitiu identificar a abordagem predominante adotada em cada trabalho, conforme exposto no Quadro 4. A análise evidenciou uma lacuna significativa de estudos que integrem simultaneamente as três dimensões da sustentabilidade, sobretudo em regiões inseridas na Amazônia Legal.

Quadro 4: Lista de trabalhos e relação com o tripé da sustentabilidade

(continua)

Título/ Autores/Ano de publicação	Nº de citações	Dimensões da sustentabilidade		
		Econômica	Social	Ambiental
<i>A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015/ D. J. Weiss, A. Nelson, H. S. Gibson, W. Temperley, S. Peedell, A. Lieber, M. Hancher, E. Poyart, S. Belchior, N. Fullman, B. Mappin, U. Dalrymple, J. Rozier, T. C. D. Lucas, R. E. Howes, L. S. Tusting, S. Y. Kang, E. Cameron, D. Bisanzio, K. E. Battle, S. Bhatt & P. W. Gething/2018.</i>	650	X	X	
<i>The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function/M. Pregnotato; A. Ford; S. M. Wilkinson; R. J. Dawson/2017.</i>	277			X
<i>Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities' sustainability goals? Romania as a case study/D. L. Badiu; C. I. Iojă; M. Pătroescu; J. Breuste; M. Artmann; M. R. Niță; S.R. Grădinaru; C. A. Hossu; D. A. Onose/2016.</i>	149			X
<i>Footprints of air pollution and changing environment on the sustainability of built infrastructure/P. Kuma; B. Imam/2013.</i>	110			X
<i>Sustainable urban development and the multi-level transition perspective/P. Næss; N. Vogel/2012.</i>	105		X	X
<i>Landscape typology and ecological connectivity assessment to inform Greenway design/J. Carlier; J. Moran/2019.</i>	96			X
<i>Toward achieving environmental sustainability target in Organization for Economic Cooperation and Development countries: The role of real income, research and development, and transport infrastructure/Danish; J. W. Zhang; S. T. Hassa; K. Iqbal/2019.</i>	88		X	X
<i>Analysis of rural activity spaces and transport disadvantages using a multi-method approach/M. Kamruzzaman; J. Hine/2012.</i>	86	X	X	
<i>Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects/E. Broniewicz; K. Ogrodnik/2020.</i>	78			X
<i>Transport Infrastructure Development, Public Performance and Long-Run Economic Growth: A Case Study for the Eu-28 Countries/E. Cigu; D. T. Agheorghiesei; A. F. Gavriluță; E. Toader/2019.</i>	69	X	X	

(conclusão)

Título/ Autores/Ano de publicação	Nº de citações	Dimensões da sustentabilidade		
		Econômica	Social	Ambiental
<i>How to reconcile wood production and biodiversity conservation? The Pan-European boreal forest history gradient as an “experiment”/V. Naumov; M. Manton; M. Elbakidze; Z. Rendenieks; J. Priednieks; S. Uhliānēts; T. Yamelynets; A. Zhivotov; P. Angelstam/2018.</i>	64	X		X
<i>Roads, economy, population density, and CO2: A city-scaled causality analysis/X.Meng; J. Han/2018.</i>	63	X	X	X
<i>Analyzing the environmental Kuznets curve hypothesis: The role of disaggregated transport infrastructure Investments/S. Erdogan/2020.</i>	62	X		X
<i>Micro-scale sustainability assessment of infrastructure projects on urban transportation systems: Case study of Azadi district, Isfahan, Iran/M. H. Mansourianfar; H. Haghshenas/2018.</i>	57	X	X	X
<i>Transport sector in India: an analysis in the context of sustainable development/R. Ramanathan; J. K. Parikh/1999.</i>	56	X		X
<i>Empirical Evidence from EU-28 Countries on Resilient Transport Infrastructure Systems and Sustainable Economic Growth/Ş. C. Gherghina; M. Onofrei; G. Vintilă; D. Ş. Armeanu/2018.</i>	55	X	X	X
<i>The Impact of Transport Infrastructure on the Sustainable Development of the Region - Case Study/P. Prus; M. Sikora/2021.</i>	54	X	X	X
<i>Leveraging socio-ecological resilience theory to build climate resilience in transport infrastructure/S. Hayes; C. Desha; M. Burke; M. Gibbs; M. Chester/2019.</i>	40			X
<i>China’s spatial fix and ‘debt diplomacy’ in Africa: constraining belt or road to economic transformation?/P. Carmody; I. Taylor; T. Zajontz./2022</i>	40	X		
<i>An Ideology of Sustainability under Technological Revolution: Striving towards Sustainable Development/ S. Khan; R. Ibrahim; A. Q. Al-Amin; Z. Yu / 2022</i>	32	X		X

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Nos parágrafos abaixo, apresenta-se uma análise das contribuições dos estudos no âmbito do tema principal desta bibliometria, incluindo os achados metodológicos. A análise dos artigos intimamente relacionados ao tema desta bibliometria revela um crescente aprofundamento do debate sobre os corredores de transporte, com ênfase cada vez maior na necessidade de alinhar essas infraestruturas aos princípios do desenvolvimento sustentável. Estudos recentes indicam que os corredores de transporte desempenham um papel fundamental na promoção do desenvolvimento econômico regional e na integração de mercados, especialmente em países emergentes como o Brasil e nações da África (Chupin *et al.*, 2024; Lakhminarayanan; Nair; Chandrasekar, 2024). No entanto, a literatura também ressalta desafios significativos, como a degradação ambiental e a exclusão social, que podem ser mitigados por

estratégias integradas de planejamento e gestão sustentável (Kabashkin; Sansyzbayeva, 2024; Luo; Li; Cheng, 2024).

Outro avanço significativo está relacionado à incorporação de novas tecnologias e práticas de gestão que buscam minimizar o impacto ambiental dos corredores de transporte. Artigos recentes destacam o uso de sistemas de transportes inteligentes e práticas de infraestrutura verde, que contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a conservação dos ecossistemas ao longo desses corredores (Dai; Liu; Lin, 2024; Luo; Li; Cheng, 2024). Tais iniciativas são vistas como essenciais para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os que se referem à ação climática (ODS 13) e inovação em infraestrutura (ODS 9).

Além disso, a literatura evidencia um foco maior na governança colaborativa e na participação comunitária como elementos críticos para o sucesso dos corredores de transporte sustentáveis. Alguns estudos destacam a importância de envolver comunidades locais e partes interessadas em todas as etapas do desenvolvimento dos projetos, desde o planejamento até a execução e monitoramento (Eckersten; Gunnarsson-Östling; Balfors, 2023; Rygzynov *et al*, 2023). Essa abordagem inclusiva pode melhorar a aceitação social dos projetos, como também pode assegurar que os benefícios gerados sejam distribuídos de forma mais equitativa entre as populações impactadas.

A análise bibliométrica, a partir dos termos de busca, evidencia a ausência de trabalhos que abordem a região Amazônica, ressaltando a importância de estudos que investiguem essa área. A falta de pesquisas focadas na Amazônia Legal destaca a necessidade de compreender melhor os desafios e oportunidades específicos dessa região, especialmente em relação aos aspectos analisados sociais, econômicos e ambientais.

De acordo com os resultados da análise de tendências de pesquisa, três vias de pesquisa foram formuladas como possíveis lacunas e direções para estudos que relacionam a influência dos corredores/infraestruturas de transportes para o desenvolvimento sustentável: a) Analisar o impacto social econômico e ambiental de forma conjunta correlacionando com distintas infraestruturas de transportes; b) Explorar questões relacionadas à governança e a políticas de sustentabilidade através de planos e programas; c) Identificar impactos e avaliar modelos inovadores de mitigação nos municípios atravessados por diferentes infraestruturas de transportes.

Por fim, os avanços na literatura sugerem uma crescente conscientização sobre o papel estratégico dos corredores de transporte como facilitadores de um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável já apontado por Vickerman, 2020. Estudos recentes têm explorado

não apenas os benefícios econômicos, mas também os desafios de integrar critérios de sustentabilidade no planejamento e operação desses corredores, apontando para a necessidade de políticas que incentivem investimentos em tecnologias verdes, infraestrutura resiliente e práticas de gestão ambientalmente responsáveis. Assim, a literatura atual não só reforça a relevância dos corredores de transporte na promoção do desenvolvimento sustentável, mas também aponta para um caminho de inovação e responsabilidade compartilhada entre governança, iniciativa privada e sociedade.

Conforme já mencionado, o conjunto de dados analisados na bibliometria corresponde a 482 artigos. Para as próximas etapas, após a leitura do título, resumo e palavras-chaves, detectou-se 93 trabalhos relacionados diretamente com a pesquisa, os referidos artigos foram lidos na íntegra e uma nova filtragem foi realizada, apontando 41 trabalhos com contribuições relacionadas diretamente com esta tese. Dessa forma, estes 41 trabalhos foram os mais utilizados como sustentação das argumentações nas etapas posteriores, juntamente com algumas obras importantes da literatura sobre desenvolvimento sustentável e corredores de transportes.

Após a leitura dos artigos selecionados e de algumas obras clássicas relacionadas ao tema, será apresentado o referencial teórico, este por sua vez refere-se a uma estrutura conceitual ou teórica que fundamenta o estudo e fornece um arcabouço para a análise e interpretação dos resultados. O referencial teórico é composto por teorias, modelos, conceitos e princípios relevantes utilizados para explicar um fenômeno em questão (Gil, 2010).

2.2. Referencial teórico

Este subtópico é composto por aspectos da pesquisa que concentram a construção de um quadro conceitual sólido e na explicação dos fundamentos teóricos que sustentam a investigação relacionada ao tema central da pesquisa e a subtemas que englobam: desenvolvimento sustentável; corredores de transportes; planos e programas de fomento para infraestrutura; Amazônia; indicadores sociais, econômicos, ambientais; Análise de Componentes Principais.

2.2.1. Considerações gerais sobre desenvolvimento

O conceito de desenvolvimento é multifacetado e tem sido objeto de estudos e debates ao longo da história, refletindo diferentes perspectivas teóricas e ideológicas sobre o assunto. Para compreender melhor esse tema, é importante examinar as correntes de pensamento predominantes que influenciaram a concepção do termo ao longo do tempo.

Uma das primeiras abordagens sobre o desenvolvimento pode ser encontrada nas teorias do Iluminismo, que enfatizavam o progresso humano por meio da razão, da ciência e do avanço tecnológico. Essa visão otimista do desenvolvimento influenciou o pensamento econômico clássico, representado por autores como Adam Smith e David Ricardo, que acreditavam no poder do livre mercado e na divisão do trabalho para impulsionar o crescimento econômico (Guan; Zhang; Zhu, 2021).

No século XIX, surgiram as teorias do evolucionismo social, que propunham uma visão hierárquica do desenvolvimento das sociedades, com estágios predefinidos de progresso. O pensamento evolucionista influenciou a antropologia e a sociologia, mas também foi criticado por sua visão eurocêntrica e etnocêntrica (Laurino, 2019).

A teoria clássica da localização de Thünen, proposta pelo economista alemão Johann Heinrich von Thünen no século XIX, é um dos marcos fundamentais na compreensão da economia espacial e da organização do espaço geográfico (Parr, 2015). Thünen desenvolveu sua teoria para explicar os padrões de uso da terra em torno das áreas urbanas e a distribuição das atividades econômicas. Segundo essa teoria, os agricultores escolhem quais cultivos plantar com base na relação entre os custos de produção e os preços de mercado, considerando a distância ao mercado como o principal fator determinante.

A principal contribuição da teoria de Thünen foi demonstrar como a localização das atividades agrícolas é influenciada pela disponibilidade de terras, custos de transporte e demanda por produtos agrícolas (Parr, 2015). De acordo com essa teoria, as atividades agrícolas mais intensivas, que exigem mais mão de obra e têm maior valor de mercado, tendem a se concentrar mais próximas aos centros urbanos, onde o custo do transporte é menor e a demanda por alimentos é maior. Por outro lado, as atividades agrícolas menos intensivas em mão de obra e de menor valor econômico são localizadas mais distantes dos centros urbanos, onde a terra é mais barata.

Embora a teoria de Thünen tenha sido desenvolvida há mais de dois séculos, suas ideias continuam relevantes para entender os padrões de uso da terra e a distribuição das atividades econômicas nas áreas rurais e urbanas. Seu trabalho influenciou significativamente o pensamento econômico e geográfico, fornecendo uma base sólida para o estudo da organização do espaço econômico e as interações entre os agentes econômicos e o ambiente físico (Alonso; Rey, 2012).

Durante o século XX, diante do aumento das desigualdades globais e dos desafios sociais e ambientais, surgiram novas abordagens para o progresso. Enquanto os defensores do pensamento Keynesiano defendiam a intervenção estatal na economia para promover o pleno

emprego e o bem-estar social, os seguidores do pensamento marxista viam o desenvolvimento como um processo de conflito de classes e propunham uma mudança nas estruturas sociais.

Na década de 1950, o economista Walt Rostow propôs a teoria do estágio de crescimento econômico, que sugeria uma sequência de fases pelas quais todas as sociedades passariam em direção ao desenvolvimento. Essa abordagem foi criticada por sua linearidade e falta de consideração com as especificidades culturais e históricas de cada país (Spaiser *et al*, 2014).

A partir da década de 1970, surgiram abordagens mais holísticas e multidisciplinares sobre o desenvolvimento, como a teoria da dependência e a abordagem das capacitações de Amartya Sen (Mansdotter *et al*, 2020). A teoria da dependência criticava as desigualdades entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, enquanto a abordagem das capacitações enfatizava a importância do desenvolvimento humano e da participação das pessoas no processo de desenvolvimento.

Atualmente, o debate sobre desenvolvimento continua evoluindo, com novas abordagens surgindo para lidar com os desafios globais, como a pobreza, a desigualdade, as mudanças climáticas e a globalização. O desenvolvimento sustentável tornou-se uma preocupação central. Nesse contexto, é crucial para uma região como a Amazônia Legal equilibrar o crescimento econômico com a preservação ambiental e com a justiça social. Além disso, é importante considerar a influência das infraestruturas inseridas nessa região ao longo do tempo, além de verificar o real impacto de tais infraestruturas no desenvolvimento regional sustentável.

2.2.2. Considerações gerais sobre desenvolvimento regional sustentável

A ONU estipulou que até o ano de 2030, 17 Objetivos e 169 metas precisam ser alcançados por todos os países. Os chamados Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) envolvem temas diversos, como erradicação da pobreza, segurança alimentar e agricultura, saúde, educação, igualdade de gênero, redução das desigualdades, energia, água e saneamento, padrões sustentáveis de produção e de consumo, mudança do clima, cidades sustentáveis, proteção e uso sustentável dos oceanos e dos ecossistemas terrestres, crescimento econômico inclusivo, infraestrutura e industrialização, governança, e meios de implementação (Ministério do Meio Ambiente, 2022).

Infraestruturas de transportes em diversos contextos tendem a produzir externalidades negativas como desmatamento, degradação dos ecossistemas e redução da biodiversidade, sendo esses efeitos negativos também prejudiciais no longo prazo ao crescimento econômico

(Berg *et al.*, 2015). Assim, se faz necessário políticas que se promovam o desenvolvimento social e econômico com amenização dos impactos ambientais.

O desenvolvimento regional sustentável é uma abordagem que passou a ter relevância global com mais intensidade a partir de 1992, na conferência Rio-92 ou Cúpula da Terra, realizada no Rio de Janeiro - RJ. O objetivo principal é a busca na promoção do crescimento econômico, a inclusão social e a preservação ambiental em uma determinada região, de forma integrada e equilibrada (Brasil, 2019). Essa concepção de desenvolvimento reconhece a interdependência entre os aspectos econômicos, sociais e ambientais e busca encontrar soluções que promovam o bem-estar das comunidades.

De acordo com o *International Council for Local Environmental Initiatives* (ICLEI, 1996), uma das bases fundamentais para as abordagens do desenvolvimento regional sustentável foi a Agenda 21, um documento estratégico elaborado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Rio-92 ou Cúpula da Terra. Realizada entre 3 e 14 de junho de 1992, essa conferência reuniu no Rio de Janeiro/RJ, 108 chefes de Estado dos países-membros da ONU, que se empenharam na busca por soluções globais para desafios ambientais e socioeconômicos urgentes. A Agenda 21 emergiu desse encontro como um roteiro abrangente e visionário para o desenvolvimento sustentável em níveis local, nacional e global.

A Agenda 21 propôs uma série de diretrizes para promover o desenvolvimento sustentável, reconhecendo a importância da participação das comunidades locais e da integração entre os setores público e privado. A conferência Rio-92 consagrou o conceito de desenvolvimento sustentável e discutiu um modelo de crescimento econômico menos consumista e mais adequado ao equilíbrio ecológico (ICLEI, 1996).

Outra abordagem importante para o desenvolvimento regional sustentável é da teoria dos sistemas socioecológicos, que destaca a interação entre os sistemas naturais e sociais em uma determinada região (Ostrom, 2009). Essa abordagem reconhece a importância da conservação dos recursos naturais e da promoção de práticas econômicas e sociais que sejam ambientalmente sustentáveis. Nessa mesma linha, considerando um conceito mais amplo, segundo a teoria dos três pilares, o desenvolvimento sustentável depende da integração equilibrada entre os aspectos econômicos, sociais e ambientais (Elkington; Rowlands, 1999).

A teoria dos três pilares da sustentabilidade, proposta pelo economista John Elkington em 1997, consolidou-se como um marco teórico ao integrar as dimensões econômica, social e ambiental em um modelo holístico, conhecido como *Triple Bottom Line* (TBL). Elkington e Rowlands (1999) argumentam que o desenvolvimento sustentável só é viável quando as

organizações equilibram lucratividade (pilar econômico), equidade social (pilar social) e preservação dos ecossistemas (pilar ambiental). Essa abordagem foi amplamente adotada como referência para políticas corporativas e governamentais, destacando-se em documentos como o Relatório Brundtland (1987) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (2015). Autores como Sachs (2008), reforçam que a interdependência entre esses pilares é essencial para evitar *trade-offs* prejudiciais, como o crescimento econômico às custas da degradação ambiental.

A literatura crítica, contudo, aponta limitações na aplicação prática do modelo. Estudos de Bebbington (2001) e Milne e Gray (2013) questionam a efetividade do TBL, em contextos em que os interesses econômicos prevalecem sobre os demais pilares, gerando “sustentabilidade superficial”. Além disso, a dificuldade em mensurar e comparar indicadores sociais e ambientais com métricas econômicas tradicionais, como o PIB, é um desafio (Lawn, 2003). Apesar disso, o modelo permanece relevante por sua capacidade de comunicar a complexidade da sustentabilidade de forma acessível, servindo como base para *frameworks* adaptativos, como a Economia Circular e os *Environmental, Social, and Governance* (ESG).

Na contemporaneidade, o TBL ganha novos contornos frente a crises globais, como as mudanças climáticas e a desigualdade social. Trabalhos recentes, como os de Elkington (2018), revisitam a teoria, propondo uma evolução para o “TBL 2.0”, que incorpora noções de regeneração ambiental e justiça intergeracional. Essa atualização dialoga com as pesquisas de Raworth (2017), que defendem um modelo de “economia *donut*”, onde limites planetários e necessidades humanas orientam o desenvolvimento. Assim, embora sujeito a críticas, o modelo dos três pilares, adotado nesta Tese, mantém-se como um eixo central na literatura, estimulando diálogos entre academia, setor privado e sociedade civil sobre caminhos para uma sustentabilidade verdadeiramente integrada e para o alcance dos ODS.

No contexto amazônico, a região possui características próprias e tem sido foco da preocupação do mundo para a promoção da preservação ambiental. Abramovay (2022) aponta que a distância entre os valores incorporados nos ODS e as infraestruturas instaladas ou planejadas na Amazônia para os próximos anos representa uma ameaça aos ecossistemas local, regional e global.

Corroborando com Abramovay (2022), Brondizio *et al* (2021) citam que as características mais importantes e desafiadoras da infraestrutura para o desenvolvimento sustentável da Amazônia estão em suas especificidades territoriais:

“Ao contrário dos megaprojetos, a característica mais importante e mais desafiadora da infraestrutura para o desenvolvimento sustentável está em suas especificidades

territoriais. O planejamento de estradas, ferrovias, hidrelétricas e instalações para a mineração obedece a regras da engenharia que, embora adaptadas a cada região, respeitam preceitos gerais de projetos, construção e funcionamento. Quando se trata do uso sustentável da biodiversidade, porém, o ponto de partida só pode ser o conhecimento dos territórios e das pessoas que neles residem”. (Abramovay, 2022. p. 31)

O documento intitulado “Relatório de Desenvolvimento Humano 2021/2022” publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), traz em seu bojo diversos indicadores que podem ser considerados para avaliar o desenvolvimento sustentável em um determinado lugar. Os indicadores são divididos por categorias, devido as suas características específicas. No Quadro 5 abaixo são apresentados os principais indicadores de avaliação do desenvolvimento sustentável:

Quadro 5 - Indicadores de desenvolvimento sustentável.

Indicadores Sociais	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)
	Taxa de alfabetização
	Expectativa de vida ao nascer
	Taxa de mortalidade infantil
	Acesso a serviços básicos de saúde e educação
Indicadores Econômicos	Produto Interno Bruto (PIB) per capita
	Taxa de desemprego
	Crescimento econômico
	Distribuição de renda
	Investimento estrangeiro direto
Indicadores Ambientais	Emissões de gases de efeito estufa
	Desmatamento e reflorestamento
	Qualidade do ar e da água
	Biodiversidade
	Uso de recursos naturais renováveis e não renováveis
Indicadores de Infraestrutura	Acesso a energia elétrica
	Disponibilidade de água potável
	Qualidade e disponibilidade de transporte
	Acesso à internet e tecnologias de comunicação
Indicadores de Governança	Transparência e <i>accountability</i> institucional
	Eficiência do sistema judiciário
	Participação da sociedade civil
	Grau de corrupção

Fonte: Adaptado da ONU, 2022

No Brasil, a disponibilidade de dados para muitos dos indicadores mencionados ainda é um desafio significativo principalmente para a obtenção de dados anuais. Embora existam órgãos governamentais responsáveis por coletar e publicar informações sobre os mais diversos temas, a qualidade, a atualidade e a acessibilidade a esses dados, muitas vezes são insuficientes (Gomes, 2017). Isso cria obstáculos para pesquisadores, gestores públicos e sociedade civil que almejam se apropriar e analisar uma maior variedade de dados.

Além disso, a complexidade e a diversidade do território brasileiro também representam um desafio adicional para a disponibilidade de dados (Soligo, 2012). Diferenças regionais significativas em termos de infraestrutura, acesso a serviços básicos e qualidade de vida dificultam a compilação e a análise de informações abrangentes e representativas. A falta de padronização nos métodos de coleta e relatório de dados entre diferentes regiões e instituições também pode levar a discrepâncias e inconsistências nos indicadores, tornando difícil comparar e avaliar o progresso ao longo do tempo (Braga, 2004).

Por outro lado, em relação a políticas públicas no contexto nacional, o desenvolvimento regional sustentável tem sido objeto de debate nos últimos anos, especialmente nas regiões mais vulneráveis do país, como a Amazônia e o Nordeste. Programas como o Programa de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (PDS), o Programa de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (PDSA) e o Plano Amazônia Sustentável (PAS) buscam promover o desenvolvimento econômico e social dessas regiões, ao mesmo tempo em que asseguram a conservação dos ecossistemas locais.

O Plano Amazônia Sustentável (PAS), lançado em 2008, apresenta uma abordagem abrangente para promover o desenvolvimento sustentável na Amazônia brasileira. Uma de suas ideias centrais é conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental, reconhecendo a importância estratégica da região para a biodiversidade global e para o equilíbrio climático. O PAS busca promover atividades econômicas sustentáveis, como o manejo florestal e a agropecuária de baixo impacto, que garantam a geração de renda para as populações locais sem comprometer a integridade dos ecossistemas amazônicos. Além disso, o plano enfatiza a necessidade de fortalecer a governança ambiental e territorial, envolvendo as comunidades locais, povos indígenas, governos estaduais e municipais, e setor privado na gestão sustentável dos recursos naturais da região (Ministério do Meio Ambiente, 2022).

O Plano Amazônia Sustentável prevê a promoção da inclusão social e do desenvolvimento humano na região. O PAS reconhece os desafios socioeconômicos enfrentados pelas populações amazônicas, como a pobreza, a desigualdade e o acesso limitado a serviços básicos, e propõe a implementação de políticas públicas voltadas para a melhoria da qualidade de vida dessas comunidades (Ministério do Meio Ambiente, 2022). Isso inclui investimentos em infraestrutura social, como educação, saúde e saneamento básico, bem como o fortalecimento da economia local por meio do apoio ao empreendedorismo e à diversificação produtiva. O objetivo é criar condições para que as populações amazônicas possam participar ativamente do desenvolvimento sustentável da região, garantindo seus direitos e sua dignidade,

ao mesmo tempo em que contribuem para a conservação dos recursos naturais e culturais da Amazônia.

2.2.3. Influência dos corredores de transportes no desenvolvimento sustentável

Os corredores de transporte desempenham um papel importante na conectividade e no desenvolvimento econômico das regiões por onde passam (Rodrigue, 2020). No entanto, o planejamento e a gestão desses corredores podem apresentar desafios significativos em termos de impactos ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, abordagens sustentáveis para os corredores de transporte têm se tornado cada vez mais relevantes, buscando conciliar a necessidade de mobilidade e conectividade com a preservação dos recursos naturais e com a promoção do desenvolvimento local.

A gestão ambiental integrada dos corredores de transporte é essencial para minimizar os impactos negativos sobre os ecossistemas locais e as comunidades adjacentes. Isso envolve a implementação de medidas de conservação da biodiversidade, recuperação de áreas degradadas e mitigação dos impactos da infraestrutura de transporte sobre os recursos hídricos, fauna e flora.

No contexto brasileiro, um dos primeiros pontos é esclarecer a diferenciação de corredores de transportes e corredores econômicos. Segundo Bajwoluk e Langer (2022), os corredores de transportes estão intrinsecamente associados aos corredores econômicos, porém com algumas diferenças. O corredor de transporte pode ser um eixo utilizado para o transporte urbano/metropolitano ou um eixo integrador de várias cidades dentro de uma região.

A infraestrutura de transporte presente em determinada região pode facilitar grandes trocas econômicas. De acordo com Rodrigue (2020), é provável que surjam oportunidades econômicas onde as infraestruturas de transporte possam garantir o acesso a mercados e recursos. A partir desse ponto, onde as infraestruturas de transportes estão fortemente conectadas e influenciam mudanças econômicas, têm-se assim a formação de corredores econômicos.

Os corredores econômicos são a manifestação das relações econômicas entre cidades, regiões e países (Xu *et al*, 2022). Eles representam uma das formas importantes de realizar a cooperação econômica regional. Portanto, se faz necessário compreender a situação de desenvolvimento dos corredores econômicos no mundo atual. Assim, no campo da engenharia dos transportes, visando o desenvolvimento territorial, a utilização de corredores pode garantir a efetividade das trocas econômicas (Aragão *et al*, 2022). A compreensão da estrutura

econômica a partir da dinâmica dos corredores pode ser benéfica para a expansão de pesquisas na área e pode servir de diretriz para os gestores.

Os corredores econômicos ou cinturão econômico são uma realidade que ocorre das mais diversas formas em diversas regiões do mundo. De acordo com Xu *et al.* (2021), os principais corredores econômicos do mundo estão distribuídos na Europa, América do Norte, Sudeste e Leste Asiático. O estudo de corredores é um campo que tem forte relação com a engenharia territorial e vem evoluindo dentro da pesquisa acadêmica (Aragão *et al.*, 2022).

Fistung *et al.* (2013) reforçam que nos últimos anos em nível global, o tópico relacionando às relações entre o desenvolvimento regional sustentável e os transportes, tem emergido. Rosik e Wojcik (2023) destacam a inegável importância das infraestruturas de transportes, mas sua influência, magnitude e intensidade podem variar consideravelmente de caso a caso. Observam ainda a dificuldade de aferir os impactos indiretos ou induzidos que podem variar dependendo da perspectiva de tempo.

Estudos de Baber *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2023), revelam que as infraestruturas de transportes na Amazônia exercem forte influência nos impactos ambientais, tais como, focos de queimadas e desmatamento no entorno de rodovias oficiais e não oficiais, assim como influenciam na exploração de minérios em garimpos ilegais em terras indígenas.

Dessa maneira, pesquisas que apontam estratégias e abordagens que podem ser adotadas para mitigar os impactos negativos e promover o desenvolvimento sustentável em torno dos corredores de transportes ou corredores econômicos se tornam cada vez mais importantes. Na Amazônia, essa discussão é ainda mais relevante visto a grandeza global dessa área. De acordo com o Banco Mundial (2023), há vínculos importantes entre sustentabilidade ambiental e progresso social, e qualquer abordagem de desenvolvimento para a Amazônia Legal deve reconhecer os desejos legítimos e especificidades de seus nove estados de elevar o padrão de vida de seus cidadãos.

Logo, as especificidades da inserção das infraestruturas de transporte na Amazônia, sem considerar aspectos locais, têm alto poder de impacto, principalmente nos aspectos ambientais (Silva *et al.*, 2023). No Brasil, a partir dos anos de 1990, houve algumas intenções governamentais para a criação de corredores nacionais e de integração com a América do Sul. Os Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento - ENID e a Integração da Infraestrutura Regional Sul-Americana - IIRSA foram projetos que não obtiveram êxito. De acordo com Aragão *et al.*, (2022):

Ambos os programas foram descontinuados. Na base desse desfecho, encontra-se um embate entre duas visões para os eixos e para a própria integração subcontinental: a

primeira, de mercado, voltada para integração competitiva no mercado internacional e nas respectivas cadeias de valor, integração essa que requereria, a rigor, forte poder supranacional na institucionalização, tais como recomendado na literatura analisada, e que foi inicialmente de fato exercido pelas entidades multilaterais. Já a segunda foca prioritariamente interesses regionais e sociais e reforça a posição da soberania dos países-membros. A estratégia de integração competitiva não estaria, pois, priorizando esses interesses. Além disso, os projetos, quando implantados, já estariam provocando danos ambientais consideráveis. Aragão *et al.*, pág. 08.

Observa-se que o esboço das propostas não tratava diretamente de questões de sustentabilidade socioambiental. Nota-se que um corredor econômico necessita de forte investimento em infraestrutura, além disso deve trazer impactos socioambientais positivos.

A partir de 1950, ações governamentais têm ocorrido para garantir a expansão das redes de transportes no Brasil. Entretanto, em muitos trechos da Amazônia, corredores de transportes continuam funcionando de forma ambientalmente precária e economicamente ineficiente, como exemplo, pode-se citar o trecho da Transamazônica (BR-230) de Itaituba-PA a Lábrea-AM. A Figura 8 ilustra as condições da BR-230 em diversas épocas.

Figura 8 - Transformações na Rodovia BR-230 (Transamazônica) em três momentos históricos.



Fonte: Folhapress, 2012; Hardmob, 2020; Wikiloc, 2024.

Portanto, os corredores econômicos são áreas onde ocorre concentração de atividades econômicas, enquanto os corredores de transporte são as infraestruturas físicas que facilitam o fluxo de pessoas, bens e informações entre essas áreas. Os dois conceitos estão interligados, pois a presença de infraestrutura de transporte eficiente é fundamental para o desenvolvimento e a viabilidade dos corredores econômicos.

Na Amazônia há corredores de transportes, principalmente rodovias e hidrovias, que servem essencialmente para facilitar o transporte de mercadorias, passageiros e informações entre regiões distantes. Supõem-se que esses corredores de transporte foram projetados para melhorar a acessibilidade e a conectividade, reduzir os custos de transporte e promover o desenvolvimento econômico e social ao longo de seu trajeto. Porém, estudos de Borges *et al.* (2025) evidenciam que muitos projetos não foram totalmente finalizados e, portanto, não alcançaram objetivos desenvolvimentistas para regiões isoladas da Amazônia brasileira. Percebe-se que quanto mais se adentra a Amazônia, no sentido de leste a oeste da rodovia Transamazônica (BR-230), menores são os indicadores de desenvolvimento socioeconômico (Borges *et al.*, 2025).

No contexto brasileiro, há uma lacuna na realização de uma análise mais aprofundada da relação entre desenvolvimento sustentável e corredores de transporte, que considere de maneira integrada aspectos sociais, econômicos e ambientais. Na Amazônia, considerando todas as suas particularidades e importância global, esses estudos são relevantes e podem apontar caminhos para o alcance dos ODS propostos pela ONU.

A participação e o engajamento das partes interessadas, incluindo governos e comunidades locais, setor privado e organizações da sociedade civil são fundamentais para o sucesso de abordagens sustentáveis para os corredores de transporte. Estudos acadêmicos, a promoção do diálogo e da colaboração entre os atores supracitados pode ajudar a identificar soluções inovadoras e garantir a implementação efetiva de planos e programas que fomentem a sustentabilidade da Amazônia.

2.2.4. Planos e programas de fomento a infraestruturas na Amazônia

Em se tratando de fatos históricos, houve várias tentativas de integração da Região Amazônica e até mesmo do povoamento no final do século XIX e início do século XX, com a exploração do látex das seringueiras (ciclo da borracha), porém esses planos políticos e econômicos não foram promissores, conforme destaca Celso Furtado:

“Os planos do imigrante nordestino que seguia para a Amazônia, seduzido pela propaganda fantasista dos agentes pagos pelos interesses da borracha, ou pelo exemplo das poucas pessoas afortunadas que regressavam com recursos, baseavam-se nos preços que o produto havia alcançado em suas melhores etapas. Ao declinarem estes de vez, a miséria generalizou-se rapidamente. Sem meios para regressar e na ignorância do que realmente se passava na economia mundial do produto, lá foram ficando. Obrigados a completar seu orçamento com recursos locais de caça e pesca, foram regredindo à forma mais primitiva de economia de subsistência, que é a do homem que vive na floresta tropical, e que pode ser aferida por sua baixíssima taxa de reprodução. Excluídas as consequências políticas que possa haver tido, e o enriquecimento fortuito de reduzido grupo, o grande movimento de população nordestina para a Amazônia consistiu basicamente em um enorme desgaste humano

em uma etapa em que o problema fundamental da economia brasileira era aumentar a oferta de mão-de-obra” (Furtado, 1987. p. 196).

Conforme apontado por Furtado (1987), tais promessas revelaram-se ilusórias. O autor descreve como os trabalhadores migrantes, seduzidos pela propaganda e pela perspectiva de enriquecimento, foram vítimas de um processo de desilusão e regressão socioeconômica. Com o declínio dos preços da borracha no mercado internacional, a maioria dos migrantes se viu presa a uma economia de subsistência precária, sem meios para retornar às suas regiões de origem e alheia às dinâmicas globais que influenciavam sua realidade. Furtado interpreta esse episódio como um enorme desgaste humano em um momento em que o Brasil carecia, sobretudo, de ampliar sua oferta de mão de obra no Sudeste e Centro-Sul, e não de promover uma ocupação desorganizada e predatória da Amazônia.

A análise de Furtado evidencia uma das marcas estruturais dos planos voltados para a região: a ausência de uma política de desenvolvimento sustentável de longo prazo, substituída por ações pontuais, muitas vezes impulsionadas por interesses externos e descoladas das especificidades socioambientais da região. Isso reflete uma lógica desenvolvimentista verticalizada, em que a Amazônia é vista como território a ser explorado e não como espaço de vivências, culturas e ecossistemas complexos que exigem planejamento sensível às suas particularidades.

Nota-se, portanto, que desde o século XIX há registros de planos e programas cujo objetivo principal foi promover a integração territorial da Amazônia aos centros de poder político e econômico do país. Nos trechos seguintes, será apresentada uma introdução sobre os marcos mais recentes dessas políticas, com destaque para os estudos de Bertha Becker, seguida da descrição dos principais planos, programas e projetos de infraestrutura de transportes terrestres no Brasil, com ênfase especial àqueles voltados à região amazônica nas últimas décadas. Tais iniciativas representam formas de regulação do processo de territorialização por meio de obras públicas, com promessas de desenvolvimento regional, mas também com implicações socioambientais expressivas.

Becker (2005) revela que houve grandes transformações na Amazônia a partir de 1970, visto que a partir desta década se intensificou a regulamentação de planos e programas do Estado para a região. Becker (2005) lista algumas mudanças na dinâmica econômica e territorial da Amazônia a partir da década de 1970:

a) Houve descentralização demográfica e urbana na Amazônia, pois pela primeira vez na história da região, observou-se que metade da população passou a residir fora das principais

aglomerações urbanas, como Belém e Manaus que representavam apenas 22,46% da população urbana em 2000;

b) O padrão dendrítico da rede urbana foi rompido, com as cidades agora concentrando-se ao longo dos eixos viários;

c) Configuram-se regiões metropolitanas em Belém, Manaus, São Luiz e Cuiabá;

d) A influência de Manaus ultrapassa a de Belém, com a capital amazonense assumindo a liderança na região ocidental do Vale do Amazonas;

e) Uma exceção ao crescimento das cidades médias, com a persistência de um alto índice de primazia, é observada nos estados do Pará, Amazonas e Roraima. Em contrapartida, nos estados de Rondônia, Mato Grosso e Tocantins, a maior parte da população urbana está distribuída entre cidades pequenas e médias;

f) Na década de 1990, os processos de urbanização e desconcentração acentuam-se por novas razões: 1) criação de novos municípios estimulada pela Constituição de 1988, sobretudo em Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e Pará; 2) migração intrarregional e não inter-regional, que se reduziu; 3) crescimento vegetativo da população;

g) A concentração das cidades ao longo de eixos de circulação fluvial e viários delineia um macrozoneamento regional. Nesses eixos, é notável a aglomeração da população rural, dos migrantes, das cidades espontâneas e das estabelecidas durante o período de colonização, juntamente com os investimentos públicos e privados, além dos conflitos sociais e ambientais; A tendência à proliferação de cidades pequenas e médias, localizadas mais no interior, continua a alterar o macrozoneamento regional, mas aponta para uma maior proximidade com a floresta. Isso se reflete na necessidade de planejar a construção de estradas vicinais e, simultaneamente, na ampliação da reflexão sobre as interações entre cidade e floresta.

Várias das questões abordadas por Becker (2005) têm relação com os planos e programas governamentais implementados pelo Estado na Região Amazônica, pois nota-se que ao longo do tempo, grandes projetos de infraestruturas, principalmente de transportes, foram implantados no Brasil buscando o crescimento e o desenvolvimento regional.

Nesse contexto, ao longo dos últimos cem anos a Amazônia brasileira passou a ser foco de projetos governamentais de desenvolvimento que desencadearam certo fervor nacionalista, expresso por slogans como “integrar para não entregar” e “você constrói o Brasil”, citados na imprensa brasileira nas décadas de 1960 e 1970. Inicialmente, as principais ações governamentais visavam à ocupação da Amazônia, a partir da inserção de grandes obras de infraestrutura, para ao mesmo tempo promover a sustentabilidade da região (Braga, 2012; Moran 2016) e a dinamização da economia regional.

Planos e programas são ferramentas utilizadas pela gestão pública para a promoção e desenvolvimento de determinadas ações nos mais diversos lugares (Cardoso, 2009). A partir do levantamento dos principais documentos governamentais, nota-se que desde a Proclamação da República do Brasil, ficou mais evidente o fato de que os gestores públicos recorrem à elaboração de Planos e Programas específicos para determinadas regiões. As instituições detêm o poder de elaboração, mas há pouca eficiência quando se consideram dados concretos referentes ao desenvolvimento regional no último século, em especial quando se trata de regiões isoladas do Brasil, como é o caso da Amazônia (Borges *et al.*, 2025).

Diante de uma região tão extensa, com cerca de 5,1 milhões de km², pode-se afirmar que os problemas de implantação das infraestruturas, em especial de transporte, foram e continuam sendo, um desafio para o Estado. É importante salientar o papel do Estado em buscar equidade e desenvolvimento de determinadas regiões. A ação do Estado exerce papel fundamental no alcance de objetivos ligados principalmente ao desenvolvimento. Mazzucato (2014) afirma que o Estado exerce um papel estratégico no desenvolvimento de setores econômicos capazes de gerar grandes inovações tecnológicas. Entende-se que esse é o caso das infraestruturas básicas (transportes, energia, comunicação, educação, saúde) necessárias ao desenvolvimento local e regional.

No Brasil, a presença do Estado na formulação e implementação de políticas de infraestruturas de transportes tem sido constante ao longo das décadas, com ações que atravessam diferentes períodos políticos e econômicos. Essas políticas, usualmente articuladas por meio de planos, programas e projetos de alcance nacional, têm como foco estratégico a integração territorial e o estímulo ao desenvolvimento de um país com dimensões continentais (Moran, 2016). No caso da Amazônia Legal, tais políticas vêm sendo historicamente inseridas em agendas desenvolvimentistas do Governo Federal, muitas vezes associadas à exploração de recursos naturais e à expansão das fronteiras produtivas.

A delimitação da Amazônia Legal, estabelecida inicialmente pela Lei nº 1.806, de 6 de janeiro de 1953, e posteriormente reafirmada com a criação da Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) pela Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966, configurou um marco institucional importante. Com uma área de abrangência que inclui todos os sete estados da Região Norte, além do Mato Grosso e parte do Maranhão, a SUDAM passou a coordenar ações voltadas ao planejamento e execução de políticas públicas para 773 municípios. Seu objetivo central era promover o desenvolvimento regional em sintonia com os interesses nacionais, ainda que nem sempre com atenção suficiente às especificidades socioculturais e ambientais da região (Brasil, 1966).

O Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia (PRDA 2020–2023) reconhece os entraves estruturais persistentes na região, especialmente no que diz respeito aos modos de transporte. Conforme destacado no próprio plano:

“A dificuldade de integrar a região e a insuficiente capacidade governamental de aprimorar modelos de desenvolvimento econômico adequados às particularidades do local, historicamente, tem relegado à região posição secundária nos programas e projetos governamentais na área da infraestrutura”. (SUDAM- PRDA, 2020. p. 92)

Essa afirmação revela um paradoxo: embora a Amazônia seja estratégica para o país, ela continua sendo tratada com baixa prioridade em termos de investimentos estruturais perenes, sobretudo em logística e conectividade. Essa constatação reforça a ideia de que os desafios de integração da Amazônia não se limitam a aspectos físicos e territoriais, mas envolvem também falhas institucionais, descontinuidade de políticas públicas e descompasso entre as demandas locais e os modelos de desenvolvimento impostos de fora. A análise dos planos e programas de infraestrutura de transportes nos tópicos seguintes, busca justamente compreender como essas contradições se manifestaram ao longo dos anos e quais seus efeitos sobre o território amazônico, especialmente no que se refere à sustentabilidade e à equidade regional.

2.2.4.1. Plano Moraes (1869)

Ao longo da segunda metade do século XIX, período em que as ferrovias começaram a ser introduzidas no Brasil, diversos planos de integração foram apresentados aos governos, priorizando as vias férreas e a navegação fluvial e marítima como solução para o isolamento das regiões brasileiras, enquanto as rodovias foram descartadas como principal instrumento de integração (De Arroxelas Galvão, 1996). Entre os projetos propostos na época, destaca-se o estudo do engenheiro militar Eduardo José de Moraes, apresentado ao governo imperial em 1869. Em sua obra intitulada “Navegação Interior no Brasil”, Moraes propôs um plano ambicioso que previa o aproveitamento estratégico das bacias hidrográficas brasileiras. Ele sugeriu a implantação de uma vasta rede de navegação fluvial, interligando lugares remotos por meio de canais, eclusas e outras obras de engenharia, promovendo maior conectividade entre as diferentes regiões do país, conforme ilustração da Figura 9.

Figura 9 - Plano Moraes com destaque para as ligações por hidrovias



Fonte: Ministério dos Transportes, 2016.

O plano, conhecido como “Plano Moraes”, propunha a integração das principais bacias hidrográficas do país, como a do Rio Amazonas, a do Rio da Prata (que inclui os rios Paraná, Paraguai e Uruguai), a do São Francisco e a do Parnaíba, criando um sistema de transporte coeso. Além disso, o engenheiro defendeu a complementaridade entre o transporte fluvial, as ferrovias e a navegação de cabotagem, indicando a construção de três grandes ferrovias conectando os portos do Rio de Janeiro, Salvador e Recife às bacias mencionadas (Lima Neto *et al.*, 2001).

O Engenheiro Moraes justificou o projeto, tanto sob o ponto de vista estratégico, voltado para a defesa nacional, quanto econômica. Segundo ele, a ausência de meios acessíveis de transporte condenava as populações do interior a uma produção limitada, dado que os custos de transporte frequentemente se igualavam ou superavam o valor das mercadorias transportadas (De Arroxelas Galvão, 1996).

Ainda de acordo com De Arroxelas Galvão (Ibid), o contexto socioeconômico da época, marcado pela economia escravista, pelo latifúndio e pela dependência de poucos produtos de exportação, inviabilizou a concretização de planos como o de Moraes, mesmo com seus

aspectos práticos e viáveis. Assim, tais propostas acabaram representando apenas aspirações idealistas de estadistas visionários do século XIX.

2.2.4.2. Plano de Metas (1956)

O principal objetivo do Plano de Metas, elaborado durante o governo de Juscelino Kubitschek, era promover o desenvolvimento econômico e social do Brasil por meio de investimentos maciços em infraestruturas e industrialização (Marson, 2018). O plano foi implementado entre 1956 e 1961 e teve como meta principal alcançar um ritmo acelerado de crescimento econômico, visando modernizar o país e promover o seu desenvolvimento.

Entre os principais objetivos do Plano de Metas estavam na linha de frente, energia, alimentação, indústria de base, educação e transportes, incluindo a construção de rodovias, ferrovias, portos, aeroportos, entre outras obras de infraestrutura (Lima Neto *et al.*, 2001). Esses investimentos visavam integrar as diferentes regiões do Brasil, facilitar o transporte de mercadorias e pessoas, estimular o desenvolvimento industrial e agrícola e atrair investimentos estrangeiros.

O governo de Juscelino Kubitschek ficou conhecido por sua política de “50 anos em 5”, que buscava acelerar o desenvolvimento do país em um curto espaço de tempo. O Plano de Metas foi fundamental para impulsionar o crescimento econômico do Brasil nas décadas seguintes, contribuindo para a modernização do país e o aumento da sua participação no cenário internacional (Marson, 2018).

No contexto do plano de metas, foram idealizados projetos de várias rodovias. Os maiores investimentos foram nas regiões centro-oeste e sudeste, com a implantação das seguintes infraestruturas de transportes: BR-116 (Rodovia Presidente Dutra); BR-040 (liga Brasília a Belo Horizonte); BR-381 (Rodovia Fernão Dias); BR-364 (liga Limeira-SP a Comodoro-MT) e BR-163 (Cuiabá-Santarém).

A rodovia BR-163, uma das infraestruturas analisadas neste estudo, foi planejada para ligar o sul do país à região amazônica, facilitando o acesso a áreas de fronteira agrícola e promovendo a ocupação da Amazônia. A construção inicial se deu em governos posteriores e concentrou na ligação entre a cidade de Santarém-PA e Cuiabá, capital do Estado de Mato Grosso. A principal razão de priorizar essa ligação deve-se à necessidade do transporte de *comodities* agrícolas do Mato Grosso para o Porto de Miritituba ou Santarém (ambos no Pará), escoando a produção pela rodovia BR-163 e pela hidrovia do Rio Tapajós - Amazonas até o Oceano Atlântico.

2.2.4.3. Plano de Valorização e da Promoção do Desenvolvimento da Amazônia (1966).

Este Plano teve o objetivo principal de promover o desenvolvimento autossustentado da economia e o bem-estar social da região amazônica, de forma harmônica e integrada à economia nacional (Brasil, 1966). Como princípio, o referido plano destacava a obrigatoriedade de investimentos na Região Amazônica. É afirmado na Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966 que 3% dos tributos da União deveriam ser investidos nessa região.

Do ponto de vista das infraestruturas, já havia instituições (Banco de Crédito da Amazônia e Instituto de Pesquisas da Amazônia) que promoviam o desenvolvimento da região com incentivos do Estado. O planejamento e execução do Plano de Valorização e da Promoção do Desenvolvimento da Amazônia foram atribuídos à Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), que posteriormente foi extinta. Criou-se então, a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), cuja principal atribuição até os dias atuais é elaborar o Plano de Valorização Econômica da Amazônia e coordenar ou promover a sua execução, diretamente, ou mediante convênio com órgãos ou entidades públicas, inclusive sociedades de economia mista, ou através de contrato com pessoas ou entidades privadas (Brasil, 1966). A partir dessas ações, a Amazônia entrou para a agenda de planejamento do desenvolvimento do Brasil (Locatelli, 2009).

O plano, lançado durante o governo militar no Brasil, foi uma iniciativa ambiciosa destinada a impulsionar o desenvolvimento econômico e social da região amazônica. No entanto, o plano tinha uma abordagem excessivamente centrada no desenvolvimento econômico, negligenciando considerações ambientais e sociais essenciais. Embora tenha havido investimentos significativos em infraestruturas, como rodovias e hidrelétricas, esses projetos muitas vezes resultaram em impactos ambientais negativos, como o desmatamento e a degradação dos ecossistemas locais.

Além disso, o Plano de Valorização da Amazônia enfrentou desafios significativos de implementação devido à falta de planejamento adequado, visto que os planos eram concebidos de forma fechada, sem participação das comunidades locais (Locatelli, 2009). Muitos dos projetos planejados nunca foram concluídos (a exemplo, BR-230 - Transamazônica e BR-163 - Cuiabá-Santarém) e aqueles que foram executados, frequentemente não alcançaram os resultados esperados, devido à má gestão em termos de manutenção das infraestruturas. Isso resultou em desperdício de dinheiro público e contribuiu para a perpetuação da desigualdade e da pobreza na região.

É importante ressaltar que o Plano de Valorização e da Promoção do Desenvolvimento da Amazônia foi projetado sem a participação efetiva das comunidades locais e povos indígenas que habitavam a região (Locatelli, 2009). Isso levou a conflitos sociais e a violações dos direitos humanos, à medida que as populações tradicionais foram deslocadas de suas terras e privadas de seus meios de subsistência para dar lugar aos projetos de desenvolvimento. Em última análise, o Plano destacou a necessidade de uma abordagem mais holística e inclusiva para o desenvolvimento da região, que levasse em consideração não apenas os aspectos econômicos, mas também os ambientais, sociais e culturais.

O Plano não conseguiu alcançar seus objetivos de desenvolvimento econômico no longo prazo. Apesar de suas intenções, as propostas iniciais não conseguiram integrar efetivamente a Amazônia ao resto do país e ao mercado mundial. Algumas das obras não foram efetivadas, devido a descontinuidades de projetos em governos posteriores.

2.2.4.4. Plano de Integração Nacional (1970)

O Programa de Integração Nacional – PIN foi criado pelo Decreto-Lei nº 1.106, de 16 de junho de 1970, cuja finalidade específica era a de “financiar um plano de obras de infraestruturas, nas regiões compreendidas nas áreas de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE e da Superintendência Desenvolvimento Amazônia - SUDAM e promover suas mais rápidas integrações à economia nacional” (Brasil, 1970).

Nota-se que a prioridade era a construção de infraestruturas de transportes. O PIN promoveu a criação e concepção de diversas rodovias, entre elas estão a BR-163 e BR-230 (considerada uma das maiores rodovias do Brasil e que até os tempos atuais, tem trechos inacabados). Conforme Locatelli (2009), a rodovia BR-230 foi concebida sob a influência da ideologia de integração, a partir de fluxos de pessoas oriundas principalmente do Nordeste, junto com os estabelecimentos de áreas com fortes atividades econômicas. Ambas as ideias não foram tão promissoras (Locatelli, 2009; Braga, 2012; Souza, 2020).

As obras da rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163) foram idealizadas em governos anteriores, porém foram iniciadas na década de 1970, com a finalidade de ligar a Região Centro-Oeste ao Porto de Santarém. Essa obra foi realizada no contexto dos vultosos investimentos do Governo Militar em infraestrutura relacionados aos objetivos de integração nacional, de expansão da fronteira agrícola e de exploração dos recursos naturais da Região Amazônica (Ipea, 2004).

Apesar dos avanços durante o regime militar, a obra recebeu críticas significativas, especialmente no que diz respeito à construção de rodovias, como a BR-163. Pois a construção

dessas infraestruturas, embora tenha melhorado a conectividade, também levou ao desmatamento e à degradação ambiental em algumas áreas, além disso, a infraestrutura atravessa áreas de floresta preservada, reservas indígenas e zonas de conflitos fundiários entre garimpeiros, madeireiros, grandes agricultores e comunidades tradicionais (Pastre, 2018).

Desta forma, a rodovia BR-163, em particular, tem sido objeto de controvérsias devido aos impactos ambientais e sociais. Embora a rodovia tenha proporcionado uma rota de transporte crucial, também levou ao aumento do desmatamento na região da Amazônia, contribuindo para a perda de biodiversidade, principalmente na área conhecida como “Arco do Desmatamento”. A construção da rodovia também levou ao deslocamento de comunidades indígenas e locais (Pastre, 2018), muitas vezes sem compensação adequada ou consulta prévia, o que pode acarretar conflitos e tensões sociais.

Entre 1985 e 1995, os planos para o desenvolvimento da Amazônia foram genéricos. No entanto, durante o governo do Presidente Fernando Henrique Cardoso, o Estado brasileiro retomou o planejamento com a implementação dos programas “Brasil em Ação” e “Avança Brasil” em seus primeiro e segundo mandatos.

2.2.4.5. Programa Brasil em Ação (1996)

O Programa Brasil em Ação estava dentro do Plano Plurianual do governo do Presidente Fernando Henrique Cardoso. O programa foi lançado em agosto de 1996 e agrupava 42 empreendimentos, sendo que 16 eram na área social e 26 na área de infraestruturas. O principal objetivo das ações era reduzir custos na economia, propiciar o aumento da competitividade do setor produtivo e melhorar a qualidade de vida da população.

Em relação às infraestruturas de transporte para a Amazônia, o programa visava a integração dos modos rodoviário, hidroviário e ferroviário, a partir de grandes obras. Foram anunciadas: a melhoria da BR-163 (Cuiabá-Santarém), BR-364 (Cuiabá-Porto Velho) e melhoramento da hidrovía Araguaia-Tocantins. Em relação à hidrovía Araguaia-Tocantins, vale ressaltar que até os dias atuais não é utilizada de maneira eficiente e integrada. Conforme analisa Locatelli (2009), o Programa Brasil em Ação, no que se refere à Amazônia, não teve sucesso por não levar em conta as características locais. Ademais, novamente houve pouco diálogo com as populações originárias.

Apesar das iniciativas do Estado, o programa enfrentou grandes desafios, como a necessidade de ampliação dos investimentos em determinadas áreas, a questão da efetividade na implementação de políticas públicas e a busca por soluções para problemas estruturais do país, como a desigualdade social e a pobreza.

No cenário político da época, o Brasil iniciou, a partir da década de 1990, esforços para estabelecer corredores nacionais e promover a integração com outros países da América do Sul. No entanto, apesar dessas iniciativas, os projetos como os Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento (ENID) e a Integração da Infraestrutura Regional Sul-Americana (IIRSA) não alcançaram os resultados esperados, conforme já mencionado.

2.2.4.6. Programa Avança Brasil (2000)

O Programa Avança Brasil abrangeu diversas áreas, incluindo transporte, energia, saneamento básico, habitação, segurança pública, saúde e educação. O programa previa a realização de obras e projetos em todo o território nacional, com o objetivo de modernizar a infraestrutura do país e promover o desenvolvimento sustentável.

Na prática, o programa foi um conjunto de ações e medidas tomadas durante o segundo mandato presidencial de Fernando Henrique Cardoso, visando à continuidade de seu projeto anterior, o programa Brasil em Ação. Houve investimentos maciços na região centro-oeste, considerando a expansão agrícola (Haddad; Pastre, 2015). A produção da região centro-oeste era escoada por rodovias até os portos da região sudeste. Por um longo período houve poucos investimentos em infraestruturas da região amazônica e as vias de acesso até os portos da região norte eram intrafegáveis em períodos chuvosos. O programa previa a construção e melhoramento das principais vias de acesso à região amazônica a partir do centro-oeste.

Assim, este programa planejava realizar grandes investimentos na região amazônica. Entre suas metas estava a duplicação da extensão das rodovias pavimentadas e a construção de portos, hidrovias, ferrovias e usinas hidroelétricas (Nepstad *et al.*, 2000). O Programa Avança Brasil também incentivou a participação do setor privado por meio de parcerias público-privadas (PPP's) e concessões de serviços públicos.

O Programa também incluiu iniciativas voltadas para o desenvolvimento sustentável na Região Amazônica. Foram realizados investimentos em projetos de conservação ambiental, manejo florestal sustentável, e promoção de atividades econômicas sustentáveis, como o ecoturismo e a agricultura familiar.

No entanto, é importante destacar que alguns projetos do Programa Avança Brasil na região amazônica foram alvo de críticas devido a possíveis impactos ambientais e sociais negativos. A construção de grandes obras de infraestrutura, como hidrelétricas e rodovias, influenciou o desmatamento, perda de biodiversidade e deslocamento de comunidades tradicionais (Nepstad *et al.*, 2000). Assim, o programa despertou debates sobre a necessidade

de conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental e o respeito aos direitos das populações locais na região amazônica.

2.2.4.7. Programa de Aceleração do Crescimento - PAC (2007)

O PAC foi criado no início do ano de 2007, conforme Decreto Nº 6.025 de 22 de janeiro de 2007 que se baseou em medidas de estímulo ao investimento privado, ampliação dos investimentos públicos em infraestrutura voltados à melhoria da qualidade do gasto público. O PAC foi notadamente voltado para investimentos em infraestruturas com a expectativa de indução ao crescimento econômico.

De acordo com o Ministério da Economia (2020), o PAC selecionou diversas ações de investimento, das quais se esperava um elevado grau de influência na modernização e ampliação da infraestrutura do país (rodovias, ferrovias, portos, energia) e melhoria na qualidade de vida do cidadão (saneamento, saúde e educação). De acordo com a Fundação Getúlio Vargas – FGV (2020), para melhorar os instrumentos públicos de investimento em infraestrutura logística, o governo entendeu que os marcos regulatórios setoriais deveriam ser fortalecidos, bem como que a parceria com a iniciativa privada fosse ampliada, garantindo tarifa módica e serviço sustentável.

A FGV (2020) afirma ainda que a participação da iniciativa privada nos investimentos setoriais deveria ser realizada por meio de concessão simples ou de Parcerias Público-Privadas (PPP) por concessão patrocinada ou concessão administrativa, mediante novas linhas de financiamento adequadas. Como objetivo central, desenhou a superação dos limites estruturais e a ampliação da cobertura geográfica das infraestruturas de transportes, com aumento da eficiência produtiva em áreas já consolidadas e indução ao desenvolvimento em áreas de expansão de fronteira agrícola e mineral, reduzindo as desigualdades regionais e promovendo a integração regional sul-americana.

Para a Região Norte do Brasil havia previsões para a efetivação do transporte intermodal, pois o montante de recursos de investimentos previstos atingia cerca de R\$ 6,2 bilhões (FGV, 2020), com destaque para a integração da Ferrovia Norte-Sul com a Estrada de Ferro de Carajás e com a Hidrovia Araguaia-Tocantins. O projeto da Ferrovia Norte-Sul previu a ligação com um dos principais portos do Pará, localizado em Barcarena, o Porto de Vila do Conde. Porém as obras da ferrovia e da hidrovia Araguaia-Tocantins não foram finalizadas.

O PAC de 2007, recebeu diversas críticas ao longo dos anos. Algumas das principais incluem: falta de transparência e de prestação de contas; concentração de investimentos em grandes obras; impactos ambientais e sociais negativos; e execução lenta dos projetos. Os

desafios enfrentados pelo PAC-2007 em sua implementação apontam para a necessidade de uma abordagem mais cuidadosa e holística para o planejamento e execução de projetos de infraestrutura no Brasil.

2.2.4.8. Plano Amazônia Sustentável – PAS (2008)

O Plano Amazônia Sustentável, criado no segundo Governo do Presidente Luís Inácio Lula da Silva representou um conjunto de estratégias e orientações para as políticas do Governo Federal e dos governos estaduais (Ministério do Meio Ambiente, 2008). O Plano sinalizava aos setores produtivos e à sociedade em geral, caminhos para o desenvolvimento da Amazônia. Nesse plano foram retomadas ações de infraestrutura de transporte.

De acordo com o documento “Amazônia Sustentável: Diretrizes para o Desenvolvimento Sustentável da Amazônia Brasileira” elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente em 2008, havia incentivos para ações que envolviam agricultura familiar da população às margens da rodovia, bem como exploração da floresta de forma sustentável. No documento há descrições em relação ao melhoramento da infraestrutura rodoviária, principalmente em relação a projetos de pavimentação de trechos inacabados nos estados do Pará e Amazonas.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, dentre as políticas e ações então em andamento na região amazônica sob orientação das diretrizes estratégicas do PAS, destacam-se: o Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável para a área de influência da BR-163; operações de combate aos desmatamentos ilegais e à grilagem de terras públicas na Amazônia, implementadas no âmbito do Plano de Prevenção e Controle ao Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAM); Plano de Desenvolvimento Territorial Sustentável para o Arquipélago do Marajó (PA); criação do mosaico de unidades de conservação no entorno da BR-163 e Terra do Meio; e ações que integram o Programa Território da Cidadania.

O PAS representou uma iniciativa significativa para abordar os desafios socioambientais na Região Amazônica. No entanto, algumas críticas podem ser levantadas em relação à sua eficácia e implementação. Uma delas diz respeito à falta de recursos financeiros e de capacidade institucional para executar as medidas propostas. Embora o PAS tenha estabelecido diretrizes e metas ambiciosas, muitas vezes faltavam os investimentos necessários para transformar essas ideias em ações concretas. Além disso, a coordenação entre os diferentes níveis de governo e partes interessadas nem sempre foi eficaz, o que pode ter prejudicado a implementação das políticas e programas previstos no plano.

Outra questão, o PAS tem sua abordagem centrada no desenvolvimento econômico, em detrimento da conservação ambiental e do respeito aos direitos das populações tradicionais e indígenas. Embora o PAS reconheça a importância da preservação dos ecossistemas amazônicos, algumas de suas medidas, como a promoção de grandes projetos de infraestrutura e agronegócio, podem ter contribuído para o desmatamento e para degradação ambiental na região. Além disso, há preocupações com a falta de consulta e participação das comunidades locais na elaboração e implementação do plano, o que pode ter resultado em impactos negativos sobre seus modos de vida e culturas. Em suma, embora o Plano Amazônia Sustentável tenha representado um passo importante na busca por soluções para os desafios enfrentados na Amazônia, muito deixou de ser feito para garantir que ele realmente promovesse o desenvolvimento sustentável e inclusivo na região.

2.2.4.9. Política Nacional de Desenvolvimento Regional (2019)

A Política Nacional de Desenvolvimento Regional, instituída pelo Decreto nº 9.810, de 30 de maio de 2019, visava promover a redução das desigualdades regionais e a integração territorial do Brasil. Uma de suas ideias centrais foi a busca pela efetivação de uma governança multinível, que envolvesse a participação ativa dos diversos entes federativos, bem como da sociedade civil e do setor privado. Essa abordagem colaborativa buscava superar a fragmentação das políticas públicas e promover uma atuação coordenada e integrada em prol do desenvolvimento regional.

Além disso, a Política Nacional de Desenvolvimento Regional enfatizava a importância da valorização das potencialidades locais e regionais, por meio da promoção de investimentos em infraestrutura, inovação, educação e capacitação profissional. O objetivo era fomentar o desenvolvimento econômico sustentável, levando em consideração as especificidades de cada região respeitando sua diversidade cultural e ambiental. Nesse sentido, o Decreto estabeleceu diretrizes para a formulação e implementação de políticas públicas que contribuíssem para a redução das disparidades regionais e para a construção de uma sociedade mais justa e inclusiva.

A aprovação do Decreto nº 9.810, de 30 de maio de 2019 representou um avanço significativo ao reconhecer a importância da redução das desigualdades regionais e da promoção da integração territorial para o desenvolvimento sustentável do Brasil. No entanto, sua eficácia pode ser questionada devido à falta de instrumentos claros e efetivos para sua implementação. Embora o Decreto estabeleça diretrizes para a atuação governamental e para a articulação entre os entes federativos, a ausência de mecanismos específicos para a alocação de

recursos e para a definição de metas mensuráveis pode ter comprometido a efetividade da política.

Embora o decreto reconhecesse a importância da redução das desigualdades regionais e da promoção do desenvolvimento sustentável em todo o país, sua implementação na Amazônia pode ter enfrentado obstáculos únicos devido à complexidade ambiental, social e econômica da região. Questões como a preservação da floresta, a proteção dos povos indígenas e tradicionais e o desenvolvimento de atividades econômicas sustentáveis precisam ser abordadas de maneira integrada e coordenada (Bebbington, 2018), o que pode exigir adaptações específicas da política nacional.

Além disso, a eficácia da Política Nacional de Desenvolvimento Regional na Amazônia também pode ter sido comprometida pela falta de alinhamento com outras políticas e estratégias governamentais relacionadas à região. A implementação bem-sucedida de uma política de desenvolvimento regional na Amazônia requer uma abordagem integrada que leve em consideração não apenas questões econômicas, mas também ambientais, sociais e culturais.

O Decreto nº 9.810, de 30 de maio de 2019 foi revogado pelo Decreto nº 11.962, de 22 de março de 2024 (Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Regional). Nota-se que o Decreto de 2019 precisou ser complementado por outras iniciativas e instrumentos de política pública que abordssem de forma abrangente os desafios e oportunidades específicos da região amazônica, garantindo assim um desenvolvimento mais equitativo, sustentável e inclusivo para todas as suas comunidades.

2.2.4.10. Plano Integrado de Longo Prazo para a Infraestrutura - PILPI (2020)

Lançado em 2020, durante a gestão de Jair Bolsonaro, o PILPI teve como objetivo principal “reunir estimativas das necessidades de investimentos nos diversos setores de infraestrutura com o propósito de eliminar carências de oferta de serviços e garantir um crescimento econômico mais acelerado nos próximos 30 anos” (Casa Civil, 2022). O PILPI que foi instituído pelo Decreto nº 10.526, de 20 de outubro de 2020, é uma ferramenta que apresentava projeções socioeconômicas para o período de 2021 a 2050, baseadas em estudos de crescimento populacional e reunia estimativas das necessidades de investimentos nos diversos setores de infraestrutura. Foram objetivos do PILPI, fomentar a infraestrutura, fornecer uma visão de longo prazo, enfatizar qualidades ambientais, harmonizar premissas setoriais e promover a compatibilidade entre os diversos planos subnacionais.

O PILPI envolvia diversos órgãos do Governo Federal do Brasil, tais como: Casa Civil da Presidência da República; Ministério da Economia; Ministério da Infraestrutura; Ministério

de Minas e Energia; Ministério das Comunicações; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações; Ministério do Meio Ambiente; Ministério do Desenvolvimento Regional; Controladoria-Geral da União; e Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. No PILPI foram apresentadas algumas ações de forma genérica, abrangendo diversos setores de: transportes; telecomunicações; energia; mineração; recursos hídricos e saneamento básico; e pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

O Decreto nº 10.526, de 20 de outubro de 2020 que instituiu as diretrizes do PILPI foi revogado pelo Decreto nº 11.632, de 11 de agosto de 2023, instituindo o Programa de Aceleração do Crescimento - Novo PAC, o Comitê Gestor do Programa de Aceleração do Crescimento e o Grupo Executivo do Programa de Aceleração do Crescimento.

2.2.4.11. Programa de Aceleração do Crescimento - Novo PAC – (2023)

O Novo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do terceiro mandato do Presidente Lula foi instituído pelo Decreto nº 11.632, de 11 de agosto de 2023, como uma iniciativa estratégica do Governo Federal para retomar e ampliar investimentos em infraestrutura, com vistas à promoção do desenvolvimento econômico e social do país. Conforme o decreto, o programa tem como objetivos principais: ampliar os investimentos no país; estimular o investimento privado; fomentar a integração entre os setores público e privado; qualificar a infraestrutura nacional com responsabilidade fiscal; promover o desenvolvimento social, regional e inclusivo; integrar a infraestrutura aos processos de “neointustrialização” e transição ecológica; ampliar o acesso da população a serviços públicos de qualidade; e fomentar a geração de emprego e renda.

O programa contempla a retomada de obras paradas, a aceleração de empreendimentos em andamento e a implementação de novos projetos. No total, foram selecionadas 6.778 obras nos 26 estados brasileiros e no Distrito Federal, beneficiando cerca de 59% dos municípios (BRASIL, 2023a). Somente na área da saúde, estão previstos investimentos de R\$ 31 bilhões, abrangendo ações em atenção primária, atenção especializada, telessaúde, preparação para emergências sanitárias e fortalecimento do Complexo Econômico-Industrial da Saúde.

Com um orçamento global de R\$ 1,7 trilhão até 2026, o Novo PAC destina recursos expressivos à Amazônia Legal, alinhando-se à diretriz de redução das desigualdades regionais. No Estado do Amazonas, por exemplo, estão previstos R\$ 47,2 bilhões em obras e serviços, entre os quais se destacam a restauração da BR-174 (Manaus-Boa Vista), a ampliação do Terminal Manaus Moderna, a construção do Porto de São Raimundo e a modernização dos aeroportos de Coari, Fonte Boa, Parintins e São Gabriel da Cachoeira. Programas sociais como

o “Luz para Todos” e o “Minha Casa, Minha Vida” também serão intensificados para atender comunidades remotas e ribeirinhas, promovendo inclusão social e melhoria na qualidade de vida (BRASIL, 2023b).

Entre os projetos estruturantes da região, sobressaem iniciativas de infraestrutura logística, como a construção da Ferrogrão (EF-170), a pavimentação da BR-319 (Manaus-Porto Velho) e a implementação da Hidrovia Tocantins-Araguaia. Essas obras visam consolidar corredores estratégicos de transporte, promovendo maior integração territorial e reduzindo os custos logísticos para escoamento da produção. No total, o Novo PAC prevê mais de R\$ 300 bilhões em investimentos para a Região Norte, abrangendo áreas como transportes, energia, habitação, saneamento, educação e saúde.

Assim, nota-se que o Novo PAC, ao destinar investimentos robustos para a Amazônia Legal, revela-se um instrumento de transformação territorial, com potencial para impulsionar o desenvolvimento da região. A priorização de obras estruturantes e programas sociais, aliada à ampliação de serviços essenciais, pode representar um avanço significativo na superação de desigualdades históricas, desde que os projetos sejam implementados com planejamento, monitoramento e respeito às especificidades locais.

2.2.5.12. Política Nacional de Desenvolvimento Regional - PNRD (2024)

A Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR) foi atualizada por meio do Decreto nº 11.962, de 22 de março de 2024, com o propósito de promover o equilíbrio regional e a redução das desigualdades socioeconômicas no território brasileiro. A nova PNDR adota diretrizes integradas à Agenda 2030 da ONU, incorporando a sustentabilidade como eixo estruturante das políticas públicas e buscando a valorização das potencialidades regionais, com enfoque especial nos territórios mais vulneráveis, como a Amazônia Legal (Brasil, 2024a).

Nota-se que uma das principais prioridades é a promoção de investimentos em infraestrutura e serviços públicos nas regiões menos desenvolvidas, buscando fortalecer a capacidade produtiva local e impulsionar o desenvolvimento socioeconômico. Além disso, o texto enfatiza a importância da cooperação entre os entes federativos, o setor privado e a sociedade civil para a implementação efetiva das políticas de desenvolvimento regional.

No caso da Amazônia Legal, a PNDR orienta a formulação do Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia (PRDA) 2024-2027, coordenado pela SUDAM. O plano está estruturado em seis eixos estratégicos: 1) Desenvolvimento Produtivo; 2) Pesquisa, Inovação e Educação; 3) Infraestrutura Econômica e Urbana; 4) Meio Ambiente; 5) Fortalecimento das Capacidades Governativas dos Entes Subnacionais; 6) Desenvolvimento Social e Acesso a

Serviços Públicos Essenciais (SUDAM, 2023). A proposta do PRDA 2024-2027 visa garantir desenvolvimento sustentável, inclusão social e preservação ambiental em uma região marcada por desafios históricos de acesso e infraestrutura.

Entre as ações prioritárias, destacam-se obras estruturantes voltadas à infraestrutura de transportes e à bioeconomia, como a melhoria de rodovias, ampliação de hidrovias e investimentos em cadeias produtivas sustentáveis. O Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) anunciou o investimento de mais de R\$ 17 bilhões na Amazônia Legal, destinados à implementação de projetos em áreas como saneamento, energia, inovação tecnológica e desenvolvimento urbano, com ênfase na geração de empregos e na inclusão produtiva (Brasil, 2024b).

Além disso, foi criado um comitê estratégico, coordenado pela SUDAM, com o objetivo de acelerar a implementação dos projetos prioritários na região. Esse comitê atuará de forma articulada com governos estaduais e municipais, promovendo maior agilidade nos processos de financiamento e execução das obras. As áreas de atuação incluem saúde, educação, infraestrutura digital, agricultura familiar e pesquisa em biotecnologia, contribuindo para o fortalecimento das capacidades institucionais locais e para a efetivação dos princípios da PNDR na Amazônia (Brasil, 2025).

Após o levantamento histórico-estrutural e revisões da literatura sobre planos e programas do governo, há evidências que alguns projetos não foram totalmente finalizados e, portanto, não alcançaram objetivos desenvolvimentistas para regiões isoladas da Amazônia brasileira. A evidência mais clara de que a descontinuidade de políticas públicas afeta a Amazônia é o fato de a região não ter uma rede mínima de transporte e algumas obras de transporte (Transamazônica - BR-230; Cuiabá-Santarém BR-163; Porto Velho-Manaus - BR-319; Perimetral Norte - BR-210, Hidrovia Araguaia-Tocantins, Ferrovia Norte-Sul) até os tempos atuais não foram concluídas. Algumas dessas obras foram iniciadas ainda na década de 1960.

3. CORREDORES DE TRANSPORTE NA AMAZÔNIA

Este capítulo aborda a importância estratégica dos corredores de transporte para a integração territorial e a melhoria da acessibilidade na região amazônica. A Amazônia Legal, composta por uma extensa e complexa malha territorial, apresenta diversas formas de conexão entre os seus municípios, por meio de rodovias, ferrovias, hidrovias e vias aéreas. Em grande parte do território, no entanto, a navegação fluvial continua sendo a principal forma de deslocamento, herança dos tempos coloniais, quando os rios eram utilizados como eixos de penetração e ocupação da região (Banco Mundial, 2023).

Para compreender de forma mais ampla a estrutura da rede de transportes da Amazônia, é fundamental considerar os fatores ambientais, sociais e culturais que caracterizam essa região singular, apresentados no tópico 3.1. As particularidades do bioma, como a densidade da vegetação, a baixa densidade populacional em áreas remotas e a presença de povos tradicionais, impõem desafios à infraestrutura e influenciam diretamente as escolhas e prioridades em termos de mobilidade e logística.

Em seguida, no tópico 3.2, são apresentadas considerações gerais sobre os principais modos de transporte presentes na região - rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo – destacando seus papéis na conectividade regional, suas limitações e potencialidades. Esta análise visa oferecer um panorama atual da infraestrutura de transporte na Amazônia Legal, evidenciando os gargalos existentes e as oportunidades para o desenvolvimento regional.

Por fim, no tópico 3.3, o capítulo aprofunda a apresentação da área de estudo sobre os corredores de transportes desta pesquisa: a Rodovia Cuiabá-Santarém, as Ferrovias Norte-Sul e Carajás, e a Hidrovia Solimões-Amazonas e os 206 municípios atravessados por essas infraestruturas. A escolha desses corredores se justifica por sua importância econômica, papel estratégico na integração nacional e impactos sobre o território amazônico dos municípios selecionados, tanto do ponto de vista socioeconômico quanto ambiental.

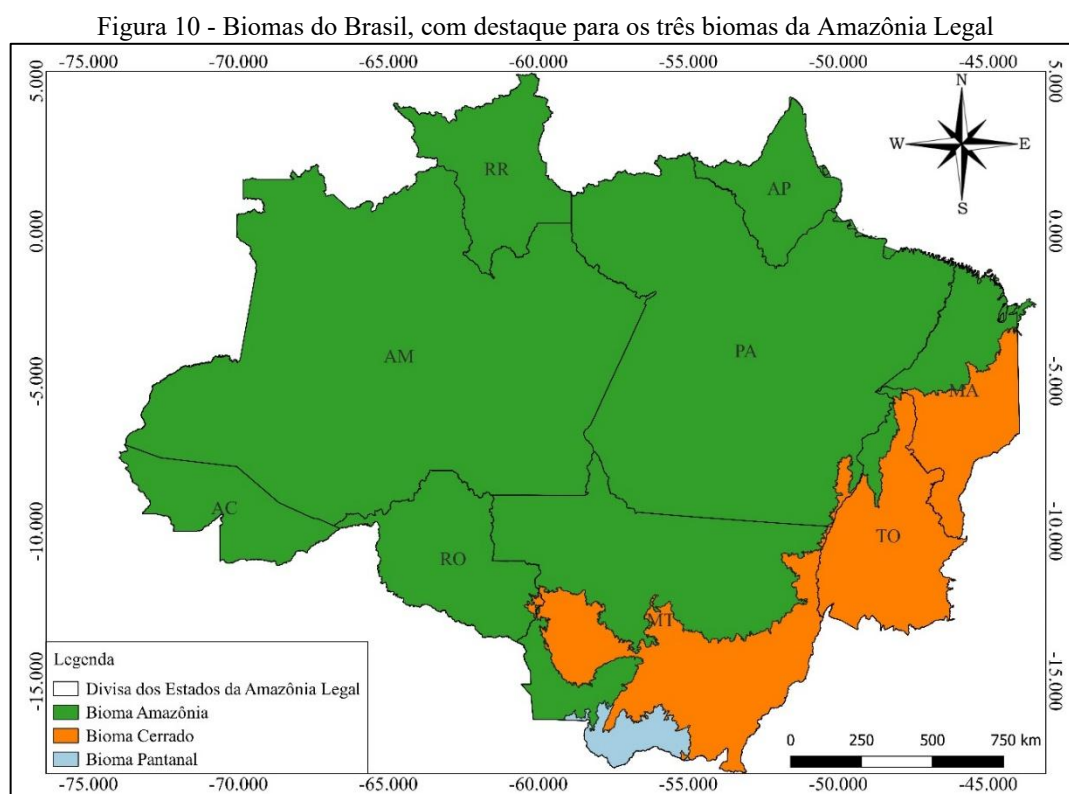
3.1. Considerações ambientais, culturais e sociais da Amazônia Legal

A região amazônica destaca-se por sua vasta riqueza ambiental, cultural e social, desempenhando um papel fundamental no equilíbrio climático, tanto local quanto global (Fearnside, 2015). A preservação da biodiversidade e a promoção do desenvolvimento sustentável são pilares essenciais, especialmente para as comunidades locais, que dependem diretamente dos recursos naturais da região.

Em relação aos aspectos ambientais, a Amazônia Legal abriga a maior floresta tropical do mundo, constituindo uma biodiversidade incomparável de plantas, animais e micro-

organismos. Essa diversidade biológica é essencial para a estabilidade dos ecossistemas, bem como para a regulação do clima e a manutenção do equilíbrio ecológico. A título de exemplo, os chamados “rios voadores” da Amazônia transportam umidade para várias partes do Brasil e América do Sul, contribuindo para o equilíbrio dos ecossistemas. No entanto, esses sistemas têm sido ameaçados pelo aumento de gases de efeito estufa (Rocha *et al.*, 2015). Além disso, a região enfrenta ameaças significativas devido ao desmatamento, à exploração ilegal de recursos naturais, à expansão agrícola e pecuária. Estudos de Baber *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2023) concluem que as infraestruturas de transportes oficiais e não-oficiais contribuem para a fragmentação do bioma Amazônia.

A Amazônia Legal é habitada por cerca de 28 milhões de brasileiros em uma vasta área de aproximadamente 5,1 milhões de quilômetros quadrados, resultando em uma baixa densidade populacional. Embora cubra quase 60% do território brasileiro, abriga apenas 13% da população do país (IBGE, 2022). A Amazônia Legal engloba toda a porção brasileira do bioma Amazônia e partes dos biomas Cerrado e Pantanal, conforme pode ser visualizado na Figura 10 abaixo:



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do IBGE (2022) e Portal Terra Brasilis (2022).

Além das questões ambientais, a região amazônica possui rica diversidade cultural, abrigando centenas de grupos étnicos indígenas, cada um com sua própria língua, tradições, crenças e modos de vida únicos. Essas comunidades desempenham um papel vital na

preservação da biodiversidade e na gestão sustentável dos recursos naturais (Franco, 2020), mantendo um profundo vínculo espiritual e cultural com a terra e a natureza ao seu redor.

No entanto, as populações indígenas e tradicionais da Amazônia enfrentam desafios significativos, incluindo o desmatamento, queimadas, invasão de terras por garimpeiros ilegais, perda de território e recursos naturais (Silva *et al.*, 2023), e a falta de acesso a serviços básicos, como de saúde e educação. Além disso, essas comunidades muitas vezes sofrem discriminação e violência, resultando em altos índices de pobreza, marginalização e exclusão social.

De acordo com o Banco Mundial (2023):

“Diversas comunidades indígenas ainda vivem em completo isolamento em partes remotas da floresta. Outros grupos tradicionais da Amazônia Legal são as comunidades ribeirinhas e quilombolas. Esses grupos tendem a manter fortes laços culturais com as terras naturais da região. Ao mesmo tempo, tendem a ter renda mais baixa e acesso mais precário aos serviços públicos. O desenvolvimento inclusivo na Amazônia Legal deve prestar muita atenção aos povos tradicionais da região, independentemente do fato de eles optarem por adotar a vida urbana, manter seu modo de vida rural tradicional, ou ambos” (Relatório do BM, p.21, 2023).

Do ponto de vista social, a Amazônia Legal é uma região caracterizada por uma distribuição desigual de renda e recursos, com altos índices de pobreza, desigualdade e exclusão social. Dados de renda, empregos, IDHM revelam que na maioria dos estados amazônicos, especialmente nas suas áreas mais remotas, a pobreza estagnou ou aumentou nos últimos anos (IBGE, 2022; Banco Mundial, 2023). Muitas comunidades enfrentam dificuldades de acesso a serviços básicos, como saúde, educação, água potável e saneamento básico, e sofrem com a falta de oportunidades de emprego e renda. Além disso, a região é marcada por conflitos socioambientais relacionados à disputa por terra, recursos naturais e direitos territoriais (Banco Mundial, 2023).

Para garantir um futuro sustentável para a Amazônia, é fundamental adotar abordagens integradas que considerem as interconexões entre o meio ambiente, a cultura e as questões sociais. Isso inclui o fortalecimento dos direitos territoriais e culturais das populações indígenas e tradicionais, a promoção de práticas agrícolas e florestais sustentáveis, o combate ao desmatamento ilegal e à exploração predatória de recursos naturais e o investimento em educação, saúde e infraestrutura básica nas comunidades locais. Segundo o Banco Mundial (2023), “além dos impactos climáticos e econômicos associados ao desmatamento, o custo da inação também resulta em progresso social mais lento”.

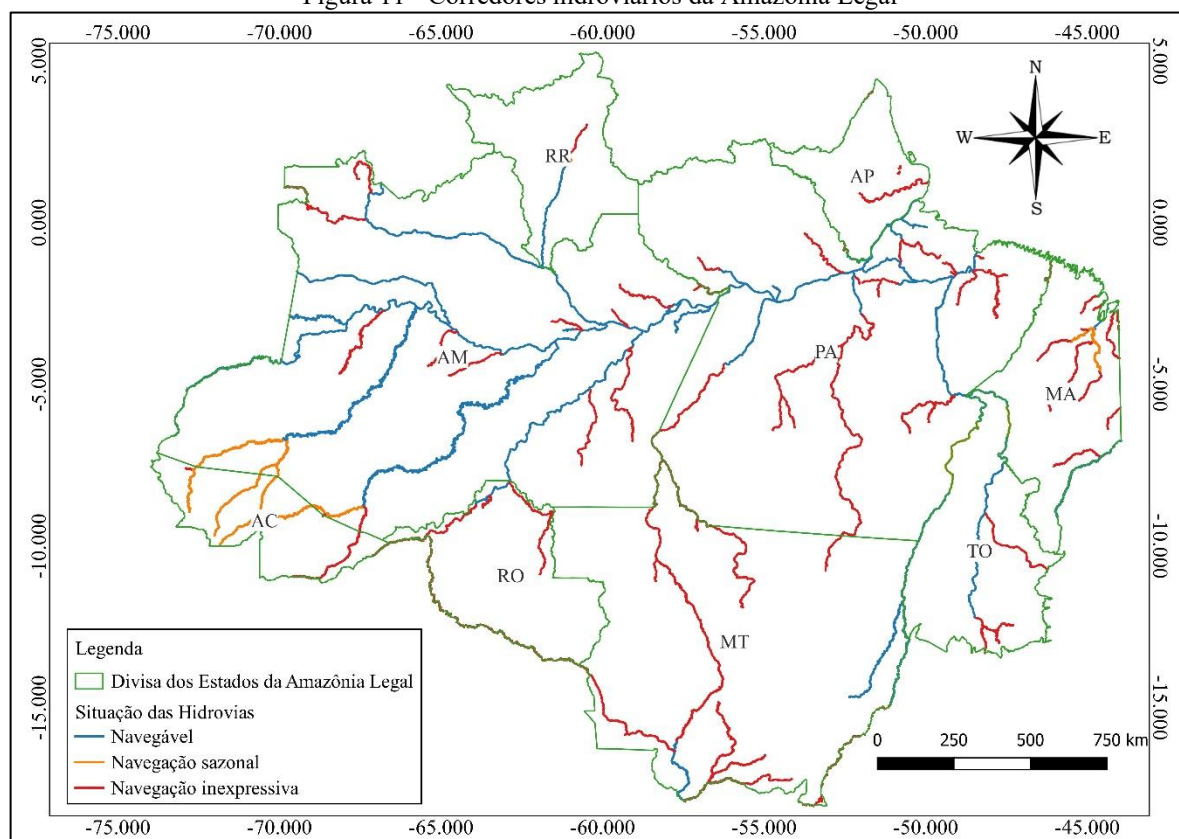
Nos tópicos seguintes, apresentam-se considerações gerais sobre os corredores de transporte estudados, seguidas de uma análise aprofundada da área de estudo desta tese. Essa análise contempla não apenas os corredores selecionados, mas também os grupos de municípios por eles atravessados, bem como outras características socioespaciais e ambientais da Amazônia Legal que podem influenciar diretamente os resultados e interpretações desta pesquisa.

3.2. Considerações Gerais sobre os Corredores de Transportes da Amazônia Legal

Sant'Anna (1998) em texto de discussão para o Ipea, propõe que a rede de transportes da Amazônia deve estar alinhada a critérios de integração dos polos regionais e desses com o território nacional e com os países vizinhos, considerando inicialmente a rede hidroviária como eixo principal, sendo as demais modalidades complementares. Ressalta que o desenvolvimento dessa rede depende da dinâmica das economias regionais e nacionais, em termos setoriais e espaciais, e da evolução das relações políticas entre o Brasil e os países com os quais compartilha a Bacia Amazônica.

Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a rede hidroviária amazônica é a maior do país. Dispõe de uma extensão de mais de 15.000 km, representando cerca de 60% da rede hidroviária nacional. Compreende as hidrovias do Amazonas, do Solimões, do Madeira, do Negro, do Purus, do Juruá, do Tapajós, de Trombetas, do Xingu, do Marajó e outros rios navegáveis e de menor porte. Na Figura 11 abaixo é possível visualizar os principais corredores hidroviários da Amazônia Legal.

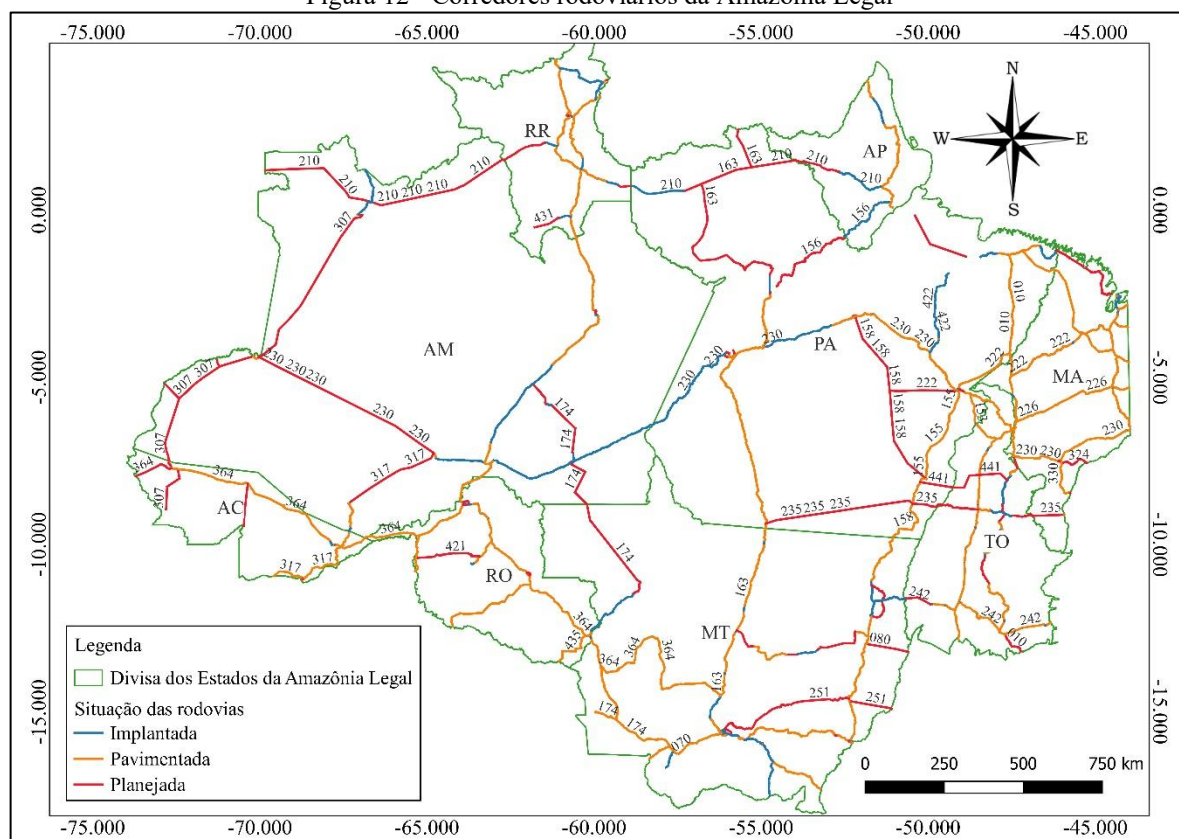
Figura 11 - Corredores hidroviários da Amazônia Legal



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do Ministério dos Transportes (2024).

Com relação ao modo rodoviário, as principais rodovias federais na região são: BR-230 Transamazônica (Cabelado a Lábrea), BR-364 (Porto Velho, Cuiabá e Rio Branco), BR-319 (Manaus e Porto Velho), BR-317 (Manaus e Rio Branco), BR-174 (Manaus e Boa Vista), BR-316 (Belém-Maceió) e BR-156 (Laranjal do Jari-AP), BR-010 (Belém-Brasília), além de diversas rodovias estaduais. Para promover a multimodalidade, essas rodovias representam um importante complemento à rede de transporte fluvial. Na Figura 12 abaixo é possível visualizar os principais corredores rodoviários da Amazônia Legal. Nota-se que grandes corredores de rodoviários como as rodovias BR-230 e BR-163 têm parte do seu trajeto ainda em fase de planejamento (em vermelho). A interrupção nos planos e programas governamentais causa um impacto considerável nos projetos destinados à Amazônia, afetando suas dimensões sociais, ambientais e econômicas. Essa falta de continuidade não apenas gera incertezas e instabilidade socioeconômica, mas também dificulta o planejamento de longo prazo para as comunidades amazônicas (Silva *et al.*, 2020).

Figura 12 - Corredores rodoviários da Amazônia Legal



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do Ministério dos Transportes (2024).

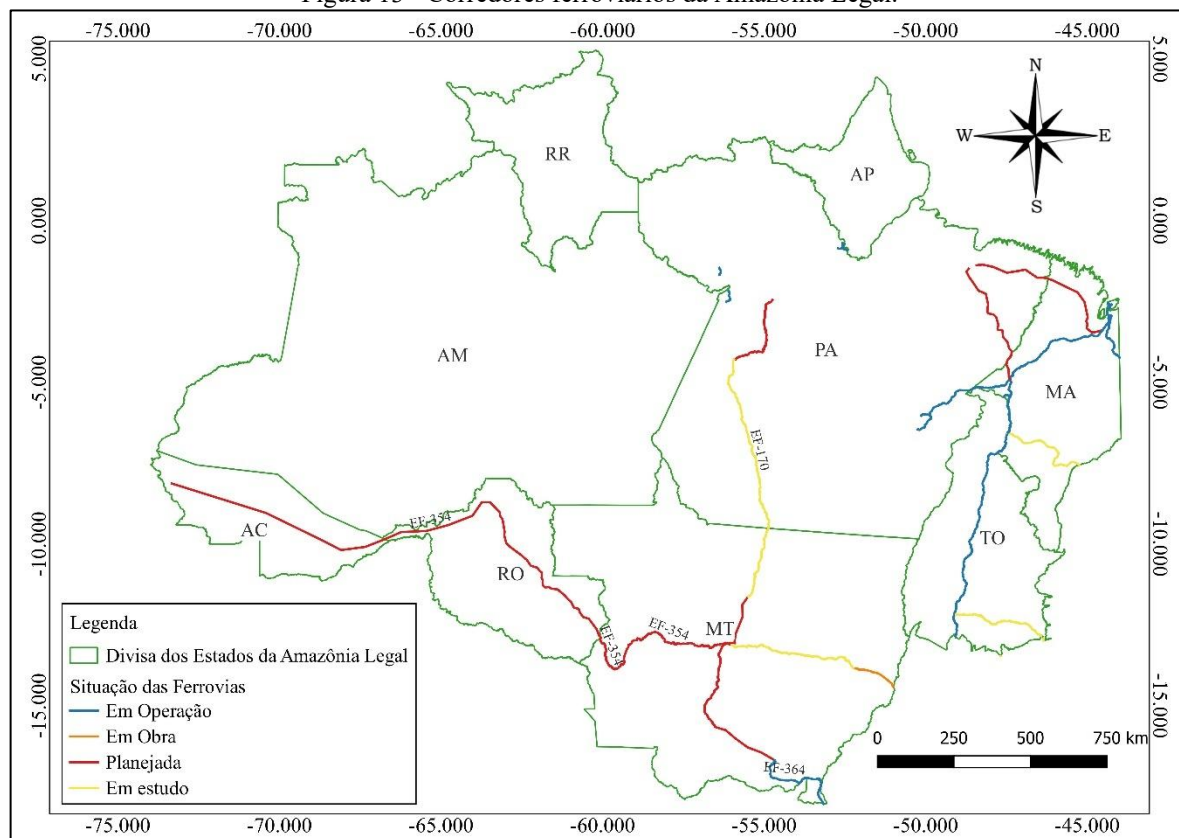
Sobre as ferrovias, a carência de uma extensa malha ferroviária mais densa no Brasil e na Amazônia Legal tem implicações significativas para o desenvolvimento econômico, ambiental e implica na integração regional (Branco *et al.*, 2022). Atualmente, as principais vias ferroviárias da Amazônia são a Estrada de Ferro Carajás e a Ferrovia Norte-Sul. A EF-315, conhecida como Estrada de Ferro Carajás, com seus 972 km de extensão, conecta a região de Serra dos Carajás, no Pará, à capital maranhense, São Luís. Essa ferrovia desempenha um papel crucial no transporte de commodities minerais e no movimento de pessoas entre Parauapebas, no Pará, e São Luís, no Maranhão.

Por sua vez, a Ferrovia Norte-Sul, situada no Estado do Tocantins, também desempenha um papel importante na região, conectando-se à Estrada de Ferro Carajás. O projeto inicial da Ferrovia Norte-Sul inclui uma extensão que visa ligá-la a um dos principais portos do Pará, o Porto de Vila do Conde, localizado no município de Barcarena. Essa conexão ferroviária com um importante terminal portuário tem o potencial de facilitar o escoamento de produtos e mercadorias da região, contribuindo para o desenvolvimento econômico local e regional.

No entanto, é importante destacar que a maioria dos corredores ferroviários na Amazônia Legal ainda está em fase de estudos ou de planejamento, como indicado nas áreas

destacadas em vermelho e amarelo na Figura 13. Isso ressalta a necessidade de investimentos contínuos e políticas consistentes para promover o desenvolvimento da infraestrutura ferroviária na região, visando não apenas impulsionar a economia local, mas também garantir uma maior integração com os outros modos de transportes.

Figura 13 - Corredores ferroviários da Amazônia Legal.

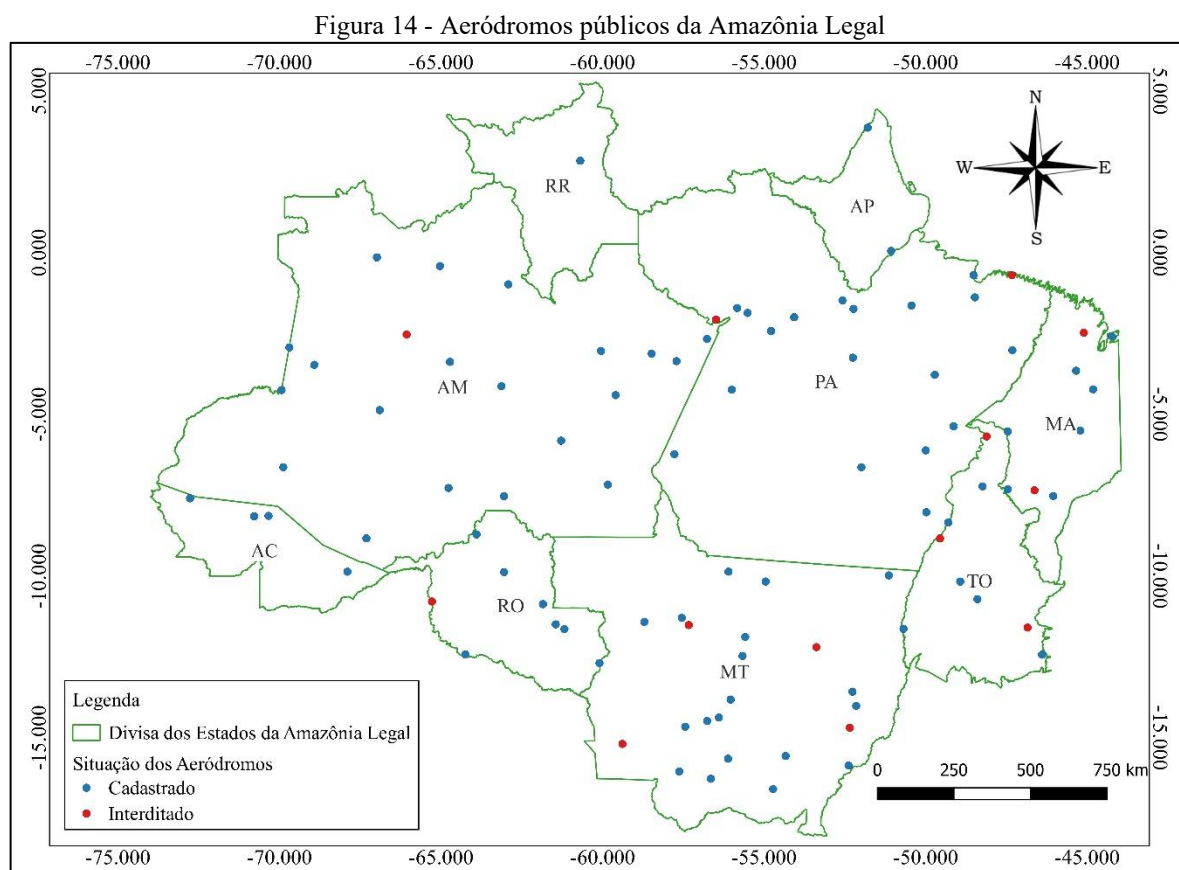


Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do Ministério dos Transportes (2024).

O transporte aéreo desempenha um papel fundamental na conectividade e na acessibilidade da Amazônia Legal, especialmente considerando as vastas distâncias entre as regiões, conforme demonstrado no estudo de Lacerda e Situba (2020) sobre o transporte aéreo de Eirunepé, no extremo oeste do Amazonas. Além de servir como um importante complemento aos modos hidroviário e rodoviário, o transporte aéreo é essencial para superar os desafios logísticos impostos pelo vasto território amazônico.

A presença de aeródromos nas capitais e em algumas cidades do interior é importante para facilitar o transporte aéreo de carga e passageiros. As principais companhias aéreas nacionais e regionais operam rotas que conectam diversos pontos da Amazônia Legal, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social das médias e grandes cidades (ANAC, 2022).

Embora o transporte aéreo faça parte da rede de transporte da Amazônia, é importante ressaltar que esse modo não é o foco desta Tese. No entanto, reconhece-se sua relevância na infraestrutura de transporte regional. Na Figura 14 abaixo, é possível visualizar os aeródromos públicos da Amazônia Legal, destacando a extensão e a distribuição dessas instalações ao longo da região. Essa representação visual ajuda a compreender a infraestrutura aeroportuária disponível e sua importância para a conectividade da região com o Brasil e outros países.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do Ministério dos Transportes (2023).

3.3. Apresentação da Área de Estudo

Conforme já mencionado, a Amazônia Legal demonstra uma escala gigantesca. Abrange aproximadamente 60% do território nacional, com área aproximada de 5,1 milhões km² (equivalente às áreas somadas da França, Ucrânia, Espanha, Suécia, Noruega, Alemanha, Finlândia, Polônia, Itália, Reino Unido, Romênia, Bielorrússia, Grécia, Portugal e Bulgária). Apesar de ser a região geoeconômica menos populosa do Brasil, nela habitam cerca de 28 milhões de pessoas (IBGE, 2022), que equivale às populações somadas de Portugal e Países Baixos, na Europa ou do Chile, Uruguai e Paraguai, na América do Sul. De acordo com o IBGE, a Amazônia Legal engloba nove Unidades da Federação - Acre, Amapá, Amazonas, Mato

Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins – e parte do Estado do Maranhão, contemplando 773 municípios, conforme destacado em verde na Figura 15 abaixo:

Figura 15 - Mapa do Brasil com destaque para a área da Amazônia Legal.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do IBGE (2023).

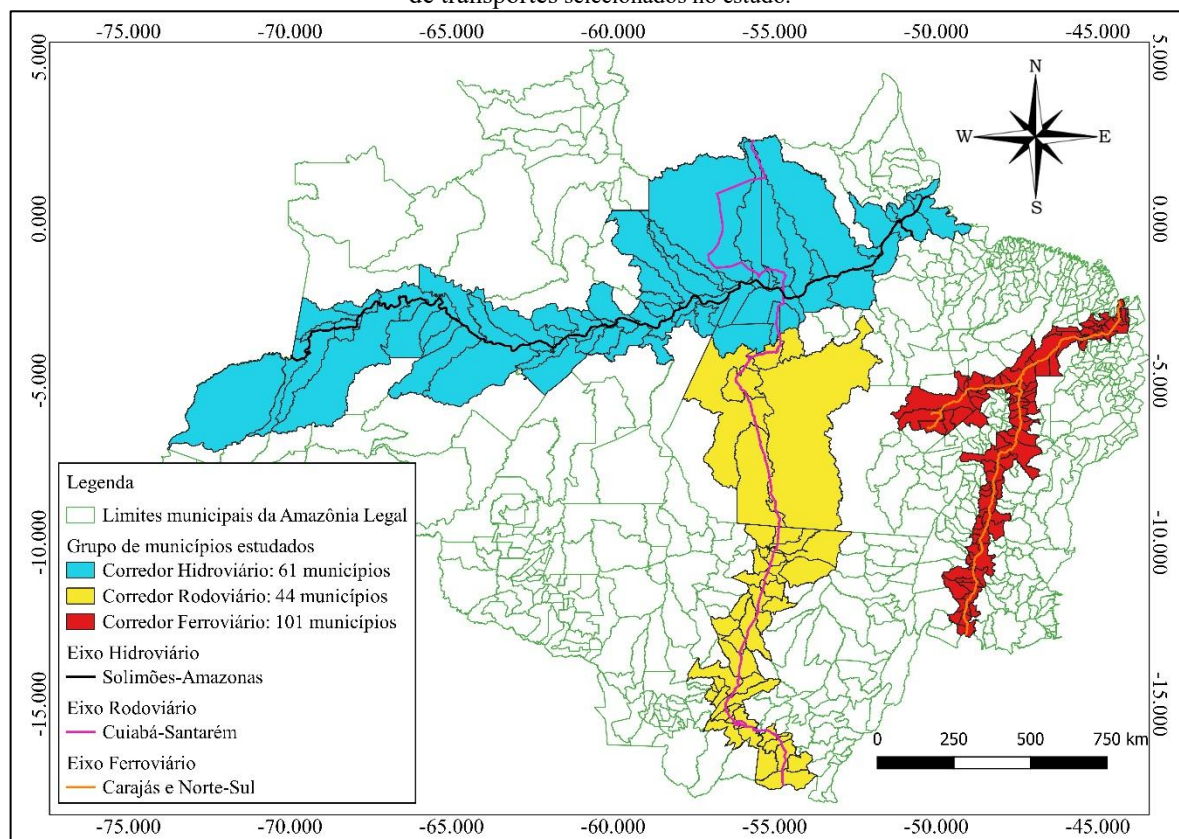
Segundo dados do IBGE (2023), a Amazônia Legal abriga 773 municípios, cada um com características únicas que refletem a diversidade da região. Abrange desde municípios remotos e isolados, acessíveis apenas por vias fluviais, como é o caso de Itapiranga, no Estado do Amazonas, até grandes centros urbanos regionais, como Belém, no Pará, Manaus, no Amazonas, São Luís, no Maranhão. Assim, demonstrando que a região apresenta uma ampla gama de realidades socioeconômicas, ambientais e de infraestrutura.

Neste estudo, o enfoque é em 206 municípios, 26,7% do total da Amazônia Legal, todos localizados ao longo de três importantes corredores de transporte: a rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém), a hidrovía Solimões-Amazonas e as ferrovias Carajás e Norte-Sul. Conforme demonstrando anteriormente, essas infraestruturas desempenham um papel relevante na conectividade regional e nacional, no desenvolvimento socioeconômico e influenciam aspectos ambientais da Amazônia Legal.

Na Figura 16 abaixo, é possível visualizar as subdivisões dos 773 municípios que compõem a Amazônia Legal, demonstrando a abrangência e representatividade dos corredores

escolhidos. No mapa destaca-se em cores distintas (azul, amarelo e vermelho), os grupos de municípios selecionados para este estudo, bem como os eixos das infraestruturas analisadas (preto, rosa e laranja). Essa representação cartográfica oferece uma visão clara da distribuição geográfica dos municípios incluídos na pesquisa, permitindo uma análise mais precisa das dinâmicas territoriais e das interações entre os corredores de transporte e as comunidades locais.

Figura 16 - Municípios que compõem a Amazônia legal, com destaque para os que estão ao longo dos corredores de transportes selecionados no estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do IBGE (2023) e Ministério dos Transportes (2024).

Os municípios foram separados em três grupos, com base nos corredores de transporte que atravessam seus territórios. No Quadro 6 abaixo, apresenta-se os 206 municípios selecionados para esta pesquisa, organizados por corredor de transportes, município, Unidade da Federação e quantidade. Esta abordagem permite uma análise mais detalhada das características e dinâmicas de desenvolvimento em cada área, considerando a influência dos diferentes corredores de transporte. A segmentação por corredores facilita a identificação de padrões e tendências específicas em relação ao desenvolvimento econômico, social e ambiental em cada área geográfica.

Quadro 6 - Municípios selecionados para a pesquisa

(continua)

Corredor de transporte	Municípios	UF	Quantidade
Hidrovia Solimões-Amazonas	Alvarães, Amaturá, Anamá, Anori, Atalaia do Norte, Autazes, Barreirinha, Benjamin Constant, Beruri, Boa Vista do Ramos, Caapiranga, Careiro, Careiro da Várzea, Coari, Codajás, Fonte Boa, Iranduba, Itacoatiara, Itapiranga, Juruá, Jutai, Manacapuru, Manaquiri, Manaus, Maraã, Nhamundá, Nova Olinda do Norte, Parintins, Santo Antônio do Içá, São Paulo de Olivença São Sebastião do Uatumã, Silves, Tabatinga, Tefé, Tonantins, Uarini, Urucará, Urucurituba	Amazonas	38
	Itaubal, Mazagão, Macapá, Santana e Vitória do Jari	Amapá	5
	Afuá, Alenquer, Almeirim, Aveiro, Belterra, Chaves, Curuá, Faro, Gurupá, Juruti, Mojuí dos Campos, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Porto de Moz, Prainha, Santarém, Terra Santa	Pará	18
Rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém	Acorizal, Alto Paraguai, Arenápolis, Cláudia, Colíder, Cuiabá, Denise, Diamantino, Guarantã do Norte, Ipiranga do Norte, Itaúba, Itiquira, Jaciara, Jangada, Juscimeira, Lucas do Rio Verde, Marcelândia, Matupá, Nobres, Nortelândia, Nossa Senhora do Livramento, Nova Guarita, Nova Mutum, Nova Santa Helena, Novo Mundo, Pedra Preta, Peixoto de Azevedo, Rondonópolis, Rosário Oeste, Santa Carmem, Santo Antônio de Leverger, São Pedro da Cipa, Sinop, Sorriso, Tapurah, Terra Nova do Norte, Várzea Grande, Vera	Mato Grosso	38
	Altamira, Itaituba, Novo Progresso, Placas, Rurópolis, Trairão	Pará	6
Estrada de Ferro Carajás e Norte-Sul	Açailândia, Alto Alegre do Pindaré, Anajatuba, Arari, Axixá, Bacabeira, Bom Jardim, Bom Jesus das Selvas, Buriticupu, Buritirana, Cajari, Campestre do Maranhão, Carolina, Cidelândia, Davinópolis, Estreito, Governador Edison Lobão, Governador Newton Bello, Igarapé do Meio, Imperatriz, Itapecuru Mirim, Itinga do Maranhão, João Lisboa, Miranda do Norte, Monção, Montes Altos, Penalva, Pindaré-Mirim, Porto Franco, Presidente Juscelino, Ribamar Fiquene, Rosário, Santa Inês, Santa Rita, São Francisco do Brejão, São João Batista, São João do Carú, São Luís, São Pedro da Água Branca, Senador La Rocque, Tufilândia, Viana, Vila Nova dos Martírios, Vitória do Mearim	Maranhão	44
	Abel Figueiredo, Bom Jesus do Tocantins, Canaã dos Carajás, Curionópolis, Eldorado do Carajás, Marabá, Nova Ipixuna, Parauapebas, São Domingos do Araguaia, São Geraldo do Araguaia, São João do Araguaia	Pará	11

(conclusão)

Corredor de transporte	Municípios	UF	Quantidade
Estrada de Ferro Carajás e Norte-Sul	Aguiarnópolis, Aliança do Tocantins, Alvorada, Araguaína, Babaçulândia, Barrolândia, Brasilândia do Tocantins, Brejinho de Nazaré, Cariri do Tocantins, Crixás do Tocantins, Darcinópolis, Dueré, Esperantina, Fátima, Figueirópolis, Filadélfia, Guaraí, Gurupi, Itaguatins, Itapiratins, Maurilândia do Tocantins, Miracema do Tocantins, Miranorte, Nova Olinda, Nova Rosalândia, Oliveira de Fátima, Palmeirante, Palmeiras do Tocantins, Paraíso do Tocantins, Pedro Afonso, Porto Nacional, Presidente Kennedy, Pugmil, Rio dos Bois, Santa Rita do Tocantins, São Miguel do Tocantins, São Sebastião do Tocantins, Sítio Novo do Tocantins, Sucupira, Tabocão, Talismã, Tocantínia, Tocantinópolis, Tupirama, Tupiratins, Wanderlândia	Tocantins	46
		Total	206

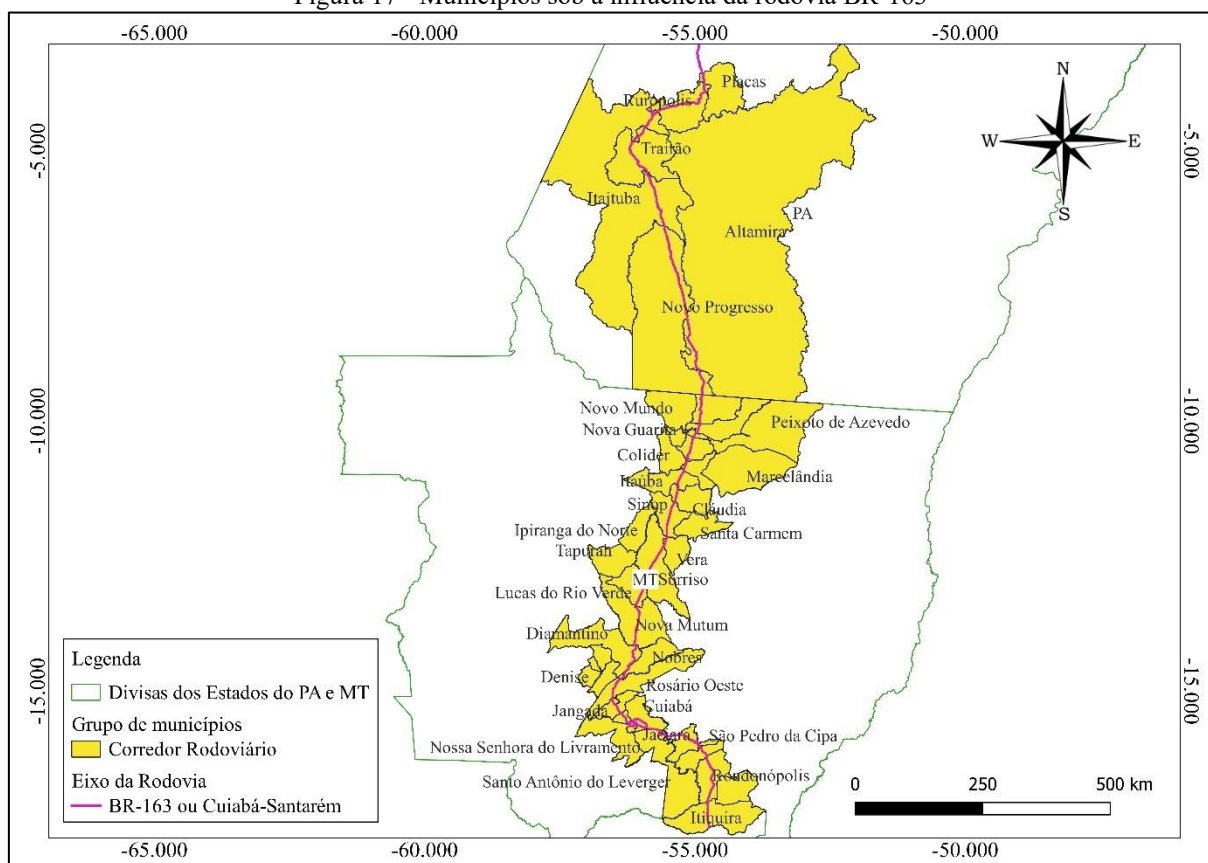
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

3.3.1. Características Gerais do Corredor Rodoviário

A BR-163 (Rodovia Cuiabá-Santarém) desempenha um papel importante na logística de transporte de grãos, conectando importantes áreas produtoras de soja e milho do centro-oeste brasileiro aos portos do norte do país, como Santarém e Itaituba, no Pará. No entanto, desafios continuam a existir, incluindo questões relacionadas à conservação ambiental, segurança viária e manutenção adequada da rodovia. A extensão estudada está dentro da Amazônia Legal e corresponde a 2.125 km, perpassando por 44 municípios (que equivale à distância rodoviária entre João Pessoa e Belo Horizonte).

Ao longo de sua história, a BR-163 tem sido, tanto um símbolo do potencial econômico da região amazônica, quanto um ponto focal de debates sobre desenvolvimento sustentável (Pastre, 2018), preservação ambiental e direitos dos indígenas. Na Figura 17 abaixo destaca-se o eixo principal da rodovia BR-163. É importante salientar que o trecho norte da rodovia (Santarém - Almeirim) ainda está em fase de planejamento.

Figura 17 - Municípios sob a influência da rodovia BR-163



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do IBGE (2023) e Ministério dos Transportes (2024).

Em relação a rodovia BR-163, houve uma evolução significativa ao longo do tempo. Inicialmente, destacam-se melhorias na infraestrutura, incluindo expansão e pavimentação de trechos anteriormente não asfaltados. Essas melhorias contribuíram para aumentar a capacidade de transporte de carga e facilitar o acesso a áreas anteriormente remotas. Além disso, o levantamento de informações revela um aumento no volume de transporte de *commodities* ao longo da BR-163. Essa rodovia se tornou importante no escoamento da produção agrícola do norte do Mato Grosso, especialmente soja e milho, para os portos de Miritituba (distrito pertencente ao município de Itaituba) e Santarém, no Pará (Viana, 2021). Como resultado, observa-se um impacto positivo no desenvolvimento econômico das regiões atravessadas pela rodovia.

No entanto, durante um longo período houve sérios problemas de infraestrutura na rodovia. A pavimentação do trecho que perpassa o Estado do Pará foi concluída somente em 2019, após anos de execução e paralização das obras sob gestão do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Os desafios foram de toda ordem, questões ambientais,

problemas com projetos de engenharia, falência de empresas executoras, falta de recursos público entre outros (IBL, 2021).

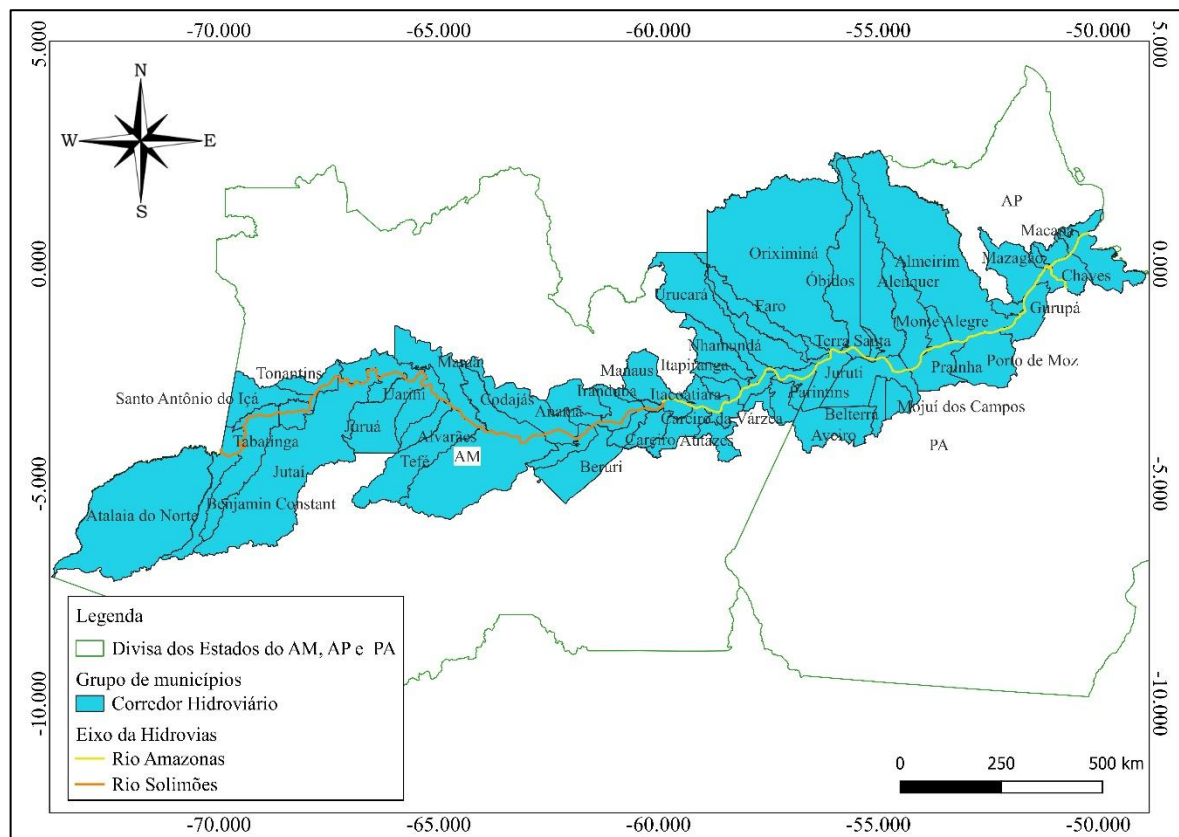
Informações do DNIT (2022), destacam que um trecho da rodovia foi concedido para a iniciativa privada. Em 20 de março de 2014, a concessionária Rota do Oeste, empresa da Odebrecht TransPort, tornou-se responsável pela concessão da BR-163, entre os municípios Itiquira (MT) e Sinop (MT), trecho com extensão de 850,9 quilômetros. Mais recentemente, em 2021, o consórcio Via Brasil BR-163 venceu o leilão para administrar os 1.009,52 quilômetros da rodovia, entre Sinop-MT, e o porto de Miritituba-PA. A rodovia será administrada até o ano de 2031 pelo consórcio (ANTT, 2022).

Nota-se que a ausência de políticas públicas, a descontinuidade de planos e programas governamentais afetam a inserção dessa infraestrutura de transporte e consequentemente a estrutura econômica e o desenvolvimento da área estudada. A maior evidência desse fato é a inconclusão da obra no trecho que ligaria Santarém, Curuá, Óbidos, Oriximiná e Almeirim no extremo norte do Pará, que faz parte do projeto da rodovia que teve obra iniciada na década de 1970.

3.3.2. Características gerais do corredor hidroviário

O corredor hidroviário escolhido para esta análise é uma infraestrutura natural, a Hidrovia Solimões-Amazonas, que tem sua nascente no Peru e deságua no Oceano Atlântico no extremo norte do Brasil, entre a Ilha do Marajó e o Amapá. O Rio Amazonas é o maior rio do mundo (INPE, 2008) e possui um papel fundamental como infraestrutura de transporte de pequenas e grandes cidades do interior da Amazônia. A extensão das hidrovias em território brasileiro, de acordo com o DNIT, é de 3.150 km, fazendo importantes ligações entre municípios isoladas no Estado do Amazonas, Amapá e do Pará. Na Figura 18 abaixo, destaca-se o eixo principal da hidrovia Solimões-Amazonas.

Figura 18 – Municípios sob a influência da hidrovia Solimões-Amazonas



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando a base cartográfica do IBGE (2022) e Ministério dos Transportes (2024).

A hidrovia Solimões-Amazonas é formada por dois rios que dão nome a cada uma das hidrovias. Tendo como ponto de conexão a cidade de Manaus, as hidrovias têm como principal tronco, o Rio Amazonas. De acordo com o DNIT (2022), na hidrovia do Solimões, a infraestrutura é constituída por vias de navegação em corrente livre e por trechos de rios canalizados, onde são realizados os deslocamentos de passageiros e o transporte de cargas.

A hidrovia do Amazonas é a principal via de transporte e escoamento de cargas na região Norte, sendo responsável por cerca de 65% do total transportado (DNIT, 2022). Ainda, de acordo com o DNIT, a hidrovia é fundamental para o comércio interno e externo da região Norte, pois propicia a oferta de produtos a preços competitivos. No Quadro 7 abaixo, apresenta-se uma síntese da hidrovia Solimões-Amazonas.

Quadro 7 - Características da hidrovia.

Hidrovia	Características Físicas	Total de cargas transportadas em 2022 em toneladas	Principais produtos transportados 2022
Solimões	- Extensão navegável: 1.630 km; - Largura média: 1.210 m.	76.769.393	Veículos automóveis, tratores, ciclos e outros veículos terrestres, suas partes e acessórios; Combustíveis minerais, óleos minerais e produtos da sua destilação; matérias betuminosas; ceras minerais; Peixes e crustáceos, moluscos e outros invertebrados aquáticos; Frutas; cascas de frutos cítricos e de melões; Cereais; Açúcares e produtos de confeitaria; Sal; enxofre; terras e pedras; gesso, cal e cimento;
Amazonas	- Extensão navegável: 1.646 km; - Largura média: 2.000 m	1.076.034	

Fonte: DNIT e ANTAQ, 2022.

Nota-se que a hidrovia é o principal meio de transporte do extremo norte do país, visto a grande quantidade de rios que cortam a região. Grande parte da população da Amazônia mantém uma dinâmica de vida em função do rio, seja para a subsistência, através da pesca ou para o deslocamento. Em algumas comunidades, a navegação de grande porte acaba influenciando a dinâmica de comunidades ribeirinhas.

Por outro lado, apesar da vocação natural da região para o transporte hidroviário, há grandes rios que não são utilizados de maneira efetiva, é o caso dos rios Araguaia e Tocantins, que poderiam formar a hidrovia Araguaia-Tocantins. No entanto, a navegação é impedida devido a obstáculos naturais (presença de bancos de areia e rochas) e pelas hidrelétricas que não possuem sistema de eclusas suficiente para navegação de grande porte. Caso a hidrovia Araguaia-Tocantins passe por intervenções, poderá escoar produtos e pessoas do Estado de Goiás e do extremo norte do Pará (DNIT, 2022).

3.3.3. Características gerais do corredor ferroviário

A terceira infraestrutura selecionada para este estudo são duas ferrovias: a Estrada de Ferro Carajás EF-496 e a Ferrovia Norte-Sul EF-151. A Estrada de Ferro Carajás teve seu primeiro trecho inaugurado em 1985. Faz ligação entre a cidade de Canaã dos Carajás, no sudeste do Estado do Pará à cidade de São Luís, no litoral do Estado do Maranhão. É uma ferrovia de alta capacidade, construída em bitola larga (1,60 m). A maioria dos trechos são duplicados. Em Açailândia, no Maranhão, conecta-se à Ferrovia Norte-Sul. As principais cargas movimentadas em 2020 foram minério de ferro, manganês, ferro gusa, combustíveis e cobre (Vale, 2020). A Estrada de Ferro Carajás realiza ainda, o transporte regular de passageiros entre São Luiz/MA e Parauapebas/PA, com três viagens semanais em cada sentido.

A Ferrovia Norte-Sul é uma importante via ferroviária que atravessa parte significativa do território brasileiro. Construída para promover a integração e o desenvolvimento regional, a ferrovia é uma das mais importantes obras de infraestrutura logística do país. Neste estudo analisa-se a parte da ferrovia que está dentro da Amazônia Legal, que corresponde a 975 km. Operada pela Valec Engenharia, Construções e Ferrovias S.A (incorporada em 2022 pela INFRA SA), empresa estatal vinculada ao Ministério dos Transportes, a Ferrovia Norte-Sul desempenha um papel fundamental no transporte de cargas, especialmente minérios, grãos e produtos industrializados (Ministério da Infraestrutura, 2023).

O objetivo da implantação da Ferrovia Norte-Sul é integrar diferentes regiões do Brasil, conectando o Norte ao Sul do país por meio de uma malha ferroviária eficiente. Isso pode facilitar o acesso a mercados e recursos, promover a diversificação econômica e reduzir a dependência de outros modos de transportes. O corredor ferroviário pode oferecer vantagens logísticas em relação ao transporte rodoviário, especialmente para o transporte de cargas a granel, como minérios, grãos e combustíveis. A utilização da ferrovia pode reduzir os custos de transporte, aumentar a eficiência operacional e contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Na Figura 19 abaixo, destaca-se o eixo principal das ferrovias Norte-Sul e Carajás. É importante salientar que o trecho norte da ferrovia (Açailândia/MA - Barcarena/PA) está em fase de planejamento.

3.4. Justificativas da Escolha dos Três Corredores

Em relação ao estudo dos corredores de transportes da Amazônia Legal, a escolha da hidrovia, das ferrovias e da rodovia se deu a partir da importância que cada corredor exerce,

visto que são as maiores e mais importantes infraestruturas de transportes disponíveis na região, além disso, segundo os conceitos elencados acima, essas infraestruturas podem ser consideradas corredores econômicos.

É importante destacar que a análise dos municípios localizados às margens dos corredores pode mostrar se de fato as infraestruturas de transportes têm poder transformador na região, visto que há controvérsias quanto à associação entre corredores econômicos, equilíbrio social e desenvolvimento sustentável. A integração espacial e a aglomeração de atividades econômicas têm o potencial de preparar as bases para a expansão da produção. No entanto, a expansão econômica também envolve efeitos externos indesejáveis de desigualdades espaciais e marginalização de algumas comunidades (Athukorala e Narayanan, 2018).

A região amazônica tem exercido certo protagonismo global, principalmente em função da sua importância ambiental. Em novembro de 2025 será realizado em Belém do Pará a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, também chamada de COP30. De acordo com estimativas da Fundação Getúlio Vargas (2025), é esperado um fluxo de mais de 40 mil pessoas durante a conferência.

Porém, muito além da sua importância ambiental e de sociobiodiversidade, nessa área vivem atualmente cerca de 28 milhões de pessoas. De acordo com o Banco Mundial (2023), a Amazônia Legal é uma das regiões mais pobres do país, visto que a renda individual total da população desta área é, em média, cerca de 30% menor que a renda no restante do Brasil. Neste estudo, a população total dos municípios, conforme os dados levantados do censo do IBGE (2022), é de 11.556.051 habitantes. Ou seja, cerca de 41% da população vive ao longo dos corredores analisados. Neste contexto, analisar esse espaço geográfico e a influência dos corredores que impactam a vida das pessoas é primordial para compreender os desafios e oportunidades associados ao desenvolvimento sustentável na região.

Diversos estudos referenciados nesta tese confirmam que os corredores de transporte não apenas estruturam a dinâmica econômica local, facilitando o escoamento da produção agropecuária e mineral, como também influenciam diretamente a ocupação do solo, a conservação ambiental, as condições de vida da população e a pressão sobre áreas protegidas (Baber *et al.*, 2014; Bebbington *et al.*, 2018; Soares-Filho *et al.*, 2019; Cristo *et al.*, 2022; Araujo *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2023). Além disso, a presença dessas infraestruturas pode gerar efeitos contraditórios, promovendo o crescimento econômico em alguns municípios, enquanto intensifica desigualdades socioeconômicas e degradação ambiental em outros.

Os corredores selecionados exercem importante influência sobre a área estudada. Considerando o Produto Interno Bruto per capita de alguns municípios (IBGE, 2022), com

picos de R\$ 261.926,17 (Diamantino-MT, no corredor rodoviário, no ano de 2021); R\$ 894.806,28 (Canaã dos Carajás-PA, no ferroviário, no ano de 2021); e R\$ 61.180,00 (Coari-AM, no hidroviário, no ano de 2013), considerando também a influência da infraestrutura existente, pode-se afirmar que a grande maioria dos trechos dos corredores de transportes funcionam como corredor econômico. Além disso, os diferentes corredores estão conectados com outras importantes infraestruturas de transportes da Amazônia, tais como portos fluviais e marítimos, aeroportos e rodovias (Ministério de Infraestrutura, 2024).

Considerando esses dados, nota-se que o estudo é respaldado por diversas justificativas fundamentais. Primeiramente, essas vias de transporte desempenham um papel importante na conectividade regional e nacional e no desenvolvimento econômico da Amazônia Legal, representando importantes corredores de transportes para o escoamento da produção e para a integração das regiões.

Além disso, a seleção desses corredores permite uma análise abrangente dos desafios e oportunidades associados à infraestrutura de transporte na Região Amazônica, considerando tanto aspectos socioeconômicos, quanto ambientais. A Rodovia Cuiabá-Santarém, a Hidrovia Solimões-Amazonas e as Ferrovias Carajás e Norte-Sul abrangem diferentes modalidades de transporte, proporcionando uma visão holística e comparada das dinâmicas territoriais e dos impactos da infraestrutura de transporte na Amazônia Legal.

Assim, ressalta-se que esses corredores foram selecionados devido à sua importância estratégica para o desenvolvimento regional e nacional, destacando-se como vetores fundamentais para a promoção da integração socioeconômica e a redução das desigualdades regionais. Ao compreender os desafios e oportunidades associados a esses espaços, a pesquisa pode contribuir para o desenvolvimento de políticas e estratégias mais eficazes para a região, visando uma gestão sustentável da infraestrutura de transporte e o fortalecimento da economia amazônica.

Portanto, essas distintas infraestruturas de transportes representam uma peças-chave na matriz modal da Amazônia Legal, desempenhando um papel importantíssimo na integração regional e nacional, podendo influenciar no desenvolvimento sustentável das áreas por onde passa. Sua importância como vetor de crescimento econômico e de redução das desigualdades regionais, torna o objeto deste estudo relevante para compreender os desafios e as oportunidades associadas à infraestrutura de transporte da Região Amazônica.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia adotada busca identificar e analisar os principais fatores que têm influenciado o desenvolvimento sustentável dos municípios da Amazônia Legal sob o enfoque dos corredores de transportes. Para isso, o estudo contempla diversas etapas, incluindo a análise exploratória dos dados, a aplicação de testes estatísticos, análise de correlação, segmentação espacial por meio do método de quebras naturais de Jenks, a Análise de Componentes Principais (ACP) e, por fim, as etapas de construção de um Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM) dos municípios perpassados pelos corredores de transporte, classificando-os em cinco categorias quanto à sustentabilidade: “Muito baixo”, “Baixo”, “Intermediário”, “Alto” e “Muito alto”.

4.1. Desenho da Pesquisa

Ao selecionar o método de pesquisa mais apropriado, é essencial considerar a variabilidade dos dados em questão. Dependendo da amplitude dessa variação e com base na literatura pertinente, é possível determinar o método mais adequado para obter respostas relevantes e confiáveis para a pesquisa em análise (Creswell; Creswell, 2017; Yin, 2017). No caso desta Tese, observa-se uma ampla diversidade de dados com múltiplas variáveis sendo analisadas diretamente, cada uma correspondendo a um corredor de transporte específico em cada município, ao longo de um período, que abrange dados de 1990 a 2021.

As variáveis do banco de dados foram organizadas em planilhas, adotando a seguinte nomenclatura em cada coluna: modo de transporte, corredor, município, área do município, código do município, longitude, latitude, Unidade da Federação, ano, população, densidade populacional, Produto Interno Bruto (PIB), PIB per capita, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), área queimada, área desmatada, área de floresta, área de uso do solo para agropecuária, área urbanizada e número de integração de transporte.

Todas as variáveis foram submetidas a uma série de testes estatísticos, incluindo testes de normalidade, correlação e multicolinearidade, a fim de selecionar aquelas que se mostram mais relevantes para os objetivos da pesquisa. O processo de coleta e seleção das variáveis será detalhado nos próximos subtópicos.

Considerando apenas as variáveis numéricas, tomadas como principais para as análises iniciais (população; densidade populacional; produto interno bruto; produto interno bruto per capita; índice de desenvolvimento humano municipal; área queimada; área desmatada; área de floresta; área de uso do solo para agropecuária; área urbanizada; número de infraestruturas de transporte), para trinta e um anos, o conjunto de dados totaliza 72.512 observações, distribuídas

da seguinte forma: 15.488 observações para o corredor rodoviário; 21.472 observações para o corredor hidroviário e 35.552 observações para o corredor ferroviário. A estrutura dos dados está organizada em forma de painel, visto que analisa diversas variáveis ao longo de um período. Dados em painel, também conhecidos como dados longitudinais, são um tipo de conjunto de dados que combina informações de múltiplas entidades (como indivíduos, empresas, países etc.) ao longo de vários períodos (Gujarati; Porter, 2011). No contexto desta Tese há a combinação de diversas informações de 206 municípios em trinta e um anos.

Dessa forma, o uso de dados em painel é justificado pela sua capacidade de fornecer uma análise mais abrangente, precisa e dinâmica das influências dos corredores de transporte no desenvolvimento sustentável da Amazônia, permitindo um entendimento mais aprofundado e fundamentado das interações entre as dimensões social, econômica, ambiental e de infraestrutura dos municípios estudados. Dados em painel são uma ferramenta importante para análises empíricas, oferecendo uma perspectiva rica e detalhada, que combina as vantagens das análises transversais e temporais (Wooldridge, 2006; Baltagi, 2008). No contexto desta pesquisa, dados em painel permitem uma avaliação mais precisa e robusta do impacto dos corredores de transporte no desenvolvimento sustentável da região amazônica, ao capturar tanto as variações ao longo do tempo quanto as diferenças entre os municípios.

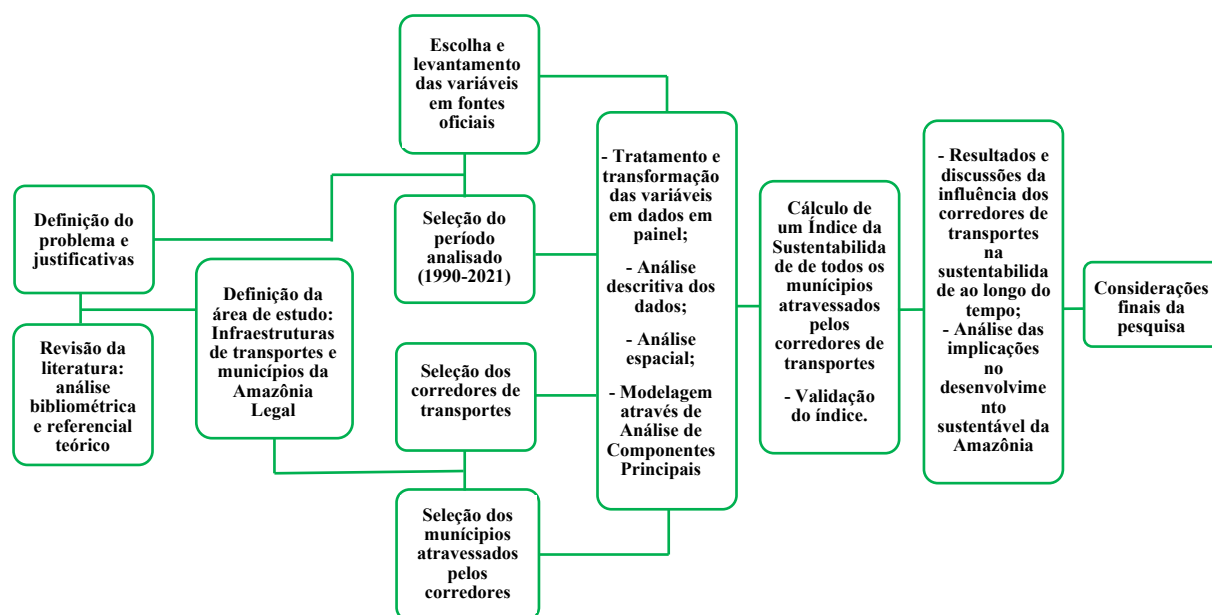
Dada a diversidade de municípios analisados ao longo de três grandes corredores de transporte, observa-se ampla variação nas características socioeconômicas, ambientais e de infraestrutura, o que pode dificultar a interpretação dos dados brutos. Além disso, a presença de múltiplas variáveis correlacionadas pode comprometer a aplicação de métodos estatísticos convencionais, devido à multicolinearidade. Para lidar com essa complexidade, a Análise de Componentes Principais (ACP) é utilizada como técnica estatística para reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados, preservando a maior parte da variabilidade original e permitindo a identificação de padrões subjacentes (Jolliffe, 2016). Essa abordagem permite transformar um grande número de variáveis correlacionadas, em um conjunto menor de componentes independentes, facilitando a interpretação dos dados.

A ACP é amplamente empregada em estudos que envolvem grandes bases de dados, pois sua aplicação possibilita uma síntese eficiente da informação, destacando as variáveis que mais contribuem para a variabilidade dos dados (Wold *et al.*, 1987). A técnica é particularmente útil para explorar como os municípios se agrupam em função de suas características sociais, econômicas e ambientais, além de permitir uma análise comparativa entre os corredores de transporte. Os componentes extraídos representam combinações lineares das variáveis

originais, organizando as variáveis em um espaço de menor dimensão, o que facilita a visualização e interpretação dos padrões espaciais e temporais observados na pesquisa.

Além de reduzir a dimensionalidade, a ACP também auxilia na mitigação do impacto de *outliers* (valores discrepantes), uma vez que os primeiros componentes principais capturam a maior variabilidade dos dados e tendem a ser menos sensíveis a valores extremos (Jackson, 1991). No contexto desta pesquisa, a ACP será fundamental para calcular o Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia, permitindo identificar os fatores mais relevantes que explicam as diferenças entre os municípios analisados a partir dos corredores de transportes aos quais estão vinculados. A combinação dessas técnicas com métodos de visualização espacial fornecerá uma análise mais robusta, facilitando a compreensão da influência dos corredores de transporte no desenvolvimento regional sustentável da Amazônia. Na Figura 20, é possível observar as principais etapas da pesquisa através do fluxograma.

Figura 20 – Fluxograma das principais etapas metodológicas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4.2. Coleta de Dados e Características das Variáveis

Foram levantados dados de 206 municípios situados no entorno dos três corredores estudados. Nesta etapa, optou-se por incluir as capitais dos estados no painel de dados, visto que os municípios de Manaus-AM, São Luís-MA, Macapá-AP e Cuiabá-MT detêm dados importantes, apesar de o seu desenvolvimento ter sido influenciado por fatores mais amplos e complexos, quando comparados a municípios de pequeno e médio porte.

Os municípios selecionados, conforme mencionado, são perpassados pelos seguintes corredores de transportes: Hidrovia Solimões-Amazonas, Rodovia Cuiabá-Santarém, Ferrovia

de Carajás e Ferrovia Norte-Sul. Portanto, a formação dos grupos de municípios baseia-se na presença ou ausência de corredores de transporte, uma vez que uma infraestrutura de transporte desempenha um papel determinante na dinâmica socioeconômica e territorial das regiões (Banister; Berechman, 2001; Rodrigue, 2020). Estudos demonstram que a acessibilidade proporcionada por essas infraestruturas influencia diretamente a ocupação do solo, os fluxos comerciais e o desenvolvimento regional, promovendo tanto benefícios econômicos quanto impactos ambientais (Banister; Berechman, 2001; Giuliano; Hanson, 2017).

Considera-se ainda, que esses corredores de transportes interferem em aspectos do desenvolvimento sustentável da área de estudo. As infraestruturas de transporte, no geral, influenciam diretamente aspectos sociais, econômicos e ambientais das regiões onde são implantadas, modificando padrões de acessibilidade, distribuição de atividades produtivas e impactos ambientais. Estudos apontam que infraestruturas podem contribuir para o desenvolvimento regional, ao mesmo tempo em que intensificam processos como a urbanização desordenada e a pressão sobre os ecossistemas naturais (Chen; Vickerman, 2018; Rodrigue, 2020).

Os três grupos de municípios foram separados de acordo com o corredor de transporte que perpassa em cada território municipal ou municípios situados a até 10 km dos corredores. A extensão dos corredores de transportes e organização do número de municípios analisados estão sintetizados no Quadro 8:

Quadro 8 - Organização do grupo de municípios por corredor de transportes.

Corredores de transportes	Extensão (km)	Número de municípios analisados
Hidrovia Solimões-Amazonas	3.676*	61
Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163)	2.125**	44
Ferrovia Carajás (EF-496) e Ferrovia Norte-Sul (EF-151)	1.947***	101
Total	7.948	206
Observações: * De acordo com o INPE, o rio Amazonas é formado por vários afluentes e possui 6.992,06 tendo a nascente no Peru. Neste estudo foram analisados os municípios do território do Brasil, inseridos na Amazônia Legal. **A rodovia implantada possui um total de aproximadamente 3.467 km de extensão, para este estudo foram analisados os municípios que estão inseridas na Amazônia Legal. ***A Ferrovia Norte-Sul implantada possui 2.200 km. Para este estudo foram analisados os municípios que estão inseridas na Amazônia Legal.		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Os dados levantados correspondem a aspectos sociais, econômicos, ambientais e de infraestrutura, visto que foram feitas análises dos corredores de transportes e a relação com o desenvolvimento sustentável em 206 municípios. Para as variáveis ambientais coletadas da plataforma MapBiomas, foram utilizadas diferentes coleções de dados, garantindo uma análise

abrangente e detalhada. Para uso e cobertura da terra, incluindo área de floresta, área desmatada, área urbanizada e área de agropecuária, foi empregada a Coleção 8, que fornece dados anuais de cobertura e uso da terra no Brasil. Quanto à variável área queimada, foi utilizada a Coleção 2 do MapBiomass, que oferece o mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil das últimas décadas.

As variáveis descritas anteriormente constituem a base de dados utilizada para a análise do estudo: população; densidade populacional; produto interno bruto; produto interno bruto per capita; índice de desenvolvimento humano municipal; área queimada anual; área desmatada anual; área de floresta; área de uso do solo para agropecuária; área urbanizada; infraestrutura de transportes. Essas variáveis foram selecionadas por sua disponibilidade ao longo de todo o período de análise e relevância na avaliação do desenvolvimento sustentável, refletindo aspectos econômicos, sociais, ambientais e de infraestrutura, conforme preceitos da ONU (2022). No Quadro 9, as variáveis selecionadas foram organizadas, juntamente com suas descrições detalhadas e as respectivas fontes.

Quadro 9 - Descrição das variáveis sociais, econômicas e ambientais do painel de dados

(continua)

Variável/Tipo	Unidade	Descrição	Fonte
Produto Interno Bruto/Econômica	Moeda em Reais R\$	Medida que representa a produção anual econômica de um município, estado ou país. Para este estudo os valores foram deflacionados com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC), utilizando o ano de 2021 como referência.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2023)
Produto Interno Bruto per capita/Econômica	Moeda em Reais R\$/habitante	Medida que representa a média da renda ou produção econômica anual por habitante em um determinado, município, estado ou país. Para este estudo os valores foram deflacionados com base no INPC. O valor ajuda a avaliar o padrão de vida médio da população e comparar o nível de desenvolvimento econômico entre diferentes áreas geográficas.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2023)
IDHM/Social	-	Medida adimensional que combina indicadores de expectativa de vida, educação e renda para avaliar o desenvolvimento humano em uma determinada área geográfica, como um município.	IBGE (2023). Para o ano de 2021 os dados foram obtidos através de projeções considerando os dados de cada UF e a variação de 2010 para 2021.
População/Social	Habitantes	Medida que representa o número de habitantes por município.	Dados de população são do IBGE (2023)

(continua)

Variável/Tipo	Unidade	Descrição	Fonte
Densidade populacional/Social	hab/km ²	Medida que representa o número de habitantes por unidade de área municipal, aqui expressa como habitantes por quilômetro quadrado (hab/km ²). Ela indica o grau de concentração ou dispersão da população em uma determinada região geográfica.	Dados de população e área municipal são do IBGE (2023)
Área de formação natural - Floresta/Ambiental	%	Área coberta por vegetação florestal nativa, incluindo florestas densas e abertas. Os valores resultam da divisão do total de área de floresta (em km ²) pela área total do município (em km ²) multiplicado por 100, obteve-se a proporção expressa em percentual.	Dados de área de formação natural – Floresta é do MapBiomias (2023) e área do município do IBGE (2023).
Área Urbanizada/Ambiental e social.	%	Área ocupada por construções, infraestrutura e uso urbano consolidado, como zonas residenciais, comerciais e industriais. Os valores resultam da divisão do total de área urbanizada (em km ²) pela área total do município (em km ²) multiplicado por 100, obteve-se a proporção expressa em percentual.	Dados de área não vegetada (urbanização) é do MapBiomias (2023) e área do município do IBGE (2023).
Área queimada/Ambiental	%	Área atingida por fogo, seja por queimadas controladas ou incêndios, utilizada como indicador de pressão ambiental e risco ecológico. Os valores resultam da divisão do total de área queimada (em km ²) pela área total do município (em km ²) multiplicado por 100, obteve-se a proporção expressa em percentual.	Dados de área queimada é do MapBiomias (2023) e área do município do IBGE (2023).
Área desmatada/Ambiental	%	Área onde houve supressão da vegetação nativa, resultando em solo exposto ou substituído por outras formas de uso, como agropecuária ou áreas degradadas. Os valores resultam da divisão do total de área desmatada (em km ²) pela área total do município (em km ²) multiplicado por 100, obteve-se a proporção expressa em percentual.	Área desmatada é do MapBiomias (2023) e área do município do IBGE (2023).
Área de uso do solo para agropecuária (pastagem e agricultura)/econômica e ambiental	%	Área destinada a atividades produtivas agropecuárias, como cultivo agrícola e criação de animais, associadas à produção de alimentos e commodities. Os valores resultam da divisão do total de área de uso do solo para a agropecuária (em km ²) pela área total do município (em km ²) multiplicado por 100, obteve-se a proporção expressa em percentual.	Área de uso do solo para agropecuária é do MapBiomias (2023) e área do município do IBGE (2023).

(conclusão)

Variável/Tipo	Unidade	Descrição	Fonte
Infraestrutura de transportes/ Infraestrutura	Nº de infraestrutura presente na área do município	Representa a quantidade de possibilidades de acessos por infraestruturas de transportes que interligam o município analisado, podendo ser uma rodovia, uma ferrovia, uma hidrovia ou um aeroporto.	Google Maps e Base cartográfica do Ministério de Infraestrutura (2024).
Modo de transporte/Infraestrutura	hidroviário, ferroviário ou rodoviário	Representa o modo de transporte pertencente ao município analisado.	Base cartográfica do Ministério de Infraestrutura (2024).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

As variáveis escolhidas correspondem aos dados disponíveis que representam a base do desenvolvimento sustentável abrangendo aspectos econômicos, sociais, ambientais e de infraestrutura, conforme perspectiva da Organização das Nações Unidas (2022) sobre variáveis da sustentabilidade publicados no “Relatório de Desenvolvimento Humano 2021/2022”. Essas escolhas também se alinham com a teoria dos três pilares da sustentabilidade, proposta pelo economista John Elkington em 1997 (Teoria do *Triple Bottom Line* - TBL).

Portanto, esta Tese baseia-se em dados reunidos de várias fontes secundárias e informações coletadas de pesquisas bibliográficas realizadas nos últimos anos. O banco de dados é do tipo painel, uma vez que analisa variáveis de vários municípios ao longo de um período de trinta e um anos. As informações socioeconômicas são de fontes oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as informações de infraestruturas foram coletadas da base cartográfica do Ministério de Infraestrutura e as informações ambientais são do Mapbiomas, plataforma formada por uma rede colaborativa de organizações não governamentais, universidades e *startups* de tecnologia.

4.3. Ferramentas Computacionais Utilizadas na Análise dos Dados

A organização dos dados e as análises foram conduzidas com o auxílio de três ferramentas computacionais principais: Os *softwares* Excel, RStudio e QGIS. O QGIS, software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) de código aberto e multiplataforma, foi utilizado para visualizações georreferenciadas de algumas variáveis. Nesta pesquisa foi utilizada a versão 3.22.6, para o sistema da Microsoft. Além disso, a organização inicial dos dados e confecção de alguns gráficos foi feita em planilhas do Excel. Os testes estatísticos e gráficos foram gerados no *software* R, com auxílio da interface RStudio.

O RStudio é um *software* de acesso aberto para a linguagem de programação R, amplamente utilizado para análise de dados estatísticos e gráficos (Kopczewska, 2020). O

programa oferece funcionalidades importantes para manipulação de dados, execução de *scripts*, e geração de relatórios e visualizações. A escolha do RStudio se deve à sua robustez e flexibilidade, permitindo a implementação de modelos estatísticos dos mais simples aos mais complexos, além de possibilitar a integração com diversas bibliotecas e pacotes especializados para análise de dados (Kopczewska, 2020).

Em relação aos principais pacotes e bibliotecas utilizadas, inicialmente, uma análise exploratória dos dados foi realizada com o auxílio dos pacotes *tidyverse* e *ggplot2*. Ambos são indicados por Wickham (2016) e Wickham *et al.* (2019), pois essas ferramentas permitem a organização, manipulação e visualização gráfica dos dados. Através desses pacotes, foram gerados gráficos gerais, gráficos de dispersão, *biplots*, histogramas e mapas de calor para compreender a distribuição das variáveis e identificar padrões ou valores discrepantes. Além disso, o pacote *sf*, indicado por Pebesma (2018) foi utilizado para lidar com dados espaciais, permitindo a integração dos resultados da análise estatística com mapas temáticos.

Para a realização da Análise de Componentes Principais (ACP), utilizou-se o pacote *FactoMineR*. Esse pacote facilita a seleção da matriz de variáveis, permitindo extrair os componentes principais e visualizar as contribuições das variáveis por meio de gráficos de dispersão e *biplots*. Além disso, a interpretação dos componentes foi complementada com o pacote *factoextra*, amplamente utilizado na literatura sobre ACP (Kassambara; Mundt, 2020), que aprimora a visualização dos resultados do ACP por meio de gráficos intuitivos e interativos.

Em relação ao Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia foi calculado com base nos resultados da ACP, utilizando a classificação dos componentes extraídos para construir um indicador sintético. Vyas e Kumaranayake (2006) demonstram a aplicabilidade da técnica na elaboração de índices de status socioeconômico, discutindo desde a seleção e padronização das variáveis até os cuidados na interpretação dos componentes principais. O estudo dos autores enfatiza que a ACP permite identificar padrões estruturais nos dados e reduzir a subjetividade na ponderação dos indicadores. De forma complementar, Mazziotta e Pareto (2024) discutem aspectos teóricos e práticos da ACP na construção de indicadores compostos, defendendo que sua aplicação é especialmente adequada, quando se deseja integrar diferentes dimensões de fenômenos complexos, como o desenvolvimento regional sustentável. Os autores destacam que, ao identificar as combinações lineares mais representativas entre os indicadores, a ACP contribui para a criação de modelos de medição mais coerentes com a estrutura subjacente dos dados, além de favorecer a comparação entre unidades territoriais com diferentes características socioeconômicas e ambientais.

A implementação da etapa metodológica da ACP foi realizada no RStudio, combinando a ponderação dos componentes com funções estatísticas do pacote *dplyr*, indicado por Wickham *et al.*, (2023) para padronização e normalização dos dados. Os resultados foram posteriormente integrados com ferramentas de geoprocessamento, como o QGIS, permitindo a visualização espacial dos padrões observados. Essa abordagem computacional possibilitou uma análise detalhada e replicável, garantindo maior precisão e confiabilidade na avaliação dos impactos dos corredores de transporte sobre os municípios estudados.

4.4. Análise Exploratória dos Dados

A primeira etapa da análise envolve uma exploração descritiva dos dados coletados dos 206 municípios ao longo dos três grandes corredores de transporte na Amazônia no intervalo de tempo de 1990 a 2021. Utilizando o *software* R, foram gerados resumos estatísticos através do comando *summary()*, permitindo uma compreensão inicial da distribuição dos dados para cada variável. As estatísticas descritivas obtidas incluem valores mínimos, máximos, médios, medianos e quartis, fornecendo uma visão detalhada da variação e da tendência central das variáveis verificadas. Essa análise preliminar é essencial para identificar padrões, variações e possíveis anomalias nos dados (Chatfield, 2018), além de servir como base para as etapas subsequentes da pesquisa.

Para uma compreensão visual das tendências temporais e comparativas entre os três corredores de transporte, utilizou-se de análise gráfica detalhada das variáveis principais do estudo. Utilizando o Excel e o Rstudio, foram gerados gráficos que mostram a variação dos valores para cada variável ao longo do tempo. Esses gráficos permitem visualizar claramente como as médias e medianas das variáveis sociais, econômicas e ambientais evoluíram ao longo do tempo para cada um dos corredores de transporte analisados.

Cada gráfico apresenta a média ou mediana dos valores das variáveis específicas para os três corredores, permitindo uma comparação direta entre eles. Essa abordagem visual facilita a identificação de padrões e tendências, que podem não ser imediatamente perceptíveis em uma análise puramente numérica, conforme apontado por Tufte (2001) e Wickham (2016). Por exemplo, os gráficos podem revelar que o crescimento econômico ao longo do tempo está correlacionado com o aumento da manipulação ambiental ou se as políticas de desenvolvimento sustentável têm sido mais eficazes em um corredor específico em comparação com os outros.

4.5. Análise Espacial

Para analisar algumas variáveis, além da visualização através de gráficos, optou-se também por apresentar os resultados através de mapas temáticos. A utilização de mapas temáticos como ferramenta de análise espacial, permite uma representação visual mais intuitiva das variações territoriais entre os municípios estudados ao longo dos anos. Como a pesquisa envolve uma área extensa, abrangendo múltiplos municípios, a aplicação da análise espacial torna-se singular para identificar padrões geográficos e compreender a distribuição das variáveis investigadas.

Segundo Goodchild (2010), a análise espacial é uma abordagem fundamental para explorar fenômenos distribuídos no espaço, proporcionando uma melhor interpretação das relações entre os dados e o território. Além disso, a combinação de mapas temáticos com gráficos estatísticos contribui para uma análise mais abrangente, permitindo a identificação de tendências espaciais, que poderiam passar despercebidas em representações puramente numéricas.

Na análise espacial, a escolha do método de classificação dos dados é essencial para a interpretação precisa e eficaz dos mapas temáticos. Para este estudo, através do *software* QGIS, o método “Quebras Naturais (Jenks)” foi utilizado. Este método é ideal para identificar padrões naturais e agrupar dados de forma que as variações internas das classes sejam minimizadas e as variações entre as classes sejam maximizadas, permitindo uma visualização mais clara das diferenças espaciais (Li *et al.*, 2021).

O método “Quebras Naturais (Jenks)” funciona ao identificar os pontos de corte nos dados onde há mudanças significativas, agrupando os valores em classes que refletem as variações naturais dentro do conjunto de dados (Li *et al.*, 2021). No contexto das variáveis analisadas, essa técnica facilita a visualização das disparidades e tendências espaciais que podem existir entre os municípios ao longo dos corredores hidroviário, rodoviário e ferroviário. Por exemplo, ao aplicar o método Jenks na variável percentual de área de floresta, é possível destacar municípios com altas concentrações de cobertura florestal, em contraste com aqueles onde a floresta foi mais extensivamente desmatada.

A escolha de cinco classes de valores para a aplicação do método Jenks, justifica-se pela necessidade de equilibrar a precisão e a clareza visual. Cinco classes de valores são suficientes para capturar as variações significativas nos dados sem sobrecarregar um mapa com detalhes excessivos que poderiam confundir o leitor. Essa escolha é suportada pela literatura, que sugere que entre quatro e seis, geralmente se atinge um equilíbrio adequado entre detalhamento e

simplicidade na interpretação visual dos dados (*Geographic Information Systems and Cartography*, 2023).

A utilização de cinco classes permite uma análise granular suficiente para identificar tendências e padrões, ao mesmo tempo em que mantém a simplicidade necessária para uma comunicação eficaz dos resultados (Li *et al.*, 2021). Assim, ao utilizar esse método, os mapas gerados mostram de forma mais precisa e eficaz, as variações entre os municípios, destacando áreas que necessitam de maior atenção em termos de políticas públicas e intervenções para promover o desenvolvimento sustentável. Com isso, as análises espaciais se tornam mais informativas, auxiliando na tomada de decisões estratégicas para a área de estudo.

A construção dos mapas categorizados para representar a classificação do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia foi realizada utilizando a ferramenta “categorizado” do *software* QGIS. Essa ferramenta permite a segmentação dos dados em categorias distintas, facilitando a visualização espacial de diferentes classificações entre os municípios analisados. A categorização dos mapas foi baseada nos resultados obtidos a partir da Análise de Componentes Principais (ACP) e do subsequente cálculo do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia. Segundo Anselin (1995), a análise espacial, quando combinada com técnicas estatísticas, possibilita uma interpretação mais detalhada dos fenômenos territoriais, auxiliando na identificação de padrões, que podem não ser evidentes apenas por meio de tabelas ou gráficos.

A utilização de mapas temáticos é amplamente reconhecida como uma abordagem eficaz para comunicar informações complexas de maneira acessível, especialmente em estudos que envolvem múltiplos territórios (Longley *et al.*, 2015). No contexto desta tese, a categorização dos mapas permitiu uma melhor compreensão da distribuição espacial, quanto à sustentabilidade nos municípios analisados, fornecendo subsídios para discussões sobre impactos regionais e formulação de políticas públicas. A aplicação dessas técnicas reforça a importância dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na análise de fenômenos socioambientais, contribuindo para análises embasadas em evidências espaciais.

4.6. Testes estatísticos preliminares

Antes da aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), é fundamental realizar procedimentos preliminares para avaliar a adequação dos dados e assegurar a validade dos resultados (Hair *et al.*, 2009; Tabachnick; Fidell, 2013). A literatura recomenda a verificação de correlação, da linearidade entre as variáveis e a ausência de *outliers* extremos,

por meio de análise gráfica de dispersão e de medidas robustas, como a Distância de Mahalanobis (Hair *et al.*, 2009; Field, 2024).

Para garantir que as variáveis apresentem correlações suficientemente fortes para justificar a aplicação da ACP, são empregados o Teste de Esfericidade de Bartlett, que verifica se a matriz de correlações difere significativamente de uma matriz identidade, e o Índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que mede a adequação da amostra, sendo valores acima de 0,6 considerados aceitáveis. A matriz de correlações também deve ser inspecionada para identificar a existência de agrupamentos coerentes entre as variáveis. Além disso, é possível realizar a Análise de Determinante da Matriz de Correlação, na qual determinantes próximos de zero indicam multicolinearidade adequada para a redução de dimensionalidade. A realização desses procedimentos assegura que a aplicação da ACP ocorra em um contexto estatisticamente apropriado, proporcionando maior robustez, interpretabilidade e confiabilidade às inferências.

O teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) mede a adequação da amostra para a análise fatorial, indicando a proporção da variância que pode ser atribuída a fatores comuns. Na sua aplicação, valores próximos de 1 sugerem maior adequação dos dados (Timmerman; Lorenzo-Seva, 2011). O teste de esfericidade de Bartlett verifica se as variáveis da matriz de correlação populacional são independentes, ou seja, se a matriz é próxima da identidade. A rejeição dessa hipótese indica a presença de correlações significativas, tornando a análise fatorial apropriada (Field, 2005; Tabachnick; Fidell, 2007).

A verificação de *outliers* multivariados foi realizada por meio do cálculo da Distância de Mahalanobis. Essa técnica avalia a distância de cada observação em relação à média multivariada do conjunto de dados, levando em consideração as correlações entre as variáveis. Diferentemente da distância euclidiana simples, a Distância de Mahalanobis ajusta a escala das variáveis e as relações entre elas, permitindo identificar observações que se desviam do padrão esperado em múltiplas dimensões simultaneamente (De Maesschalck; Jouan-Rimbaud; Massart, 2000).

Para a aplicação do teste, as variáveis selecionadas foram previamente padronizadas, garantindo a comparabilidade entre diferentes escalas. A identificação dos possíveis *outliers* foi baseada na comparação das distâncias calculadas com o valor crítico da distribuição qui-quadrado, considerando um nível de confiança de 97,5% e o número de variáveis analisadas como graus de liberdade. Observações com distâncias superiores ao limite estabelecido foram indicadas como potenciais *outliers* multivariados, merecendo análise cuidadosa em etapas posteriores da pesquisa.

A avaliação do determinante da matriz de correlação também constitui uma etapa importante para verificar a adequação dos dados. O determinante indica o grau de correlação existente entre as variáveis analisadas. Quando o valor do determinante é próximo de 1, isso sugere que as variáveis são quase independentes entre si, o que não é desejável para a aplicação da ACP. Por outro lado, valores baixos do determinante (próximos de zero) indicam a presença de multicolinearidade ou correlações substanciais entre as variáveis, condição considerada favorável para a extração de componentes principais (Wichern, 2002; Field, 2013; Johnson).

Contudo, caso o determinante seja extremamente pequeno (próximo de zero), pode haver multicolinearidade severa, o que também não é ideal, pois pode comprometer a estabilidade das soluções fatoriais. Segundo Hair *et al.* (2019), determinantes muito baixos (por exemplo, inferiores a 0,00001) indicam a necessidade de ajuste do conjunto de variáveis, enquanto valores baixos, mas acima desse limite, ainda são aceitáveis para a continuidade da análise. Portanto, a análise do determinante da matriz de correlação é um procedimento complementar para garantir que as variáveis possuem correlações suficientes, mas sem multicolinearidade excessiva, permitindo a robustez dos componentes extraídos na ACP.

Todos esses testes foram conduzidos utilizando o *software* RStudio, garantindo uma análise completa e precisa dos dados. No Quadro 10 abaixo, é apresentada uma breve descrição de cada teste e suas respectivas interpretações. Esta análise preliminar garante que os dados estejam em condições adequadas para a realização Análise de Componentes Principais, que foi utilizada como método principal da pesquisa para explorar a relação entre as variáveis e o desenvolvimento sustentável de municípios da Amazônia Legal.

Quadro 10 – Descrição dos testes realizados

(continua)

Teste	Descrição	Interpretação
Teste de Esfericidade de Bartlett	É um teste estatístico utilizado para verificar se uma matriz de correlação é significativamente diferente de uma matriz identidade, ou seja, se as variáveis no conjunto de dados possuem correlações suficientes para justificar o uso de técnicas como a Análise de Componentes Principais (ACP) ou a Análise Fatorial.	Se o p-valor < 0,05, significa que a ACP é adequada, pois há correlações significativas entre as variáveis. Caso o p-valor > 0,05, a ACP pode não ser apropriada, pois não há correlação suficiente entre as variáveis.
Teste de Kaiser-Meyer-Olkin KMO	Mede a adequação da amostra para a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP) ou Análise Fatorial. Verifica a proporção da variância que pode ser atribuída a fatores comuns, variando de 0 a 1.	Quanto mais próximo de 1, melhor. Pallant (2007) sugere 0,60 como limite razoável. Hair <i>et al.</i> (2005) sugerem 0,50 como patamar aceitável.

(conclusão)

Teste	Descrição	Interpretação
Verificação de <i>outliers</i> (Distância de Mahalanobis)	Esse procedimento identifica <i>outliers</i> multivariados, avaliando a distância de cada observação em relação ao centroide multivariado dos dados. Observações com distância de Mahalanobis excessivamente elevada podem distorcer os resultados da ACP ou de outros métodos multivariados e devem ser analisadas separadamente.	Valores de distância de Mahalanobis são comparados a um valor crítico da distribuição qui-quadrado, considerando o número de variáveis no modelo e um nível de significância (geralmente 0,001). Valores superiores ao crítico são considerados <i>outliers</i> multivariados.
Determinante da matriz de correlação	Avalia a multicolinearidade entre as variáveis. Um determinante muito próximo de zero indica alta colinearidade, o que compromete a aplicação de técnicas como ACP e Análise Fatorial.	Valores do determinante abaixo de 0,00001 sugerem multicolinearidade excessiva e indicam que algumas variáveis podem precisar ser removidas ou combinadas antes de prosseguir com a análise.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com adaptações.

Nota-se que os testes estatísticos preliminares desempenham um papel importante na validação da adequação dos dados para análise posterior. Esses testes garantem que os dados tenham características suficientes para extrair informações relevantes, reduzindo vieses e inconsistências que possam prejudicar os resultados do estudo.

Para a aplicação da ACP, é fundamental verificar a adequação da base de dados. As variáveis utilizadas devem ser contínuas e/ou discretas, sendo desaconselhado o uso de variáveis categóricas (Hair *et al.*, 2009). O tamanho da amostra deve ultrapassar cinquenta observações, sendo ideal um mínimo de cem casos, e a proporção entre o número de observações e a quantidade de variáveis deve ser superior a 5:1 (Hair *et al.*, 2015). Além disso, amostras maiores, aliadas a instrumentos de coleta bem estruturados, tendem a gerar resultados mais precisos, reduzindo o erro amostral (MacCallum *et al.*, 1999).

Com base nestas especificações, verificou-se que a estrutura dos dados permite a aplicação da análise de componentes principais (ACP) como ferramenta de redução de dimensionalidade e identificação de padrões subjacentes. Conforme a literatura mencionada, a ACP é capaz de sintetizar variáveis em seus componentes principais, agrupar informações relevantes e facilitar a interpretação dos determinantes dos municípios analisados. Portanto, os resultados obtidos na fase preliminar de testes estatísticos apoiam a próxima fase da pesquisa e garantem confiabilidade e precisão na aplicação do ACP.

4.7. Análise de Componentes Principais (ACP)

A Análise de Componentes Principais foi proposta inicialmente por Karl Pearson em 1901 e posteriormente formalizada por Harold Hotelling em 1933, sendo consolidada ao longo do século XX, como uma das principais técnicas estatísticas para análise multivariada (Jolliffe;

Cadima, 2016). A ACP tem como objetivo identificar padrões de variação em conjuntos de dados com múltiplas variáveis correlacionadas, por meio da transformação dessas variáveis em um novo conjunto de componentes principais, ortogonais entre si, que retêm a maior parte da variabilidade original (Hair *et al.*, 2009; Abdi; Williams, 2010). Trata-se de uma abordagem exploratória que permite revelar estruturas subjacentes nos dados, reduzindo sua complexidade, sem perda significativa de informação (Rencher; Christensen, 2012).

Portanto, a ACP consiste em projetar os dados originais em um novo sistema de coordenadas, de modo que o primeiro componente principal (CP1) explique a maior proporção da variância total, seguido do segundo componente (CP2), e assim sucessivamente. A transformação matemática é baseada na decomposição espectral da matriz de correlação ou da matriz de covariância.

Dessa forma, para esta pesquisa a ACP foi empregada como método estatístico para reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e identificar padrões subjacentes entre as diversas variáveis selecionadas para o grupo de municípios atravessados pelos corredores de transportes da Amazônia, visto que o método é amplamente utilizado em pesquisas multidimensionais porque permite a transformação de um conjunto de variáveis relacionadas em um novo conjunto de variáveis ortogonais (chamadas de componentes principais), o que explica grande parte da variabilidade dos dados (Jolliffe; Cadima, 2016). Esta abordagem permite uma melhor explicação dos fatores que influenciam as relações espaço-temporais dos municípios analisados, ajudando assim a extrair informações relevantes para o estudo.

Ainda em termos conceituais sobre ACP, de acordo com Hair *et al.* (2009):

“A análise fatorial, que inclui Análise de Componentes Principais e análise dos fatores comuns, é uma abordagem estatística que pode ser usada para analisar inter-relações entre um grande número de variáveis e explicar essas variações em termos de suas dimensões derivadas comuns (fatores). O objetivo é encontrar um meio de condensar a informação contida em várias variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) com uma perda mínima de informação.” (Hair *et al.*, 2009. p. 33).

Matematicamente, os cálculos de uma ACP iniciam-se com a matriz de covariância S ou a matriz de correlação R , dependendo da normalização dos dados. A matriz S é dada por:

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})^T \quad Eq. 1$$

Onde X_i representa o vetor de observações para cada variável e $\bar{X}$ representa o vetor das médias. Quando os dados são padronizados, utiliza-se a matriz de correlação R , que é uma versão normalizada de S . A notação T significa a transposição da matriz, pois se $(X_i - \bar{X})$ é um vetor coluna, sua transposta $(X_i - \bar{X})^T$ se torna um vetor linha e isso permite realizar a multiplicação da matriz, resultando em uma matriz quadrada que contém todas as covariâncias entre as variáveis.

A transformação dos dados para um novo espaço de variáveis ortogonais ocorre por meio da decomposição espectral da matriz de correlação, representada por:

$$R = P\Lambda P^T \quad \text{Eq. 2}$$

Onde P é a matriz cujas colunas são os autovetores (Componentes Principais) e Λ é a matriz diagonal contendo os autovalores correspondentes. Os autovalores indicam a variância explicada por cada Componente Principal, de acordo com Abdi e Williams (2010), a soma dos autovalores equivale à variância total das variáveis ortogonais.

Para a obtenção das novas variáveis Z , que correspondem às Componentes Principais, os dados originais padronizados representados pela matriz X são projetados sobre os autovetores, organizados na matriz P , conforme a seguinte transformação linear:

$$Z = XP \quad \text{Eq. 3}$$

Nessa equação, X é a matriz dos dados originais padronizados, com n observações (linhas) e p variáveis (colunas); P é a matriz dos autovetores (ou vetores próprios), cujas colunas representam os componentes principais; e, Z é a matriz resultante, contendo os escores das componentes principais, ou seja, as novas variáveis não correlacionadas entre si.

Portanto, essas componentes principais são combinações lineares das variáveis originais, ponderadas pelas direções de maior variância nos dados (definidas pelos autovetores), e servem para sintetizar as informações do conjunto multivariado em um espaço de menor dimensão, preservando ao máximo a variabilidade total. Para esta pesquisa, o modelo foi ajustado inicialmente considerando todas as componentes possíveis, de modo a capturar a totalidade da variabilidade presente no conjunto de dados. Em seguida, foi aplicado um critério de seleção baseado na variância explicada para definir o número ideal de componentes a serem mantidos na análise. O critério de Kaiser, elaborado em 1960 por Herbert F. Kaiser, que recomenda a retenção de componentes com autovalores superiores a 1 (Figueiredo Filho *et al.*, 2016) e o gráfico de sedimentação (*scree plot*) foram adotados. A literatura recomenda também que pode-se utilizar o critério da variância acumulada para determinar a quantidade de fatores que devem ser extraídos, Hair *et al.*, (2005) sugerem o patamar de 60% como sendo aceitável.

Esses procedimentos são fundamentais para garantir que a ACP retenha apenas as componentes que contribuem significativamente para a explicação dos dados, evitando a inclusão de componentes irrelevantes.

Assim, a ACP foi aplicada ao banco de dados contendo informações anuais de 206 municípios localizados nos principais corredores de transporte da Amazônia Legal, compreendidos entre os anos de 1990 e 2021. O conjunto de municípios é composto por 61 pertencentes ao corredor hidroviário, 44 ao corredor rodoviário e 101 ao corredor ferroviário. O banco de dados inclui variáveis econômicas, sociais e ambientais, todas previamente padronizadas por meio da função *scale()* no R, a fim de eliminar discrepâncias de escala decorrentes de unidades de medida distintas.

A aplicação da ACP foi realizada com a função *PCA()* do pacote *FactoMineR* do programa Rstudio. A seleção do número de componentes retidos foi feita com base no critério de Kaiser e no gráfico de sedimentação (scree plot), gerado com a função *fviz_eig()* do pacote *factoextra* do programa. A interpretação adicional considerou o critério da variância acumulada, conforme Hair *et al.* (2009), com patamar mínimo de 60% da variância total retida.

Em seguida, a matriz de cargas fatoriais foi obtida e as comunalidades foram calculadas com base na soma dos quadrados das cargas por variável ($\cos^2$). Essa etapa permitiu avaliar o grau de representação das variáveis no modelo. Variáveis com comunalidades significativamente baixas foram reavaliadas quanto à sua pertinência teórica e estatística. Os escores dos componentes principais para cada município foram extraídos e armazenados para uso na etapa de construção do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM), conforme detalhado na seção seguinte.

A partir da pesquisa de Figueiredo Filho *et al.*, (2016), sobre “Métodos Quantitativos em Ciência Política” foi elaborado um resumo com algumas recomendações para a utilização de ACP. O resumo está organizado no Quadro 11:

Quadro 11: Síntese de alguns critérios para aplicação ACP.

(continua)

Crítérios para aplicação ACP	Recomendações
Quanto as variáveis	Precisam ser contínuas e/ou discretas.
Correlação entre variáveis	A matriz de correlações deve exibir a maior parte dos coeficientes com valor acima de 0,30 (independente do sinal).
Número de casos ou observações	Quanto maior, melhor. Hair <i>et al.</i> , (2005) sugerem que a amostra deve ser superior a 50 observações, sendo aconselhável no mínimo 100 casos para assegurar resultados mais robustos.

(conclusão)

Crítérios para aplicação ACP	Recomendações
Valor da comunalidade (representa a proporção da variância de uma variável original que é explicada pelos componentes principais selecionados)	Valores elevadas indicam que uma variável é bem representada pelos componentes extraídos, enquanto valores baixos sugerem que a variável pode não estar bem explicada pelo modelo e, possivelmente, deva ser removida ou reconsiderada (Hair <i>et al.</i> , 2009). Recomenda-se que as comunalidades sejam superiores a 0,5, garantindo que a maior parte da variância da variável seja explicada pelos componentes principais selecionados (Field, 2013)
Outros pressupostos	Deve-se assumir a existência de correlações confiáveis entre a maior parte de variáveis incluídas na análise.
	A consistência do modelo é afetada por casos ausentes, <i>outliers</i> e truncamento de dados.
	Normalidade univariada e/ou multivariada melhoram a confiabilidade do modelo. Embora a ACP não exija estritamente que os dados sigam uma distribuição normal, a normalidade pode tornar os resultados mais estáveis e confiáveis.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com adaptações de Figueiredo Filho *et al.*, (2016).

É importante destacar que a Análise de Componentes Principais foi aplicada de forma unificada ao conjunto de dados, que abrange todos os anos do período de 1990 a 2021, com o objetivo de gerar uma estrutura fatorial estável e comparável ao longo do tempo. Ao adotar essa abordagem integrada, evitou-se a necessidade de realizar análises separadas por década, o que garante consistência metodológica e permite a comparação dos escores fatoriais entre diferentes períodos históricos. Além disso, essa estratégia assegura que os componentes principais tenham o mesmo significado ao longo do período, o que é essencial para a construção de um índice temporalmente coerente.

Após a definição do modelo fatorial e a extração dos escores, os valores do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM) foram agregados e organizados em intervalos decenais, correspondentes aos anos de 1990, 2000, 2010 e 2021. A apresentação dos resultados foi realizada por meio de mapas temáticos elaborados no *software* QGIS e gráficos de barras construídos no Excel, com o intuito de facilitar a leitura e interpretação dos dados. A utilização combinada dessas ferramentas permite a visualização simultânea de padrões espaciais e tendências temporais, auxiliando na identificação de assimetrias regionais e na formulação de políticas públicas mais direcionadas ao desenvolvimento sustentável nos territórios analisados.

A ACP revelou padrões estruturais nas variáveis analisadas, destacando a interdependência entre fatores econômicos, sociais e ambientais, os quais serão aprofundados no Capítulo 5. A redução da dimensionalidade do conjunto de dados permitiu a extração de informações importantes sobre a distribuição dos municípios em relação aos componentes

principais, viabilizando uma análise mais robusta e sintetizada das tendências regionais. A partir da análise dos resultados, torna-se possível associar os padrões identificados a fatores culturais, históricos, geográficos e políticos, contribuindo para a compreensão dos mecanismos que impulsionam o desenvolvimento nos municípios estudados e relacionar com possíveis políticas de desenvolvimento sustentável com uma ótica para o futuro.

4.8. Construção do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM)

Segundo Singh *et al.*, (2009), os indicadores de sustentabilidade ou índices compostos têm sido amplamente reconhecidos como ferramentas essenciais na formulação de políticas e na comunicação pública. Sua aplicação pode facilitar a transmissão de informações sobre o desempenho de países e empresas em áreas como meio ambiente, economia, sociedade e inovação tecnológica.

Dessa forma, os indicadores podem refletir os valores da sociedade, pois medem aquilo que é considerado relevante e, ao mesmo tempo, influenciam prioridades ao direcionar a atenção para o que é quantificado (Meadows, 1998). Sua principal função é sintetizar e organizar a complexidade dos sistemas dinâmicos, tornando-os mais acessíveis por meio de informações gerenciáveis e significativas (Godfrey; Todd, 2001). Ao identificar padrões e destacar tendências, os indicadores permitem simplificar, quantificar e comunicar fenômenos complexos (Warhurst, 2002). Com base nesses fundamentos, foi elaborado o Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM), proposto como um indicador sintético de sustentabilidade regional.

A construção do ISMAM foi realizada com base na Análise de Componentes Principais (ACP), conforme já mencionado, é uma técnica estatística que permite reduzir a dimensionalidade dos dados, preservando a variabilidade presente nas variáveis originais. Para a composição do ISMAM, foi utilizada a primeira, a segunda e a terceira componente principal (CP1, CP2 e CP3), que sintetiza a maior parte da variabilidade ponderada dos dados e, portanto, pode ser interpretada como um eixo representativo do grau de sustentabilidade dos municípios analisados. Os valores do ISMAM foram extraídos diretamente das coordenadas da CP1, CP2 e CP3, conforme expressa a seguinte equação:

$$ISMAM_i = \omega_1 . CP1_i + \omega_2 . CP2_i + \omega_3 . CP3_i \quad Eq. 4$$

Onde $ISMAM_i$ representa o Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia do município i , e $CP1_i$, $CP2_i$ e $CP3_i$ são as coordenadas do município i nas três primeiras Componentes Principais. ω_1 , ω_2 e ω_3 são os pesos atribuídos a cada componente, calculados com base na proporção da variância explicada por cada uma delas.

Para fins de representação espacial e análise temporal, os valores do ISMAM foram organizados por década (1990, 2000, 2010 e 2021), a fim de destacar as transformações ocorridas ao longo de mais de três décadas nos municípios amazônicos vinculados aos corredores de transporte. Essa abordagem facilita a visualização comparativa da evolução da sustentabilidade municipal e permite identificar padrões de permanência, avanço ou retrocesso nas distintas regiões.

Com o objetivo de classificar os municípios segundo seu grau relativo de sustentabilidade, foi adotado o método estatístico de Quebras Naturais de Jenks. Essa técnica permite identificar agrupamentos mais representativos na distribuição de dados normalizados, ao otimizar a separação entre classes. Sua aplicação consiste em minimizar a variância intraclasse e, simultaneamente, maximizar a variância entre as classes, o que favorece a detecção de padrões estruturais nos dados. Segundo Chen et al. (2013), o método de Jenks - também conhecido como “otimização de Jenks” - busca identificar os pontos de ruptura ideais que melhor separam os dados em categorias, reduzindo os desvios dentro de cada grupo e aumentando a diferença entre os grupos formados.

Neste estudo, a técnica foi implementada no software RStudio por meio da função `classIntervals()` do pacote `classInt`, utilizando cinco categorias qualitativas: Muito baixo, Baixo, Intermediário, Alto e Muito alto. A escolha desse método é justificada por sua capacidade de representar de forma mais acurada a distribuição real dos dados, especialmente em contextos assimétricos ou com a presença de valores extremos - limitações comuns em métodos baseados em quantis ou médias simples. A classificação foi aplicada a todo o conjunto temporal (1990–2021), assegurando consistência nas comparações entre anos e entre municípios ao longo das décadas. A abordagem adotada segue recomendações da literatura recente que emprega o método de Jenks na delimitação de unidades territoriais e ambientais em estudos geográficos e socioambientais (Chen et al., 2013; Li et al., 2021). As cinco categorias qualitativas definidas estão apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Critérios de classificação dos municípios segundo o ISMAM

Classificação ISMAM	Critério estatístico	Características
Muito alto	$ISMAM \geq X_4$	Municípios com os maiores valores de ISMAM, indicando alto desempenho integrado de sustentabilidade.
Alto	$X_3 \leq ISMAM < X_4$	Municípios com bom desempenho nas três dimensões analisadas.
Intermediário	$X_2 \leq ISMAM < X_3$	Desempenho médio, com equilíbrio moderado entre os aspectos socioeconômicos e ambientais.
Baixo	$X_1 \leq ISMAM < X_2$	Desempenho inferior, com indícios de desequilíbrios.
Muito baixo	$ISMAM < X_1$	Valores mais baixos de ISMAM, revelando maior vulnerabilidade multidimensional e certo grau de insustentabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os pontos de corte X_1 , X_2 , X_3 , X_4 foram definidos a partir das quebras naturais de Jenks aplicadas aos valores de ISMAM para os anos de análise. Os valores do ISMAM e suas respectivas classificações foram exportados para planilhas por meio da função *write_xlsx()* e posteriormente integrados a uma base cartográfica no *software* QGIS, utilizando o código do município como chave de união. Essa integração permitiu a visualização espacial do ISMAM por década, possibilitando uma leitura geográfica da sustentabilidade no contexto dos corredores de transporte amazônicos.

Na etapa última etapa da pesquisa, como forma de validação do ISMAM, foi realizada uma análise de correlação entre esse índice e outros indicadores sintéticos reconhecidos nacionalmente, como o Índice de Progresso Social (IPS Brasil) e o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC-BR).

O Índice de Progresso Social (IPS Brasil) foi desenvolvido pela Fundação Avina, em parceria com o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon) e a Social Progress Imperative, com o propósito de adaptar a metodologia internacional ao contexto brasileiro. O IPS é um índice sintético que avalia exclusivamente resultados sociais e ambientais, não incluindo variáveis econômicas, de investimento ou produção. Sua estrutura é composta por três dimensões principais - necessidades humanas básicas, fundamentos do bem-estar e oportunidades - desdobradas em doze componentes, cada uma mensurada por múltiplos indicadores secundários de fontes públicas. Os valores variam de 0 a 100, e refletem o nível de progresso social alcançado por cada município, com foco na qualidade de vida, inclusão e justiça social (Wilm *et al.*, 2024).

O Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC-BR) é uma iniciativa coordenada pelo Instituto Cidades Sustentáveis (ICS), em parceria com a Fundação Amazônia Sustentável (FAS) e a *Sustainable Development Solutions Network* (SDSN Brasil). Seu objetivo é mensurar o desempenho dos municípios brasileiros com base no cumprimento dos Objetivos

de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. O IDSC é construído a partir de mais de 100 indicadores organizados em torno dos 17 ODS e utiliza dados públicos nacionais para atribuir notas que variam de 0 a 100 para cada município. A metodologia visa facilitar o monitoramento das metas da Agenda 2030 em nível local, oferecendo subsídios para a formulação de políticas públicas sustentáveis (ICS, 2023).

No contexto desta pesquisa, optou-se pela aplicação da correlação de Spearman para avaliar a associação entre o ISMAM, IPS e o IDSC. A correlação de Spearman é uma medida estatística não paramétrica amplamente utilizada para avaliar a intensidade e a direção da associação monotônica entre duas variáveis. Diferentemente da correlação de Pearson, que pressupõe uma relação linear e distribuição normal dos dados, a correlação de Spearman baseia-se nos postos (ranks) das observações, sendo, portanto, mais robusta a distribuições assimétricas, valores extremos (*outliers*) e relações não lineares (Conover, 1999; Zar, 2005). O coeficiente de Spearman, denotado por ρ , varia de -1 a +1, indicando a força da associação: valores próximos de ± 1 sugerem correlação forte (negativa ou positiva, respectivamente), enquanto valores próximos de 0 indicam ausência de associação monotônica.

A escolha da correlação de Spearman nesta etapa da pesquisa justifica-se pela natureza dos dados analisados: variáveis compostas, de escalas diferentes, e distribuídas em três dimensões do desenvolvimento sustentável. Além de que aplicação prévia do teste de normalidade indicou ausência de normalidade em alguns dos índices, reforçando a necessidade de um método robusto a esse tipo de distribuição. Nesse contexto, a correlação de Spearman apresenta-se como uma técnica estatística metodologicamente sólida para identificar convergências conceituais entre os diferentes índices de sustentabilidade municipal utilizados nesta investigação.

Antes da aplicação da correlação, procedeu-se à verificação da normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk, com o objetivo de identificar a técnica estatística mais adequada. Devido a diversidade e realidade dos municípios, pressupõe-se que os indicadores não apresentaram distribuição normal, assim optou-se pela correlação de Spearman, que não pressupõe linearidade nem normalidade na distribuição das variáveis. O Quadro 13 resume os testes aplicados, suas finalidades e os critérios utilizados na interpretação dos resultados.

Quadro 13: Testes estatísticos aplicados na etapa de validação ISMAM.

Teste	Descrição	Interpretação
Teste de Normalidade: Shapiro-Wilk	Verifica se os dados seguem uma distribuição normal. Testa a hipótese nula de que a amostra foi retirada de uma população com distribuição normal. É sensível a desvios de assimetria e curtose	Se o p-valor $< 0,05$, rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que os dados não seguem distribuição normal. Se $p \geq 0,05$, não se rejeita a normalidade.
Correlação de Spearman	Teste estatístico não paramétrico que avalia a associação monotônica entre duas variáveis, com base na ordenação (ranks) dos dados. É apropriado quando as variáveis não seguem distribuição normal ou têm <i>outliers</i> .	Valores de correlação (ρ) variam de -1 a 1. Valores absolutos maiores que 0,30 indicam associação significativa. Não requer normalidade nem linearidade dos dados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os resultados e discussões, abordando os principais achados do estudo, considerando a relação entre o desenvolvimento sustentável com os corredores e municípios da Amazônia Legal. Inicialmente, será fornecido uma análise descritiva e espacial da evolução das variáveis ao longo do tempo, utilizando gráficos e mapas. Em seguida serão apresentados os resultados estatísticos e alguns testes de hipóteses, bem como os resultados da Análise de Componentes Principais (ACP). Por fim será apresentada uma seção com os resultados da construção do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM), que estão situados ao longo dos corredores aqui estudados. Os resultados e discussões deste estudo estão segmentados por modalidade de transporte e por década, o que permite analisar características específicas de cada corredor de transportes ao longo do tempo.

5.1. Análise Temporal e Descritiva por Corredor

A apresentação dos dados descritivos e a evolução das variáveis ao longo do tempo nos corredores de transporte são importantes para a compreensão dos impactos dessas infraestruturas no desenvolvimento regional sustentável. Essa análise permite identificar tendências, padrões e desafios enfrentados ao longo do tempo, fornecendo resultados importantes para a compreensão da dinâmica territorial da Amazônia Legal. Ao examinar indicadores econômicos, sociais, ambientais e de infraestrutura ao longo de períodos históricos, pode-se entender melhor como os corredores têm influenciado as dinâmicas regionais e como podem ser otimizados para promover um desenvolvimento mais sustentável.

5.1.1. Análise Descritiva Preliminar

Apresentar dados a partir de seus valores limites, quartis, medianas e médias é uma etapa importante nas análises estatísticas. Essas medidas resumem a distribuição dos dados, fornecendo *insights* sobre sua variabilidade, tendência central e presença de valores extremos (Kaur; Stoltzfus; Yellapu, 2018; Lydersen, 2020; Starbuck, 2023). Os valores limites destacam os extremos do conjunto de dados, enquanto os quartis dividem os dados em quatro partes iguais, indicando a dispersão dos valores ao longo da distribuição. A mediana representa o ponto médio dos dados, sendo uma medida robusta de tendência central menos sensível a *outliers*.

Assim, para os resultados iniciais, optou-se pela análise a partir da mediana como medida de tendência central, por esta ser menos sensível a valores extremos e, portanto, mais adequada às distribuições assimétricas observadas em algumas das variáveis analisadas. Essa

escolha possibilita uma representação mais fiel do comportamento típico dos dados, especialmente em contextos com alta variabilidade ou presença de *outliers*. A Tabela 1 apresenta o resumo descritivo das variáveis por corredor de transportes, com base nos valores mínimos, máximos, quartis, medianas e médias. Em seguida, é realizada uma breve análise desses resultados.

Tabela 1 - Resumo das análises descritivas dos corredores.

Variáveis	Min.	1º Qu	Median	Mean	3º Qu	Max.
Corredor hidroviário						
PIB	9.752e+06	5.899e+07	1.085e+08	1.033e+09	2.372e+08	1.033e+11
PIB per capita	744.1	3734.2	5283.9	7289.9	8646.8	69784.1
População	1269	12895	19824	63228	38069	2255903
Densidade populacional	0.1047	1.1813	2.4192	7.6882	5.1196	197.8673
IDHM	0.179	0.38	0.5080	0.497	0.605	0.825
Percentual área queimada	0.00000	0.0058	0.0566	0.2595	0.2026	18.8017
Percentual área desmatada	0.00008	0.0164	0.0729	0.2230	0.2672	6.2013
Percentual área de floresta	26.66	73.73	86.68	80.25	94.33	99.53
Percentual área de agropecuária	0.000086	0.1267	0.9733	2.6459	3.9964	27.9720
Percentual área urbanizada	0.000770	0.0107	0.0246	0.1193	0.0696	2.2042
Infraestrutura de transportes	1.000	1.000	1.000	1.869	2.000	2.000
Corredor rodoviário						
PIB	5.165e+06	6.725e+07	1.888e+08	8.417e+08	4.911e+08	2.975e+10
PIB per capita	785	6658	12070	19542	24941	261926
População	431	8100.5	13626	41550.4	27264	650877
Densidade populacional	0.0601	1.5932	3.3266	15.5023	7.1130	400.9270
IDHM	0.257	0.513	0.624	0.607	0.713	0.829
Percentual área queimada	0.0000	0.1503	0.4259	1.0691	1.0571	54.9634
Percentual área desmatada	0.005808	0.259596	0.528844	1.193497	1.200399	28.171478
Percentual área de floresta	17.22	34.78	54.55	56.12	75.56	98.05
Percentual área de agropecuária	0.3817	20.9643	36.8060	39.2873	58.0879	79.5069
Percentual área urbanizada	0.004583	0.125529	0.501629	0.924314	1.059689	13.245381
Infraestrutura de transportes	1.000	2.000	3.000	3.409	4.000	16.000
Corredor ferroviário						
PIB	1.068e+05	3.144e+07	6.235e+07	4.725e+08	1.469e+08	4.976e+10
PIB per capita	568.7	3366.2	5992.3	9904.7	11028.4	894806.3
População	374	5552.5	11869	32328.6	25080.8	1115932
Densidade populacional	0.4164	5.2102	10.6836	34.1638	23.6287	1913.9132
IDHM	0.1310	0.4200	0.5560	0.5331	0.6520	0.8400
Percentual área queimada	0.0000	0.2241	0.5637	1.1406	1.2779	70.5931
Percentual área desmatada	0.008506	0.431699	0.810199	1.076793	1.436059	13.155104
Percentual área de floresta	8.523	37.141	48.339	50.072	62.802	95.038
Percentual área de agropecuária	0.291	24.802	44.458	41.921	58.572	90.909
Percentual área urbanizada	0.00078	0.18315	0.35017	0.79362	0.71532	29.61280
Infraestrutura de transportes	1.000	2.000	2.000	2.763	4.000	8.000

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

No corredor hidroviário, a análise dos indicadores socioeconômicos revela uma dinâmica econômica limitada. A mediana do PIB per capita entre os municípios do corredor Solimões-Amazonas, no ano de 2021, foi de R\$ 5.283,90. Convertendo esse valor para dólares americanos, com base na taxa média de câmbio de 2021 (1 USD = R\$ 5,96 segundo dados do Banco Central do Brasil), o valor corresponde a aproximadamente US\$ 886,56 por habitante ao ano. Esse montante está abaixo da linha de pobreza extrema definida pelo Banco Mundial,

que adota como referência o valor de US\$ 1,90 por dia (cerca de US\$ 693,50 por ano) em paridade de poder de compra (PPC), mas se aproxima do limiar de US\$ 1.000 por ano em termos correntes, amplamente usado em estudos internacionais como indicador de pobreza absoluta (World Bank, 2022).

Esse dado é particularmente preocupante quando comparado a realidades de países vizinhos. Em 2021, por exemplo, a média do PIB per capita em municípios rurais da Bolívia foi de aproximadamente US\$ 1.500, enquanto no Peru, regiões da Amazônia como Loreto apresentavam valores médios próximos a US\$ 2.300 (CEPAL, 2022). Na Ásia, distritos rurais em países como Bangladesh e Índia, embora marcados por fortes desigualdades, atingiram PIBs per capita médios entre US\$ 1.200 e US\$ 1.800 (ADB, 2022). Isso evidencia que muitos municípios do corredor hidroviário brasileiro estão em situação econômica ainda mais desfavorável, em comparação com territórios de países com menor renda média nacional.

Essa condição reflete não apenas limitações estruturais em infraestrutura, logística e acesso a mercados, mas também a histórica marginalização de regiões fluviais amazônicas nas políticas nacionais de desenvolvimento. Como observa Sachs (2006), o desenvolvimento sustentável requer que se supere a pobreza estrutural em áreas isoladas, integrando-as efetivamente ao território nacional com investimentos estratégicos e inclusão produtiva. No caso da Amazônia, essa integração deve respeitar suas singularidades ambientais e socioculturais, garantindo alternativas de renda compatíveis com a conservação ambiental e os modos de vida locais.

Os valores da mediana da população por município para o corredor hidroviário foi de 19.824 habitantes, com baixa densidade demográfica (2,42 hab/km²), indicando dispersão populacional típica da região amazônica. O IDHM, com valor de 0,508, evidencia um nível médio-baixo de desenvolvimento social, apontando a existência de importantes desafios socioeconômicos para os municípios atravessados pela hidrovía. Na dimensão ambiental, destaca-se a elevada mediana do percentual de área de floresta (86,68%), evidenciando que, mesmo em zonas de ocupação e uso econômico, a cobertura florestal ainda predomina na maior parte dos territórios municipais. Em 2021, municípios que apresentam menores percentuais de área de floresta são Itaubal-AP (26,66%), Chaves-PA (33,39%), Macapá (36,38%), e os que apresentam maiores valores são Benjamin Constant (97,58%), Jutai (98,07%) e Atalaia do Norte (99,50%), situados na região do Alto Solimões no Estado do Amazonas, na fronteira com o Peru e a Colômbia.

Outro ponto que chama atenção é a mediana do percentual de área agropecuária, com 0,973%, indicando que, embora presente, a atividade agropecuária ocupa uma fração relativamente pequena do território. Por fim, a infraestrutura de transportes apresenta mediana constante (1,0), representada por acessos unicamente por hidrovias), demonstrando assim, níveis limitados de integração dos municípios por infraestruturas de transportes diversificadas.

Em síntese, no que se refere ao aspecto ambiental, os municípios atravessados pelo corredor hidroviário Solimões-Amazonas destacam-se por manter uma elevada cobertura de vegetação natural e por apresentarem baixíssimos percentuais de ocupação do solo por atividades agropecuárias. Essa preservação, no entanto, contrasta com a realidade da infraestrutura de mobilidade regional. A população desses municípios encontra-se, em grande medida, isolada, com deslocamentos majoritariamente dependentes da navegação fluvial. Os dados levantados na pesquisa indicam que, em 2021, 31 municípios (50,82%) dispunham exclusivamente da hidrovia como meio de acesso e locomoção. Por outro lado, apenas quatro municípios (6,56%) - Macapá, Santana, Manaus e Santarém - apresentavam maior integração territorial, com cinco ou seis conexões logísticas, seja por meio de rodovias, ferrovias ou aeroportos. Essa realidade reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à melhoria da conectividade regional, sem comprometer os atributos ambientais que caracterizam o corredor hidroviário.

Em relação aos municípios situados ao longo do corredor rodoviário (BR-163), observa-se um panorama econômico mais favorável quando comparado ao corredor hidroviário. O PIB mediano desses municípios foi de aproximadamente R\$ 188,8 milhões, enquanto o PIB per capita mediano alcançou R\$ 12.070,00, evidenciando níveis de renda mais elevados e maior dinamismo econômico. Esses indicadores sugerem que a presença de infraestrutura rodoviária tem desempenhado papel central na intensificação das atividades econômicas, especialmente aquelas vinculadas à agropecuária e ao agronegócio, que se expandiram de forma acelerada nas últimas décadas na região central de Mato Grosso.

Essa tendência está alinhada com as análises de Santos Jr. e Proença (2020), que destacam como os corredores rodoviários funcionam como vetores de reestruturação territorial, promovendo a articulação de eixos de desenvolvimento regional e a formação de novas centralidades econômicas. No entanto, os autores também alertam para os efeitos colaterais desse modelo, como a pressão sobre áreas rurais, a fragmentação socioespacial e a intensificação de desigualdades regionais.

Apesar dos indicadores econômicos positivos, os municípios do corredor rodoviário ainda se caracterizam por um porte demográfico reduzido. A população mediana foi de 13.626

habitantes, com uma densidade populacional média de apenas 3,33 hab/km², o que revela a prevalência de áreas com baixa concentração populacional, reflexo das vastas extensões territoriais e da ocupação dispersa típica da Amazônia. Em 2021, destacam-se entre os municípios com menor população Nova Santa Helena (3.755 hab.), Nova Guarita (4.407 hab.) e Santa Carmem (4.600 hab.), enquanto os mais populosos incluem Rondonópolis (239.613 hab.), Várzea Grande (290.383 hab.) e Cuiabá (650.877 hab.), demonstrando a coexistência de pequenos municípios com centros urbanos regionais relevantes ao longo do mesmo eixo de transporte.

Do ponto de vista social, os municípios situados ao longo do corredor rodoviário da BR-163 apresentaram um IDHM mediano de 0,624, o que os posiciona na faixa de desenvolvimento humano médio. Embora esse valor seja superior ao observado nos municípios do corredor hidroviário, ele ainda se encontra abaixo da média nacional (0,727) e das médias regionais do Norte (0,667) e do Nordeste (0,658), evidenciando ainda desafios persistentes em termos de inclusão social e acesso a serviços básicos. Esse desempenho reforça a associação entre infraestrutura de transporte terrestre, mobilidade territorial e integração econômica e social.

Quanto às variáveis ambientais, o corredor rodoviário apresenta um cenário de maior transformação do uso do solo, com percentual mediano de cobertura florestal de 54,55%, valor significativamente inferior ao observado no corredor hidroviário (86,68%). Esse dado revela uma maior pressão antrópica ao longo da BR-163, especialmente relacionada à expansão agrícola e ao avanço da urbanização.

Em 2021, os municípios com menor cobertura florestal estavam todos no Estado de Mato Grosso, destacando-se Nova Guarita (17,29%), Rondonópolis (17,56%) e Terra Nova do Norte (19,68%). Em contrapartida, os municípios com maior preservação florestal estão situados no Pará, como Trairão (87,80%), Itaituba (90,66%) e Altamira (91,60%), revelando níveis de coberturas florestais contrastantes dentro do próprio corredor.

Apesar dos processos de uso intensivo do solo, os valores medianos de área desmatada anual (0,53%) e área queimada anual (0,43%) em 2021 sugerem uma pressão ambiental relativamente controlada em termos proporcionais. No entanto, chama atenção o elevado percentual de área ocupada por atividades agropecuárias, que apresenta mediana de 36,81%, valor substancialmente superior ao observado no corredor hidroviário (0,97%). Esse dado evidencia o papel dominante da agropecuária como vetor de uso e transformação da paisagem no corredor rodoviário. Em 2021, os municípios com maior participação da agropecuária no Produto Interno Bruto (PIB) estavam concentrados no Estado de Mato Grosso, com destaque para Nova Guarita (78,53%), Terra Nova do Norte (78,19%) e Rondonópolis (78,03%). Em

contraste, municípios paraenses como Trairão (11,17%), Altamira (6,73%) e Itaituba (6,53%) apresentaram os menores percentuais de participação agropecuária. Esses dados evidenciam uma correlação negativa entre a cobertura florestal e a intensidade do uso agropecuário, sugerindo que o avanço da agropecuária tem ocorrido, majoritariamente, sobre áreas de floresta remanescente. Esse padrão é documentado na literatura sobre fronteiras agrícolas na Amazônia, especialmente no chamado “arco do desmatamento”, onde a conversão de vegetação nativa em pastagens e monoculturas tem sido a principal causa da perda de cobertura florestal nas últimas décadas. Conforme argumentam Domingues *et al.* (2020), a expansão agropecuária na Amazônia está diretamente associada à lógica de ocupação territorial baseada na exploração intensiva dos recursos naturais, frequentemente sem o devido planejamento ambiental.

O indicador de acesso por infraestrutura de transportes, com valor mediano de 3,0, evidencia um cenário mais favorável no corredor rodoviário em comparação ao hidroviário. Esse dado reflete uma melhor integração logística e maior potencial de articulação econômica regional, ainda que demande atenção contínua quanto aos impactos socioambientais gerados pela intensificação da ocupação urbana e produtiva. A presença de conexões rodoviárias, reforçam a centralidade logística de alguns municípios e sua capacidade de escoamento de produção.

Em 2021, os municípios com menor conectividade logística, apresentando apenas acesso por meio da BR-163, foram Itaúba, Peixoto de Azevedo e Terra Nova do Norte, no estado do Mato Grosso, e Novo Progresso e Trairão, no Pará. Por outro lado, os maiores níveis de conectividade foram observados nos polos regionais de Cuiabá e Rondonópolis, ambos com 16 possibilidades de acessos distintos por infraestrutura de transporte.

A análise descritiva das variáveis socioeconômicas referentes ao corredor ferroviário revela uma situação econômica significativamente mais robusta em comparação aos corredores hidroviário e rodoviário analisados anteriormente. Destaca-se, em especial, o valor mediano do PIB, que atinge aproximadamente R\$ 623,5 milhões, acompanhado de um PIB per capita mediano de R\$ 5.992,30. Embora esse valor seja ligeiramente superior ao do corredor hidroviário (R\$ 5.283,90) e inferior ao do corredor rodoviário (R\$ 12.070,00), os dados indicam que, em termos absolutos, o corredor ferroviário abriga municípios com economias mais expressivas, refletindo sua vocação para atividades de grande escala, como a exploração mineral, agropecuária mecanizada e exportação de commodities.

Em 2021, os municípios com menores valores de PIB per capita foram Penalva (R\$ 6.509,64), Presidente Juscelino (R\$ 6.530,55) e São João Batista (R\$ 6.540,54), todos no Estado do Maranhão, caracterizados por estruturas econômicas mais tradicionais, com predominância

de atividades agrícolas de subsistência e baixos níveis de industrialização. Em contraste, os municípios com maiores PIBs per capita refletem realidades bastante distintas: Parauapebas (R\$ 227.449,71) e Canaã dos Carajás (R\$ 894.806,28), ambos no Pará, são fortemente impulsionados pela mineração (ferro e cobre), devido à presença de grandes projetos operados por empresas como a Vale S.A. Já Sucupira, no Estado do Tocantins, apresenta uma situação singular em termos de desempenho econômico recente. Em 2021, o município registrou um PIB per capita de R\$ 265.258,58, um valor extremamente elevado considerando sua estrutura territorial e populacional. Esse resultado representa um crescimento expressivo de 644,70% em relação ao PIB de 2020, configurando-se como o maior aumento proporcional de todo o estado naquele ano. Segundo dados da Secretaria de Planejamento e Orçamento do Tocantins (SEPLAN-TO, 2021), esse salto decorre principalmente do desempenho do setor agropecuário, com destaque para a atividade de silvicultura, especialmente voltada à produção e beneficiamento de eucalipto. Trata-se de um caso emblemático de como determinadas atividades produtivas intensivas, ainda que localizadas em municípios de pequeno porte, podem gerar flutuações abruptas nos indicadores econômicos, muitas vezes impulsionadas por investimentos pontuais ou ciclos de expansão de mercado altamente específicos.

Em síntese, os dados econômicos demonstram que o corredor ferroviário abriga polos econômicos de grande relevância, mas também municípios com fragilidades estruturais, evidenciando a heterogeneidade regional e a necessidade de políticas territoriais diferenciadas.

A mediana populacional dos municípios atravessados pelo corredor ferroviário foi de 11.869,5 habitantes, valor inferior ao observado no corredor hidroviário (19.824 hab.), mas com uma densidade demográfica significativamente maior, atingindo 10,68 hab/km². Esse dado revela uma maior concentração populacional em áreas mais compactas, possivelmente associada à presença de centros urbanos mais estruturados ao longo das ferrovias. Em 2021, os municípios com menor população foram Oliveira de Fátima (1.124 hab.), Crixás do Tocantins (1.749 hab.) e Tupirama (1.952 hab.), todos localizados no Estado do Tocantins, caracterizados por áreas de ocupação mais recente e menor dinamismo urbano. Em contraste, os municípios mais populosos ao longo do eixo ferroviário são Imperatriz-MA (259.980 hab.), Marabá-PA (287.664 hab.) e São Luís-MA (1.115.932 hab.), evidenciando o papel central das cidades polos regionais. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) mediano do corredor ferroviário foi de 0,556, situando-se acima do hidroviário (0,508) e abaixo do rodoviário (0,624), o que sinaliza um desempenho social intermediário, com desafios ainda presentes em termos de acesso a serviços e qualidade de vida, embora em patamar superior ao de municípios mais isolados da região amazônica.

Em termos ambientais, o corredor ferroviário apresenta um percentual mediano de cobertura florestal de 48,34%, valor consideravelmente inferior ao registrado no corredor hidroviário (86,68%) e ligeiramente inferior ao rodoviário (54,55%). Esse padrão reflete uma maior antropização do território, associada ao avanço de atividades agropecuárias, à expansão da fronteira agrícola e à ocupação urbana nas áreas cortadas pelas ferrovias. A inserção significativa desses corredores - especialmente no sudeste do Pará, Tocantins e nordeste do Mato Grosso - dentro do chamado Arco do Desmatamento ajuda a explicar a intensidade das transformações ambientais observadas. Esse arco concentra-se na zona de transição entre Amazônia e Cerrado, historicamente marcada pelo desmatamento acelerado devido à abertura de novas áreas para produção agrícola e pecuária (Conceição; Chaves, 2019).

Ainda que a pressão ambiental seja notável, os dados indicam que ela se mantém em níveis moderados e relativamente controlados. O percentual mediano anual de área desmatada (0,81%) no corredor ferroviário é superior ao registrado nos corredores rodoviário (0,53%) e hidroviário (0,072%), o que confirma a maior vulnerabilidade ambiental dos municípios inseridos nessa faixa territorial. O percentual mediano de área queimada (0,56%) também se assemelha ao observado no corredor rodoviário (0,43%), evidenciando que a degradação por fogo acompanha as dinâmicas produtivas da região.

Quanto à ocupação do solo, destaca-se o elevado percentual mediano de área destinada à agropecuária (44,46%), muito próximo ao valor do corredor rodoviário (36,81%), o que ressalta a importância econômica da atividade agropecuária nos municípios atravessados pelas ferrovias, particularmente nas regiões do MATOPIBA e no sudeste paraense. Em 2021, os municípios com menor percentual de agropecuária foram São João Batista-MA (10,74%), Anajatuba-MA (13,11%) e Parauapebas-PA (13,54%), este último com forte base econômica na mineração. Por outro lado, Governador Newton Bello-MA (82,58%) e Eldorado do Carajás-PA (90,21%) apresentaram os maiores percentuais de ocupação agropecuária, evidenciando a substituição da vegetação nativa por pastagens e lavouras.

Os acessos por infraestruturas de transporte apresentam valor mediano de 2,0, intermediário entre o rodoviário (3,0) e o hidroviário (1,0), indicando uma capacidade logística relativamente mais bem estruturada, ainda que aquém da registrada no corredor rodoviário. Tais resultados sugerem uma dinâmica econômica intensa associada à presença ferroviária, acompanhada de desafios socioambientais moderados que merecem atenção especial em políticas de desenvolvimento sustentável.

Essas observações gerais mostram que, enquanto o desenvolvimento econômico, social e ambiental varia entre os corredores, todos enfrentam o desafio de equilibrar o crescimento

econômico com desenvolvimento social a sustentabilidade ambiental. Nas próximas subseções serão apresentados dados individualizados e características das variáveis estudadas. Todas essas análises podem fornecer uma base sólida para a etapa principal da pesquisa, onde Análises de Componentes Principais serão aplicadas para compreender melhor as relações entre essas variáveis e o desenvolvimento sustentável dos municípios ao longo dos corredores de transporte.

5.1.2. Produto Interno Bruto Per Capita

O Produto Interno Bruto (PIB) per capita é uma medida que calcula o valor total de todos os bens e serviços produzidos em um município, estado ou país durante um determinado período, dividido pelo número de habitantes (IBGE, 2023). O PIB per capita pode variar significativamente entre diferentes regiões, refletindo disparidades socioeconômicas e estruturais. Essas variações podem ser influenciadas por fatores como escala das atividades econômicas dominantes, níveis de industrialização, infraestrutura e acesso a recursos naturais.

Para este estudo, os valores do PIB municipal foram deflacionados com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) do IBGE, utilizando o ano de 2021 como referência. Essa deflação tem como objetivo eliminar o efeito da inflação acumulada ao longo do tempo, permitindo que os valores monetários de diferentes anos sejam comparáveis em termos reais. Assim, a utilização do INPC cumpre a função de ajustar os valores históricos a uma moeda constante, refletindo o poder de compra do período de referência.

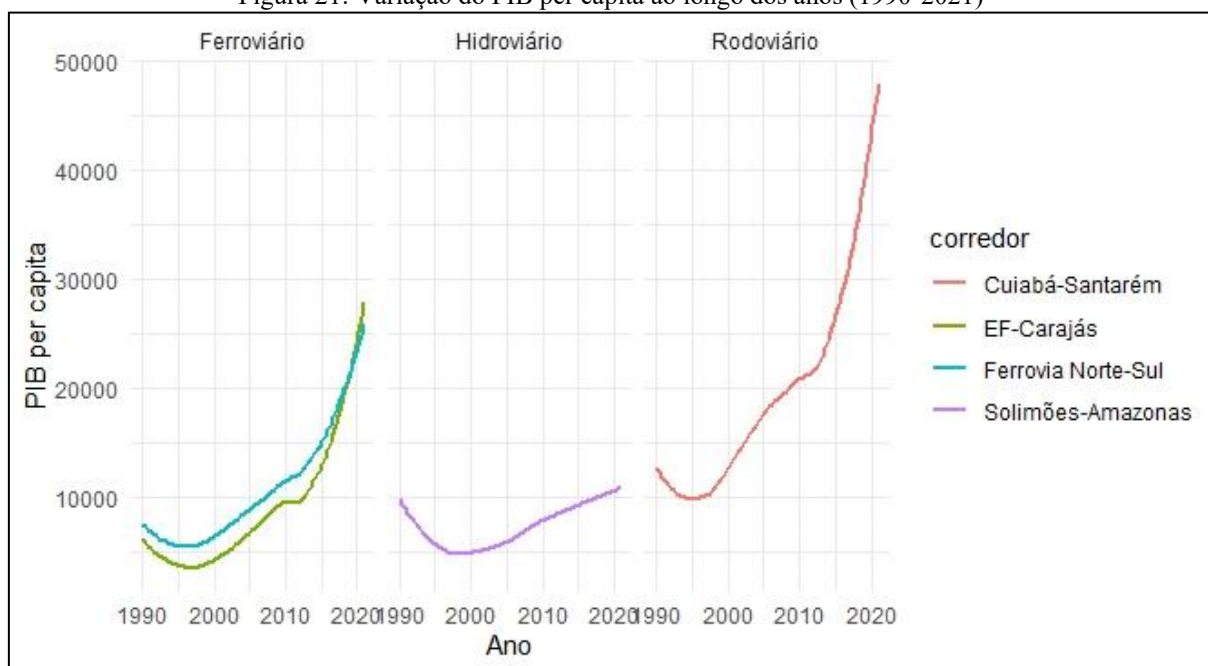
A transformação de valores nominais em reais é uma etapa fundamental em análises econômicas temporais, pois evita distorções provocadas pela variação do nível geral de preços. Segundo Gujarati e Porter (2011), a comparação de valores econômicos ao longo do tempo exige a padronização em termos reais, uma vez que os preços tendem a variar devido a fatores macroeconômicos, como inflação e mudanças na política monetária. Sem esse ajuste, corre-se o risco de interpretar erroneamente o crescimento econômico, superestimando ou subestimando variações que, na realidade, podem ser atribuídas apenas à inflação. Portanto, o uso do INPC como deflator garante maior rigor analítico na avaliação da evolução econômica dos municípios estudados.

A análise da evolução do PIB per capita entre 1990 e 2021 revela trajetórias distintas entre os corredores de transporte analisados, refletindo as diferentes dinâmicas de desenvolvimento socioeconômico associadas a cada um. Os corredores rodoviário (BR-163) e ferroviários (EF-Carajás e Norte-Sul) apresentaram crescimentos mais expressivos nesse indicador, sobretudo a partir da década de 2010, período que coincide com o avanço da agropecuária, da mineração e com a consolidação de investimentos logísticos e de infraestrutura

nessas regiões. Dentre os quatro corredores, o rodoviário se destacou de forma mais acentuada: os municípios da BR-163 apresentaram valores de PIB per capita consistentemente superiores ao longo do período, com uma curva ascendente acentuada a partir de 2010.

Em 2021, essa diferença se tornou ainda mais evidente. A curva de suavização do PIB per capita dos municípios do corredor rodoviário foi cerca de 42% superior ao dos municípios do corredor ferroviário e aproximadamente 76% maior que o dos municípios da hidrovía Solimões-Amazonas. Essa disparidade aponta para um descompasso significativo entre os modelos de desenvolvimento territorial, reforçando o papel da integração logística no desempenho econômico regional. No caso do corredor hidroviário, observa-se uma trajetória de crescimento muito mais lenta, próxima da estagnação, o que pode estar relacionado à limitação de acessos multimodais, à menor diversificação econômica e à persistência de gargalos estruturais históricos. Na Figura 21, observa-se a tendência geral de variação do PIB per capita entre os grupos de municípios localizados ao longo de cada corredor de transportes, ao longo do período de 1990 a 2021.

Figura 21: Variação do PIB per capita ao longo dos anos (1990-2021)



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

A superioridade no crescimento do PIB per capita ao longo do corredor rodoviário pode ser atribuída a uma série de fatores, incluindo maior conectividade com centros urbanos e mercados, facilidade de integração com outros modos e facilitação do comércio e transporte de mercadorias, e acesso a serviços, oportunidades de negócios, níveis de desenvolvimento urbano

e o acesso à infraestrutura, como já destacado nos estudos de Banister e Berechman (2001) e Rodrigue (2021).

No caso do corredor rodoviário (BR-163), observa-se a presença de diversos municípios que se destacam pela produção de grandes quantidades de grãos, como soja e milho. De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária (2023), entre os dez municípios brasileiros com os maiores valores de produção agrícola em 2022, seis são de Mato Grosso. Com destaque para Sorriso, que gerou cerca de R\$ 11,5 bilhões de riqueza, sendo R\$ 5,8 bilhões relacionados à cultura da soja. Campo Novo do Parecis, gerou R\$ 8,15 bilhões (sendo R\$ 3,7 bilhões da soja), e Sapezal, com R\$ 8 bilhões (R\$ 3,6 relacionados ao algodão). Nova Ubiratã, que gerou R\$ 6,8 bilhões de riqueza agrícola, Nova Mutum, com R\$ 6,3 bilhões, e Diamantino, com R\$ 5,8 bilhões (Brasil, 2023).

A área do Estado do Mato Grosso desempenha importante papel na produção agrícola do país, sendo responsável por uma parcela significativa da safra nacional (CONAB, 2023). O estado gerou 21% de toda a riqueza nacional nesse segmento da economia. O dado consta da pesquisa sobre Produção Agrícola Municipal (PAM) divulgada em meados de setembro de 2023 pelo IBGE (Brasil, 2023).

Atualmente, grande parte da produção agrícola ao longo do corredor rodoviário é direcionada para o mercado internacional, representando uma importante fonte de receita para a economia brasileira e do Estado do Mato Grosso. Conforme Viana (2021), mesmo com trechos da rodovia ainda não completamente finalizados, a BR-163 já exerce forte influência no dinamismo econômico local, sendo considerada essencial para a competitividade logística da região. Essa infraestrutura tem impulsionado o crescimento econômico e a geração de empregos, contribuindo para o aumento do PIB per capita em diversos municípios da faixa de influência da rodovia.

Um dos principais fatores que intensificam essa competitividade é a integração logística entre os modos rodoviário e hidroviário. O escoamento da produção de grãos oriunda do centro-norte de Mato Grosso tem ocorrido majoritariamente em direção aos portos do Arco Norte, especialmente o Porto de Miritituba (PA), localizado às margens do rio Tapajós, e o Porto de Santarém (PA), no Rio Amazonas. Ambos operam como terminais estratégicos para o transbordo da produção agrícola, que segue por barcaças até o porto de Vila do Conde (Barcarena-PA), de onde é exportada para mercados internacionais. Esse arranjo intermodal reduz significativamente o tempo de transporte e os custos logísticos, além de aliviar a sobrecarga histórica dos portos do Sudeste, especialmente Santos e Paranaguá (Oliveira *et al.*, 2020; Souza; Lima, 2022). A conexão entre rodovias e hidrovias tem se consolidado como um

vetor fundamental para a expansão da fronteira agrícola e da infraestrutura logística no norte do Brasil, evidenciando a importância de políticas integradas de transportes para o desenvolvimento regional.

No entanto, esse desenvolvimento econômico também pode gerar impactos ambientais e sociais significativos, como o desmatamento, a perda de biodiversidade e conflitos fundiários. Conforme discutido nos tópicos posteriores, apesar do grande potencial econômico, as cidades ao longo do corredor rodoviário contribuem significativamente para a perda de área de floresta com grandes parcelas de uso do solo investido na agropecuária (agricultura e pastagem). Esses dados sugerem que o crescimento econômico não vem sendo acompanhado pela minimização dos impactos ambientais, apontando para a insustentabilidade do desenvolvimento nessa área de estudo.

No corredor hidroviário, o desempenho do PIB per capita nos anos mais recentes evidencia a expressiva concentração econômica em alguns municípios específicos, com destaque para Manaus (AM), Coari (AM) e Oriximiná (PA). Manaus registrou um PIB per capita de R\$ 45.782,75, refletindo sua posição como o principal centro econômico da Amazônia Ocidental. Esse resultado está diretamente associado à atuação da Zona Franca de Manaus (ZFM), instituída pelo Decreto-Lei nº 288/1967, que consolidou a cidade como um polo industrial, comercial e de serviços com incentivos fiscais atrativos. A ZFM abriga um dos maiores parques industriais da América Latina e impulsiona significativamente o produto interno bruto local, gerando emprego e receita (Santos, 2024).

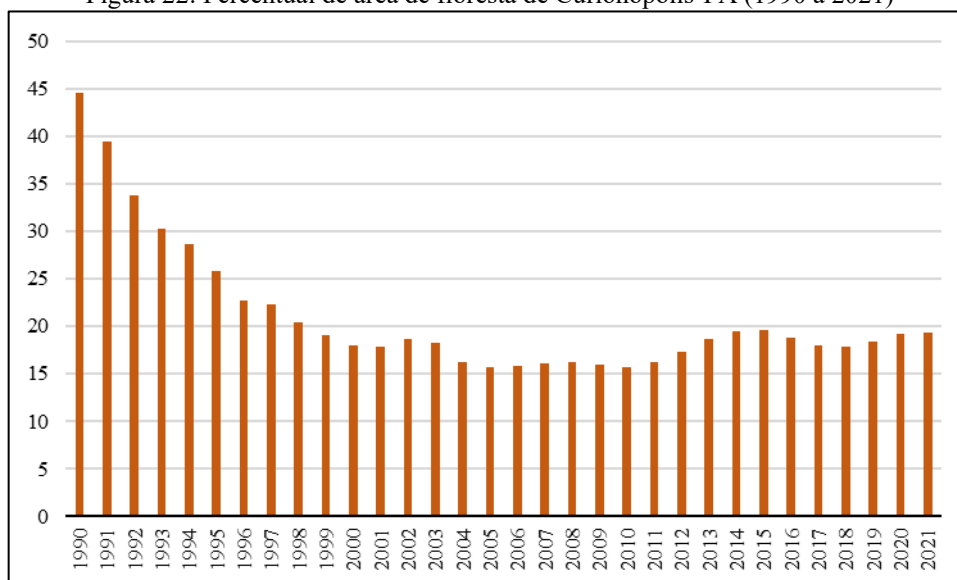
Coari (AM), com um PIB per capita de R\$ 38.982,37, destaca-se pela presença do polo gás-químico associado à exploração de petróleo e gás natural na província do Urucu, operada pela Petrobras. A base econômica de Coari é altamente dependente das atividades extrativas energéticas, o que contribui para o destaque do PIB per capita, embora parte significativa da população ainda enfrente desafios em indicadores sociais (Silva; Barbosa, 2018).

Já Oriximiná (PA), com R\$ 30.413,04, possui sua economia impulsionada principalmente pela mineração, com a extração de bauxita realizada pela Mineração Rio do Norte (MRN). Essa atividade representa a principal fonte de arrecadação e dinamiza os fluxos econômicos locais, ainda que, assim como em Coari, os benefícios não sejam igualmente distribuídos em termos de qualidade de vida para toda a população (Pereira, 2012). Esses casos ilustram como a base produtiva vinculada a grandes empreendimentos industriais e extrativos exerce papel decisivo na composição do PIB per capita em alguns municípios amazônicos, ao mesmo tempo em que impõem desafios complexos à sustentabilidade ambiental.

No corredor ferroviário, os dados de 2021 revelam valores extremamente elevados de PIB per capita em alguns municípios paraenses, destacando-se Canaã dos Carajás (R\$ 894.806,28), Curionópolis (R\$ 206.447,92) e Parauapebas (R\$ 227.449,71). Esses números excepcionais estão fortemente relacionados à dinâmica da mineração, especialmente da extração de ferro, cobre e manganês, que constitui a principal base econômica desses territórios. Canaã dos Carajás, por exemplo, abriga o Projeto S11D, da mineradora Vale, considerado o maior projeto de minério de ferro do mundo em capacidade instalada, cuja operação em larga escala transformou radicalmente o perfil econômico do município ao longo da última década (Medeiros, 2017; Vale, 2022).

De forma similar, Parauapebas é sede da Serra dos Carajás, uma das mais importantes reservas minerais do planeta, também explorada pela Vale, o que posiciona o município entre os maiores arrecadadores de *royalties* da mineração no Brasil (Santos; Batista, 2019). Já Curionópolis tem registrado crescimento expressivo desde a implantação da Mina de Serra Leste, contribuindo para o incremento da receita local e melhoria de indicadores fiscais e econômicos (Alves, 2019), embora com desafios significativos em termos de sustentabilidade social e principalmente ambiental, já que o município perdeu grandes áreas de florestas nos últimos anos, conforme demonstrado na Figura 22.

Figura 22: Percentual de área de floresta de Curionópolis-PA (1990 a 2021)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

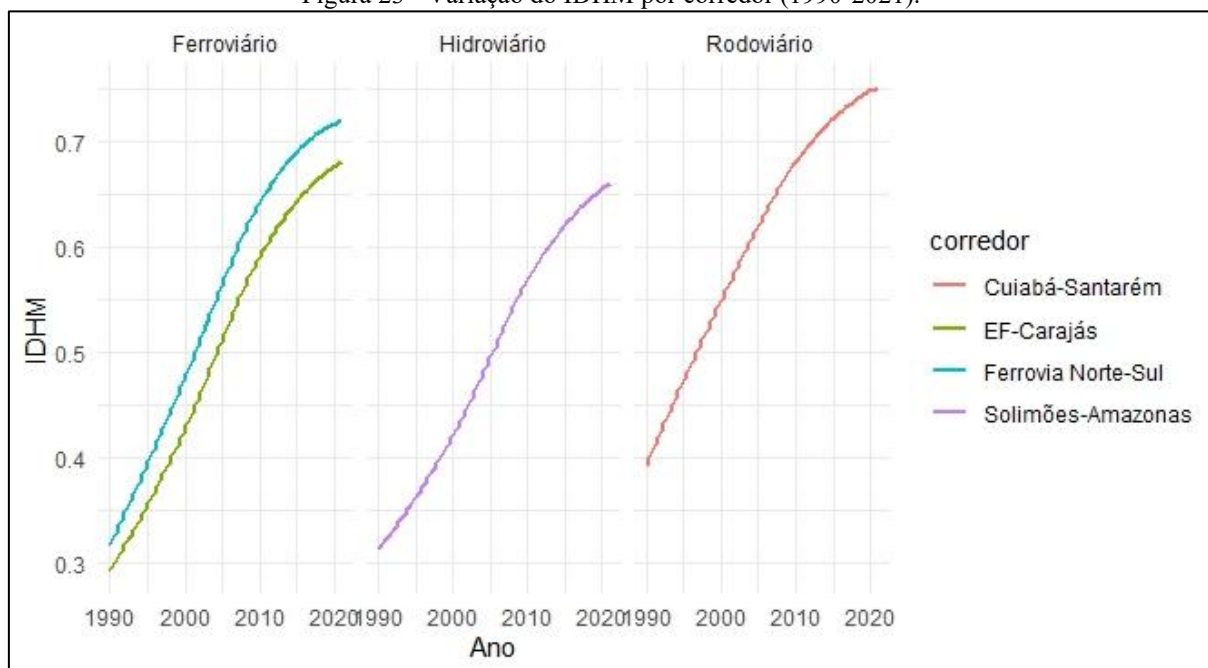
Apesar dos altos valores de PIB per capita, diversos estudos apontam que essa riqueza nem sempre se traduz em qualidade de vida para a população local. Conforme apontado por Dani *et al.* (2022), houve um aumento nos IDHM dos municípios da microrregião de

Parauapebas (incluindo Canaã dos Carajás, Água Azul do Norte, Curionópolis e Eldorado dos Carajás) entre 1991 e 2010. No entanto, apenas Parauapebas alcançou um nível alto no indicador (passou de 0,553 em 2000 para 0,715), evidenciando que o impacto do setor mineral no desenvolvimento humano não ocorreu de maneira uniforme na região. Observa-se uma forte concentração de renda, pressão sobre os serviços públicos, especulação imobiliária e intensificação de conflitos fundiários, o que demanda políticas públicas que garantam uma distribuição mais equitativa dos benefícios gerados pela mineração.

5.1.3. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM

Os dados do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal revelam um crescimento consistente ao longo das décadas, destacando-se especialmente o grupo de cidades perpassadas pela BR-163 no território do estado do Mato Grosso. Ao analisar a Figura 23 abaixo, observa-se que houve um crescimento constante ao longo dos anos em todos os corredores.

Figura 23 - Variação do IDHM por corredor (1990-2021).



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

Os valores máximos apresentam intervalos específicos ao longo das décadas:

- No ano de 1990, os valores máximos do IDHM variam entre 0,451 e 0,569.
- Em 2000, esses valores aumentam, variando entre 0,546 e 0,692.
- Já em 2010, ocorre outro aumento significativo, com valores entre 0,681 e 0,785.
- Os valores máximos projetados para 2021 variam entre 0,753 e 0,840.

Vale ressaltar que o valor máximo do IDHM em 2010 corresponde ao município de Cuiabá, localizado no corredor rodoviário da BR-163. Isso sugere que, ao longo das décadas, Cuiabá e outras cidades ao longo do corredor rodoviário experimentaram um desenvolvimento humano robusto, refletido em indicadores socioeconômicos positivos.

Esse crescimento do IDHM ao longo do corredor rodoviário pode ser atribuído a diversos fatores, como investimentos em infraestrutura, educação, saúde, programas governamentais de desenvolvimento regional e de renda mínima. No entanto, também é importante analisar os desafios enfrentados por essas regiões, como desigualdades socioeconômicas, acesso limitado a serviços básicos e impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento econômico. Conforme já mencionado, as cidades ao longo do corredor rodoviário contribuíram de forma significativa para perdas de área de floresta ao longo do tempo.

Para o ano de 2021, os dados do IDHM foram extrapolados a partir dos valores desse indicador fornecidos para as Unidades da Federação em 2021. Essa projeção foi realizada calculando-se a taxa de crescimento do IDHM entre 2010 e 2021 para cada Unidade da Federação e, em seguida, aplicando essa taxa aos municípios da área de estudo. Essa abordagem permite estimar os valores do IDHM para os municípios em 2021 com base nas tendências observadas nos níveis estaduais ao longo desse período. Essa técnica de projeção é indicada pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), onde é detalhado a metodologia de cálculo do IDHM e aborda formas de estimativa para anos não diretamente disponíveis.

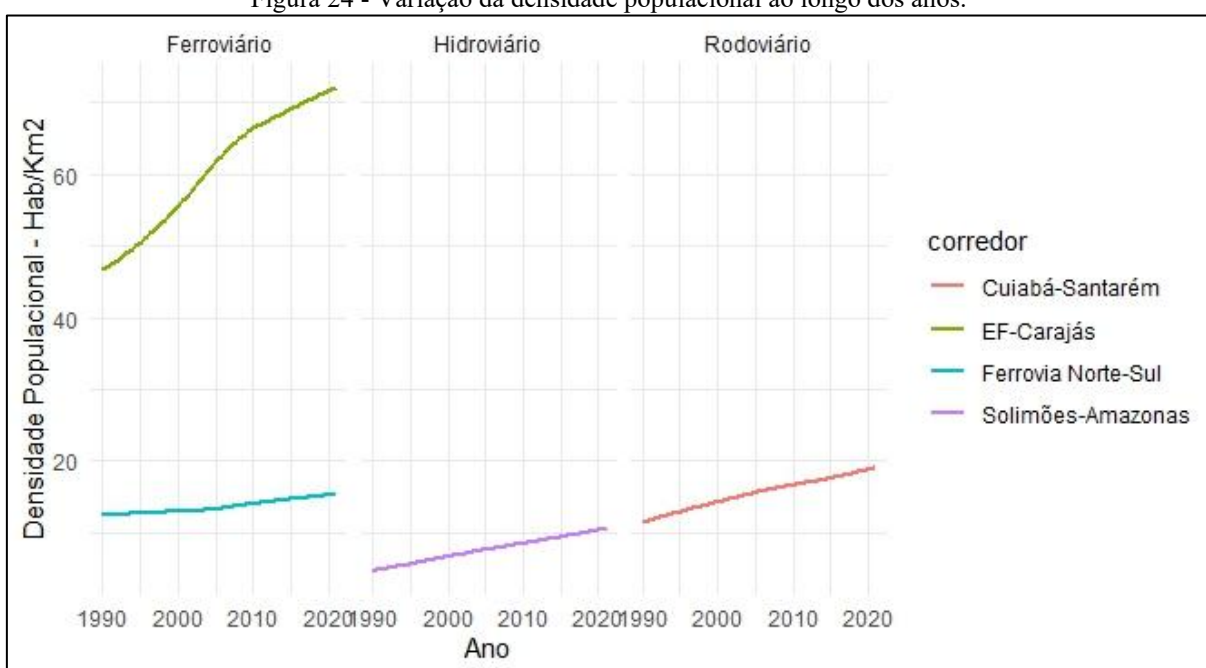
Observa-se que a tendência geral do IDHM, representada pela curva de suavização, seguiu uma trajetória ascendente de 1990 a 2010, refletindo avanços consistentes nas dimensões de saúde, educação e renda ao longo desse período. Para 2021, a tendência projetada manteve-se em crescimento, embora com uma inclinação menos acentuada, sugerindo uma possível desaceleração no ritmo de progresso. Ainda que os dados mais recentes indiquem continuidade no desenvolvimento humano, é importante destacar que os efeitos da pandemia de COVID-19 impactaram significativamente os índices em nível estadual, refletindo-se também nos municípios e podendo influenciar negativamente os indicadores reais do período.

5.1.4. Densidade Populacional

A evolução da densidade populacional ao longo dos corredores de transporte da Amazônia evidencia contrastes significativos entre os modos ferroviário, rodoviário e hidroviário nas últimas três décadas. Conforme apresentado na Figura 24, os municípios da

faixa de influência da Estrada de Ferro Carajás apresentaram tendência crescente de densidade populacional entre 1990 e 2021, ultrapassando os 70 hab./km² em 2021 segundo a curva de suavização apresentada. Esse crescimento reflete, em parte, o adensamento urbano em municípios com forte inserção na economia mineral e com acesso relativamente consolidado a serviços, infraestrutura e mercados regionais. Cidades como São Luís, capital maranhense, atingiram valores próximos a 1.914 hab./km² em 2021, constituindo um polo urbano estratégico. Já no caso da Ferrovia Norte-Sul, embora o padrão de densidade seja mais moderado (média de 15 hab./km² em 2021), verifica-se um crescimento contínuo, associado à sua função de eixo de escoamento logístico.

Figura 24 - Variação da densidade populacional ao longo dos anos.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

Por sua vez, o corredor rodoviário Cuiabá-Santarém apresenta uma trajetória de crescimento populacional mais gradual, saltando de cerca de 10 hab./km² em 1990 para 19 hab./km² em 2021. Essa expansão acompanha o avanço da fronteira agrícola em Mato Grosso, particularmente no entorno de municípios com produção agropecuária intensiva, como Sorriso e Nova Mutum. A presença de infraestrutura viária consolidada, ainda que com gargalos históricos na pavimentação total da BR-163 (trechos em Ruopólis-PA), tem incentivado a fixação populacional ao facilitar o escoamento da produção e a conectividade entre mercados e centros urbanos.

Em contraste, os municípios do corredor hidroviário (Solimões-Amazonas) mantiveram, ao longo das décadas, os menores valores de densidade populacional, com apenas

10 hab./km² em 2021. Esse padrão reflete as limitações estruturais e operacionais do transporte fluvial, que embora seja o principal modo de transporte na maioria dos municípios analisados, sofre com a baixa regularidade, falta de integração com outros modos e infraestrutura portuária deficitária, conforme demonstrado por Santos (2014), no seu estudo sobre os terminais hidroviários de Manacapuru-AM, Humaitá-AM, Parintins-AM e Manicoré-AM. Os fracassos históricos de projetos de infraestrutura portuária em municípios da Amazônia evidenciam a desconexão entre planejamento técnico e realidades locais. Muitos desses projetos, concebidos fora da região e sem participação efetiva da população local, resultaram em equipamentos subutilizados ou inoperantes, incapazes de promover articulação logística eficiente e de induzir o desenvolvimento esperado.

Além disso, a precariedade no acesso fluvial limita tanto o fluxo de mercadorias quanto a mobilidade da população, o que contribui para a estagnação ou mesmo declínio populacional em determinadas áreas ribeirinhas. A baixa densidade, nesse contexto, não é apenas uma expressão demográfica, mas uma consequência direta da ausência de políticas públicas coerentes com a realidade socioespacial amazônica. Assim, a comparação entre os corredores revela que a densidade populacional está diretamente associada ao grau de integração e eficácia dos projetos de infraestrutura, especialmente aqueles capazes de conectar a população aos serviços essenciais, mercados e oportunidades econômicas.

5.1.5. Percentual de Área Ocupada por Florestas

As análises revelam que os corredores com os menores percentuais de área florestal são o rodoviário e o ferroviário. O corredor hidroviário apresenta valores elevados de preservação da floresta nativa com pouca perda ao longo das décadas. Apesar de registrarem os maiores PIBs per capita, conforme apontado no tópico 5.1.2, esses corredores rodoviário e ferroviário abrigam municípios com baixos percentuais de cobertura florestal, todos situados no chamado Arco do Desmatamento, como Eldorado do Carajás - PA (9,13%), Esperantina - TO (17,83%), Governador Newton Bello - MA (16,82%), Nova Guarita - MT (17,39%), Rondonópolis - MT (17,39%) e Santa Inês - MA (15,65%). Essa observação evidencia uma tendência preocupante de perda irreparável de vegetação nativa ao longo de década, sugerindo que o desenvolvimento econômico não está alinhado com a preservação ambiental.

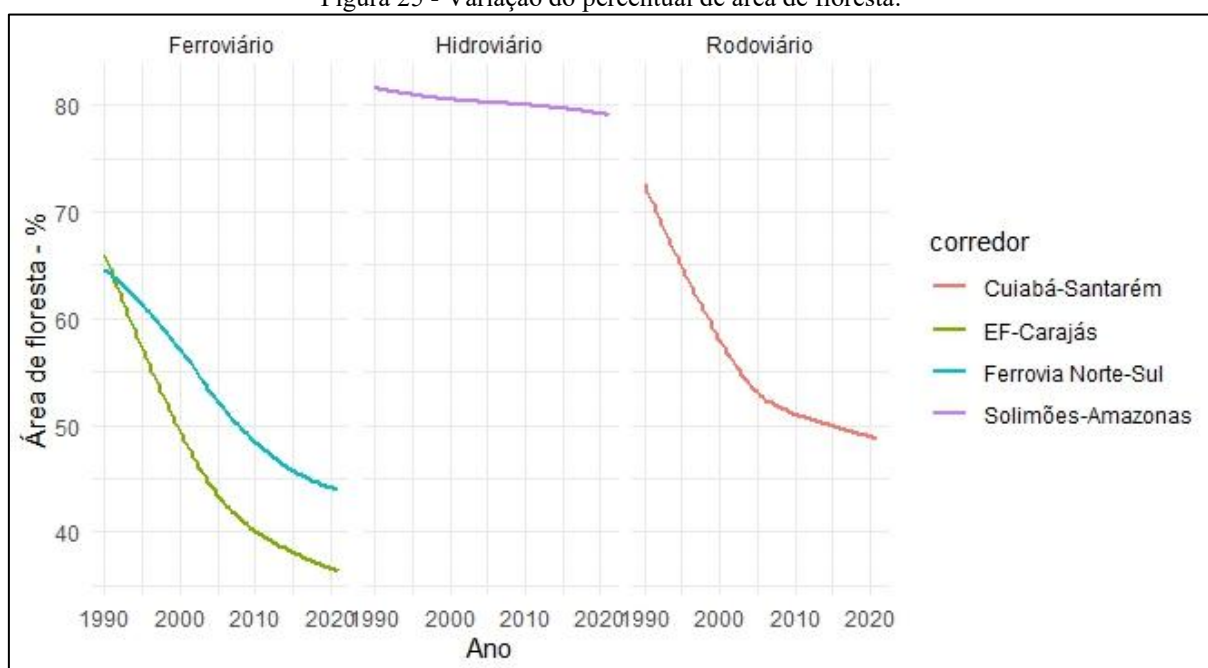
Essa disparidade entre o crescimento econômico e a conservação ambiental observada nos corredores rodoviário e ferroviário da Amazônia Legal reflete desafios significativos relacionados ao modelo de desenvolvimento vigente. Estudos internacionais reforçam essa problemática. Luo, Li e Cheng (2024), ao investigarem a relação entre desenvolvimento

econômico, fragmentação florestal e infraestrutura de transportes em 38 condados da região de Pequim-Tianjin-Hebei, na China, demonstraram que, no processo de crescimento econômico, a expansão da infraestrutura de transportes se correlacionou diretamente com o aumento da fragmentação florestal, impactando negativamente a integridade dos ecossistemas locais.

De modo similar, Laurance *et al.* (2014) destacam que a intensificação das atividades agropecuárias, a exploração predatória de recursos naturais e a urbanização desordenada em países tropicais (América do Sul e África Subsaariana) geram efeitos diretos sobre a fragmentação e a degradação dos ecossistemas. No contexto amazônico, tais processos resultam em consequências socioambientais graves, incluindo o desmatamento indiscriminado, que afeta a regulação climática, compromete a qualidade dos solos e reduz a disponibilidade de recursos hídricos essenciais, conforme discutido por Soares-Filho *et al.* (2014). Esses impactos, além de afetarem diretamente as comunidades locais, reverberam em desequilíbrios ambientais em escala global, ampliando os desafios da sustentabilidade nos territórios afetados pela expansão descontrolada da infraestrutura logística.

Diante desse cenário, torna-se imperativo adotar medidas eficazes de gestão ambiental e planejamento territorial ao longo dos corredores de transportes, visando conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação dos recursos naturais. A implementação de políticas de proteção ambiental, a promoção de práticas sustentáveis de uso do solo e o fortalecimento da fiscalização ambiental são passos importantes para mitigar os impactos negativos do desenvolvimento e promover uma abordagem mais equilibrada e integrada para o crescimento regional (Ferreira *et al.*, 2014). As curvas de suavização da Figura 25 evidenciam que o percentual de área de floresta diminuiu consideravelmente nos corredores rodoviário e ferroviário e de forma moderada no corredor hidroviário.

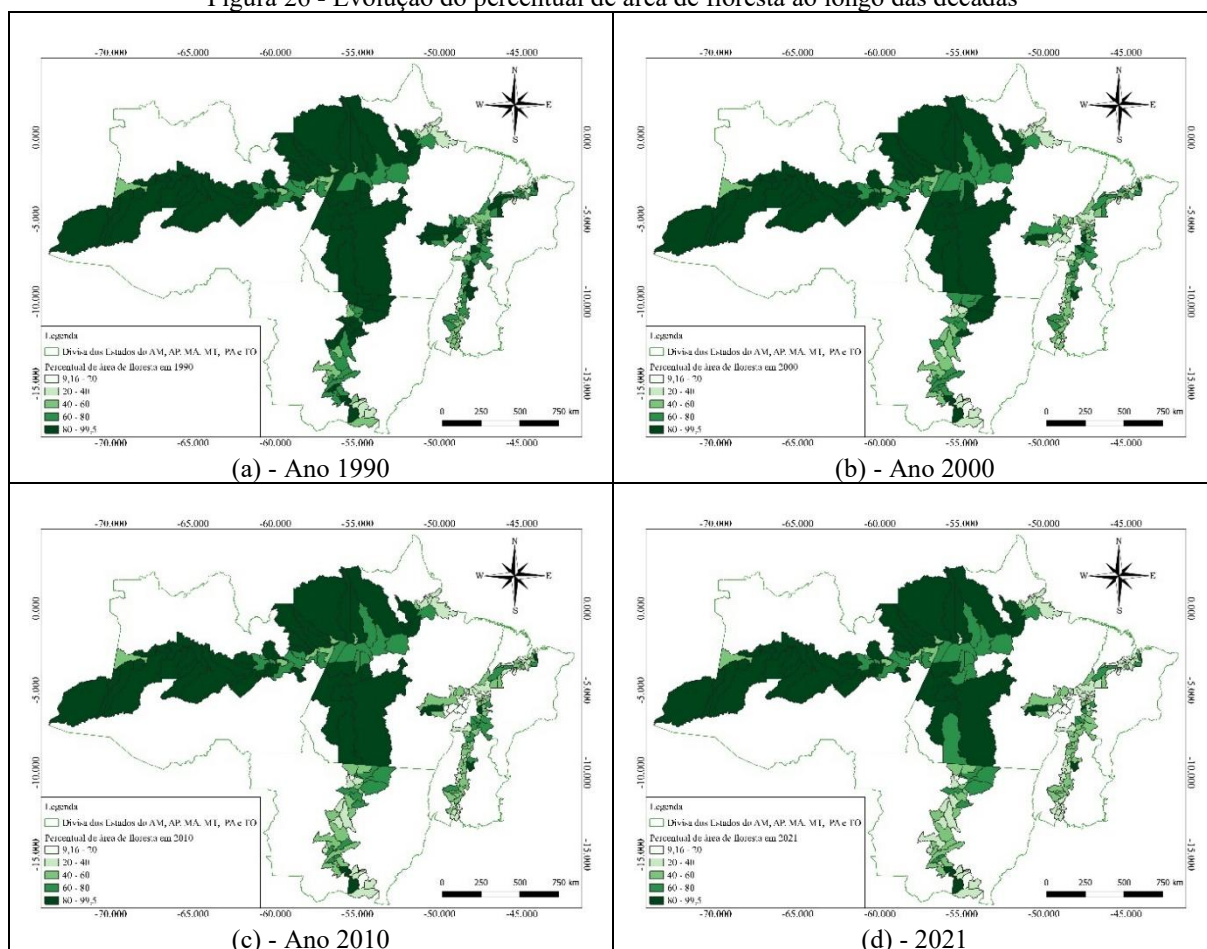
Figura 25 - Variação do percentual de área de floresta.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

No corredor hidroviário, a maioria dos municípios apresenta uma cobertura florestal significativa, com mais de 80% de sua área ainda coberta por florestas em 2021. Isso reflete uma tendência positiva de conservação ambiental ao longo deste corredor. Nos mapas da Figura 26 abaixo, pode-se observar a evolução das perdas de área de florestas em cada década, destacando que as cidades ao longo do corredor hidroviário foram as que menos sofreram com o desmatamento. Os tons de verde mais escuro representam valores entre 80% e 99,5% de área de floresta, com maiores concentrações na hidrovía Solimões-Amazonas. Esses dados sugerem que os municípios ao longo da hidrovía têm sido mais eficazes na preservação de suas áreas florestais, possivelmente devido à menor pressão de atividades econômicas que impactam negativamente o meio ambiente. Um exemplo prático do impacto da atividade econômica na área de floresta é a produção de grãos, conforme analisado em tópico posterior. O uso do solo para agropecuária é mais evidente em municípios com menores áreas de floresta, apontando que essas duas variáveis são inversamente proporcionais.

Figura 26 - Evolução do percentual de área de floresta ao longo das décadas



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* QGIS, utilizando dados da pesquisa e a base cartográfica do IBGE (2023), 2025.

Essas observações levantam questões importantes sobre os fatores que contribuem para a conservação ambiental ao longo do corredor hidroviário, como a menor intensidade de atividades agropecuárias e industriais que geralmente estão associadas ao desmatamento. Além disso, a acessibilidade limitada dessas áreas pode ter desempenhado um papel na proteção dos ecossistemas locais, reduzindo a pressão sobre os recursos naturais. Por outro lado, a limitada integração dos transportes e ausência de indústrias, interferem no desenvolvimento econômico e social.

O monitoramento contínuo da evolução da cobertura florestal nessas regiões se torna importante, juntamente com a implementação de políticas de conservação eficazes para garantir a sustentabilidade ambiental a longo prazo. Baber *et al.* (2014) destacaram em seu estudo que cerca de 95% do desmatamento na Amazônia ocorreu a 5,5 km de uma estrada ou 1,0 km de um rio navegável; 35,2% da Amazônia brasileira era altamente acessível por rio ou estrada; 43,6% das terras acessíveis desprotegidas foram desmatadas; 10,9% das terras protegidas acessíveis foram desmatadas.

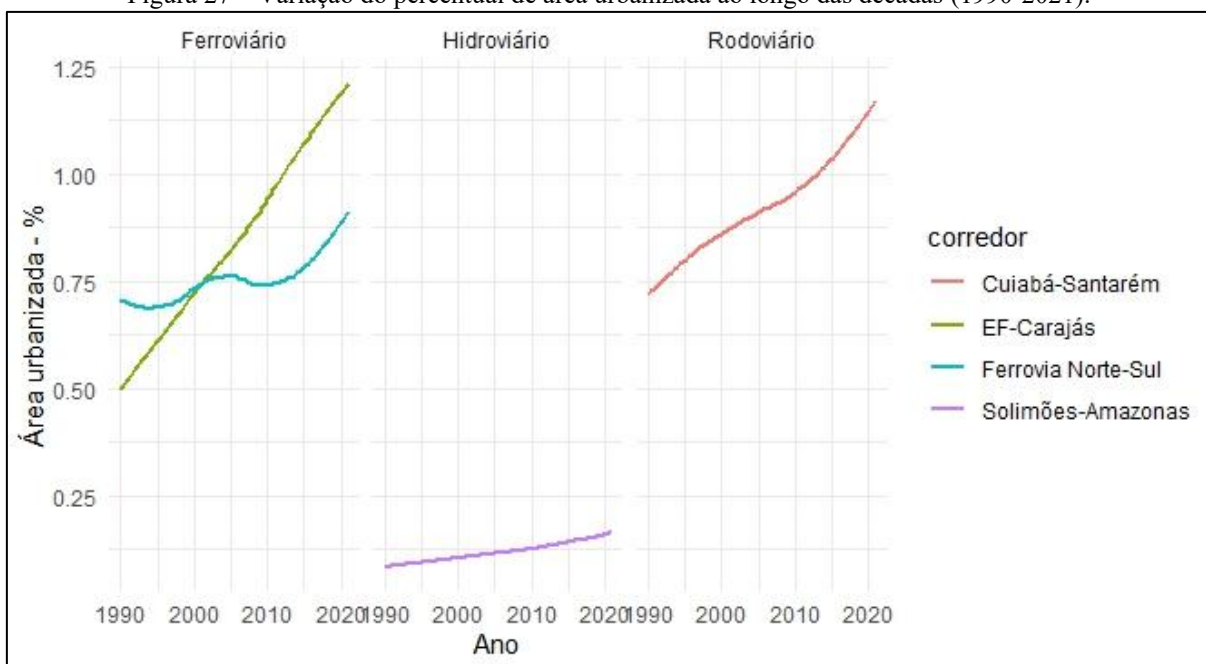
Essas análises evidenciam a forte relação entre acessibilidade e desmatamento, ressaltando a necessidade de um planejamento territorial e fiscalização ambiental que equilibre desenvolvimento e conservação. A adoção de estratégias eficazes de proteção ambiental e manejo sustentável torna-se essencial para minimizar os impactos negativos da infraestrutura, garantindo a preservação da floresta e a manutenção dos serviços ecossistêmicos fundamentais para a região.

5.1.6. Percentual de Área Urbana

Em relação a área urbanizada, observa-se uma evolução nos valores percentuais ao longo da ferrovia e da rodovia. Destaca-se o crescimento significativo da urbanização em São Luís, capital do Maranhão, ao longo das décadas, com os valores percentuais variando de 12,92% em 1990 para 30,89% em 2021. Esse aumento reflete o processo de urbanização acelerado e expansão urbana observado na região, impulsionado pelo desenvolvimento econômico e pela concentração populacional, conforme demonstrado nos tópicos anteriores.

Além disso, é possível notar um crescimento acima da média no município de Várzea Grande, no Mato Grosso, com valores percentuais de áreas urbanizadas variando de 6,11% em 1990 para 13,46% em 2021. Esse aumento sugere um ritmo acelerado de urbanização nesse município, possivelmente influenciado pelo crescimento econômico e pela migração populacional para áreas urbanas em busca de oportunidades de emprego e melhores condições de vida. Na Figura 27 abaixo, é possível visualizar o crescimento em termos de urbanização.

Figura 27 – Variação do percentual de área urbanizada ao longo das décadas (1990-2021).



Em relação à urbanização ao longo do corredor hidroviário, destacam-se as capitais Manaus-AM e Macapá-AP, com valores de 2,52% e 1,53%, respectivamente, para o ano de 2021. Além disso, merecem destaque, para o mesmo ano, municípios que são referências regionais, como Santarém-PA (0,41%) e Santana-AP (1,19%), bem como municípios menores como Terra Santa-PA (0,93%) e Iranduba-AM (0,77%). Esses números indicam que os valores percentuais de urbanização das cidades ao longo do corredor hidroviário são altos, quando comparados aos demais municípios da hidrovia, mas significativamente inferiores aos dados dos demais corredores.

Esse padrão no corredor hidroviário pode ser explicado por uma série de fatores estruturais e históricos. Em primeiro lugar, a ocupação urbana na Amazônia tradicionalmente se desenvolveu de forma dispersa e associada às margens dos rios (Becker, 2005), com baixa densidade construtiva e extensas áreas de vegetação preservada, o que reduz a proporção de área urbanizada em relação ao território total dos municípios. Além disso, muitos dos municípios localizados nesse corredor possuem grandes extensões territoriais, o que dilui ainda mais a participação da área urbana no conjunto da malha municipal. Oriximiná-PA, por exemplo, é o quarto maior município do Brasil em extensão territorial. Com uma área de 107.613,838 km² (IBGE, 2024), Oriximiná é maior que países como Coreia do Sul, Portugal, Hungria, Áustria, Emirados Árabes Unidos entre outros.

Soma-se a isso a ausência de políticas públicas contínuas voltadas para o ordenamento territorial e para o fortalecimento de redes urbanas regionais. A carência de investimentos em infraestrutura urbana, somada às dificuldades logísticas de acesso, especialmente em regiões ribeirinhas ou isoladas sazonalmente, contribui para limitar o crescimento físico das áreas urbanas (Chein; Procópio, 2021). Por fim, a dinâmica econômica baseada na exploração de recursos naturais e em atividades extrativistas pouco favorece a concentração urbana, refletindo em índices de urbanização estruturalmente baixos ao longo do tempo.

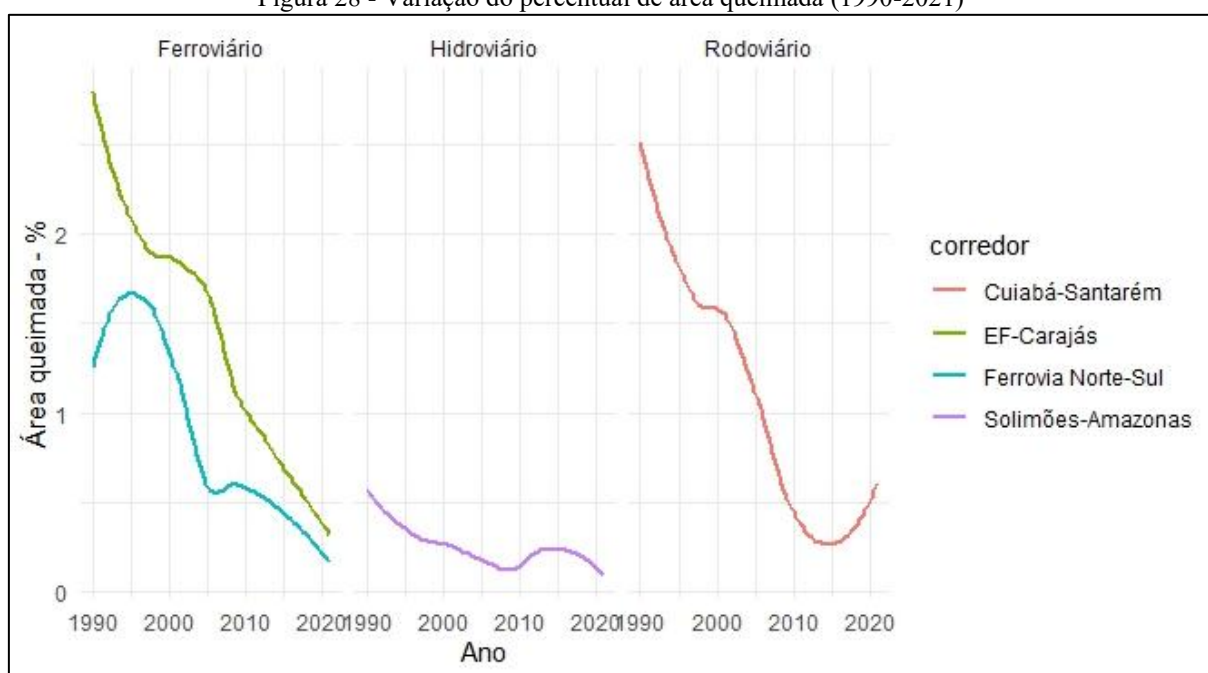
Portanto, os valores percentuais de urbanização sugerem que nos corredores rodoviário e ferroviário, esses valores são consideravelmente mais altos, indicando que a presença desses corredores pode ter influenciado no crescimento urbano dessas regiões. Em contraste, no corredor hidroviário, os valores são pouco expressivos e pouco variados, o que sugere uma menor influência do transporte hidroviário no crescimento das áreas urbanas ao longo desse corredor.

5.1.7. Percentual de Área Queimada Anual

A curva de suavização de área queimada anual variou consideravelmente nas últimas décadas nos três corredores analisados. Apesar dessa variação, nota-se uma tendência geral de queda, com exceção do corredor rodoviário, que apresentou uma mudança de tendência, com crescimento entre 2015 e 2020. O grupo de cidades ao longo do corredor hidroviário manteve valores inferiores aos dos outros corredores em praticamente todos os anos analisados.

As cidades ao longo do corredor ferroviário apresentaram os maiores percentuais de área queimada anual ao longo desses 31 anos, com valores picos de 2,75%, conforme apresentado na Figura 28. Este elevado percentual de área queimada nas cidades do corredor ferroviário pode ser atribuído a vários fatores, como a maior presença de atividades agropecuárias intensivas e a possível utilização de fogo como prática de manejo da terra. Visto que, os estudos de Laurance *et al.* (2014) apontam que a expansão das atividades agropecuárias, a exploração de recursos naturais e a urbanização desordenada pode ter contribuído para a fragmentação e degradação dos ecossistemas locais.

Figura 28 - Variação do percentual de área queimada (1990-2021)



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

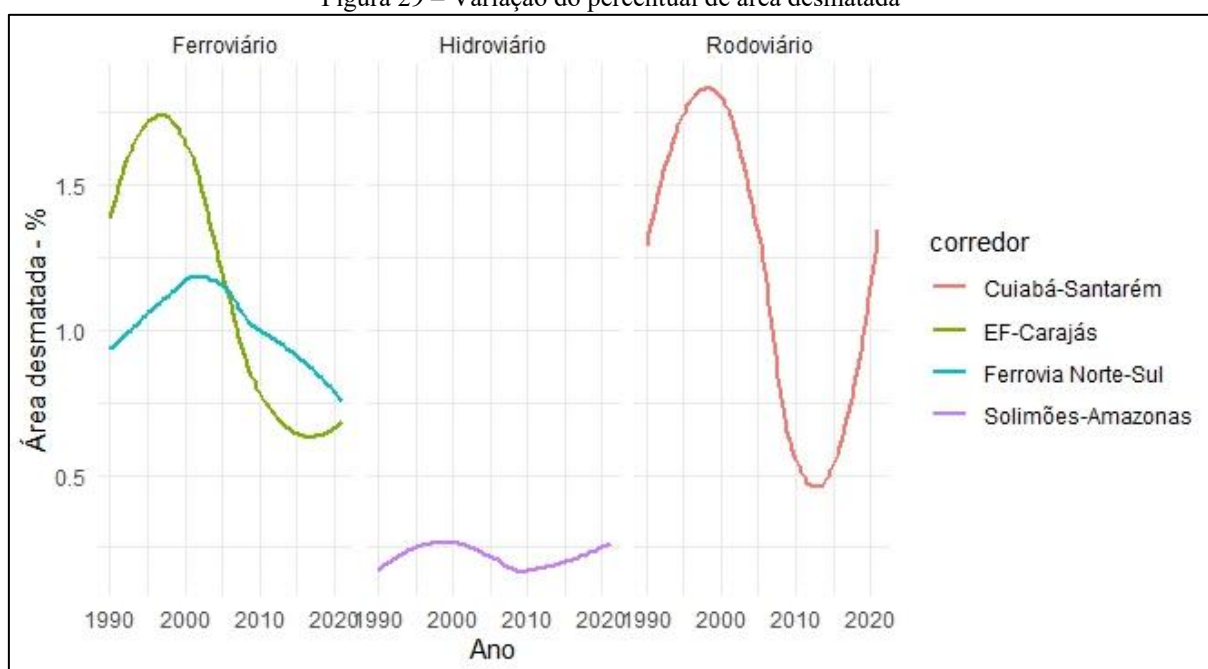
A análise dos dados de queimadas reforça a necessidade de políticas públicas focadas na prevenção e controle de queimadas, especialmente em áreas críticas como as dos corredores ferroviários, que apresentam maior vulnerabilidade. Essas medidas preventivas incluem o fortalecimento de práticas agrícolas sustentáveis, a implementação de sistemas de alerta precoce

de incêndios e o investimento em infraestrutura para combate a incêndios. A cooperação entre diferentes níveis de governo e a conscientização das comunidades locais também são fundamentais para a redução dos índices de queimadas e a preservação dos ecossistemas ao longo desses corredores de transporte.

5.1.8. Percentual de Área Desmatada Anual

A curva de suavização do percentual de área desmatada anual variou consideravelmente nas últimas décadas nos corredores rodoviário e ferroviário, enquanto se manteve relativamente estável no corredor hidroviário. O grupo de cidades ao longo do corredor hidroviário apresentou valores de desmatamento inferiores aos dos outros corredores em todos os anos analisados. Uma exceção notável ocorreu em 2016, quando a média de desmatamento no corredor hidroviário alcançou 0,45%, sendo consideravelmente superior aos outros anos. Esses dados, apresentados na Figura 29, destacam a resiliência relativa das áreas dos municípios ao longo da hidrovia em termos de conservação florestal, possivelmente devido a fatores como menor pressão antrópica e pelo isolamento geográfico.

Figura 29 – Variação do percentual de área desmatada



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

Nos corredores rodoviário e ferroviário, onde o desmatamento tem sido mais pronunciado, há uma clara necessidade de reforçar as estratégias de monitoramento e controle de uso do solo. Destaca-se que o corredor rodoviário, assim como no caso das áreas queimadas apresenta uma tendência de crescimento, a partir de meados da década de 2010.

Nesse contexto, a relativa estabilidade dos níveis de desmatamento observada no corredor hidroviário ao longo do tempo pode ser atribuída a uma combinação de fatores. De um lado, o isolamento geográfico de muitos municípios ao longo dos rios atua como barreira natural à expansão desordenada da fronteira agrícola; de outro, esforços de conservação ambiental e restrições legais têm contribuído para limitar a pressão sobre os recursos florestais nessas localidades.

Ainda assim, a ocorrência atípica de desmatamento em 2016 no corredor hidroviário revela que mesmo regiões historicamente mais preservadas estão sujeitas a oscilações e vulnerabilidades específicas. Esse episódio reforça a necessidade de manter sistemas de monitoramento contínuo e políticas adaptativas, capazes de responder prontamente a alterações nos padrões de uso e cobertura da terra, garantindo a preservação dos ativos ambientais e a viabilidade das atividades socioeconômicas regionais.

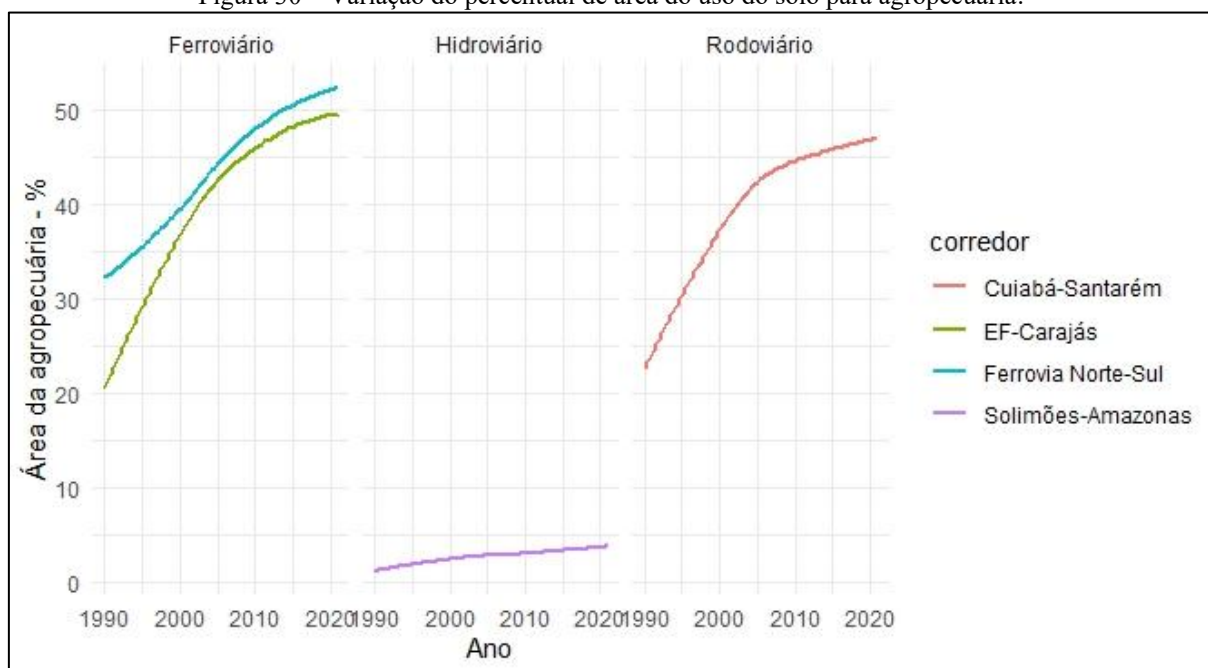
A análise dos valores do percentual de desmatamento nos diferentes corredores de transporte sublinha a importância de abordagens regionais específicas e integradas para a conservação ambiental. Enquanto o corredor hidroviário mostra um desempenho relativamente melhor, os corredores rodoviário e ferroviário exigem intervenções para mitigar o impacto do desmatamento.

5.1.9. Área de Uso do Solo para a Agropecuária (pastagem e agricultura)

Ao longo da rodovia BR-163 (trecho do Mato Grosso) e nas ferrovias Norte-Sul e Carajás, o uso intensivo do solo para a agropecuária é uma realidade evidente. A análise das figuras subsequentes revela uma crescente expansão da área destinada à pastagem e agricultura em larga escala. Essas áreas são justamente aquelas que registraram as maiores perdas florestais ao longo dos últimos anos, o que reafirma que essas duas variáveis são inversamente proporcionais.

É notável que alguns municípios apresentam mais de 80% de seu território utilizado para atividades agropecuárias. Por exemplo, em Eldorado do Carajás – PA, essa porcentagem cresceu de 17,39% em 1990 para 89,89% em 2021; Governador Newton Bello - MA passou de 47,95% em 1990 para 81,95% em 2021; Nova Guarita - MT registrou um aumento de 23,47% em 1990 para 78,96% em 2021; Rondonópolis - MT teve uma variação de 72,00% em 1990 para 78,34% em 2021. Esses dados destacam a intensificação das atividades agropecuárias nessas regiões ao longo das últimas décadas, conforme pode ser verificado na Figura 30.

Figura 30 – Variação do percentual de área do uso do solo para agropecuária.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

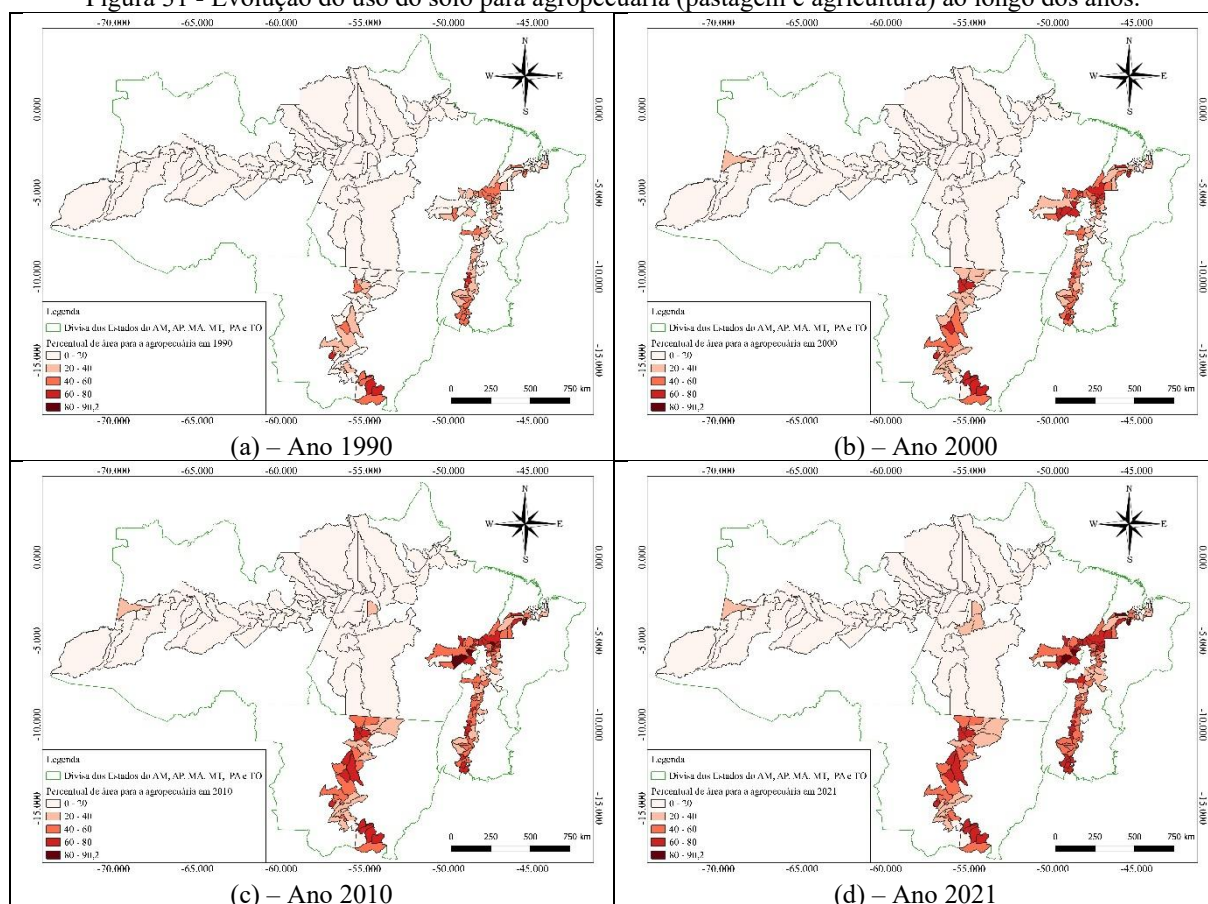
Os corredores ferroviário e rodoviário exibem um crescimento mais acentuado no uso do solo para atividades agropecuárias, enquanto o corredor hidroviário apresenta um crescimento bem mais modesto. Desde 1990, observa-se um aumento constante no percentual de uso do solo para agropecuária nos corredores ferroviário e rodoviário, que começam com cerca de 25% em 1990 e atingem cerca de 50% em 2021. Esse aumento pode ser atribuído à expansão das infraestruturas de transporte e ao consequente desenvolvimento econômico, que facilita a conversão de áreas florestais em terras agrícolas (Laurance *et al.*, 2014).

No corredor hidroviário, o crescimento no uso do solo para agropecuária é menos pronunciado, começando com média de valores abaixo de 1,2% em 1990 e atingindo cerca de 3,6% em 2021. Essa diferença pode ser explicada pelas limitações logísticas e de infraestrutura associadas ao transporte fluvial, que tornam a conversão de terras para fins agropecuários menos atrativa ou viável comparada aos outros corredores.

Porém, o menor impacto no uso do solo para agropecuária ao longo do corredor hidroviário sugere uma maior preservação ambiental nessa região, refletindo uma abordagem mais sustentável no uso dos recursos naturais em comparação com os corredores ferroviário e rodoviário. Estes resultados ressaltam a necessidade de políticas equilibradas que promovam o desenvolvimento econômico ao mesmo tempo que preservem o meio ambiente, conforme indicado por Soares-Filho *et al.*, 2014, especialmente em áreas ecologicamente sensíveis como a Amazônia Legal.

Na Figura 31 abaixo, é possível visualizar, em tons de vermelho mais escuro, os municípios que apresentaram maiores crescimentos do uso do solo para agropecuária.

Figura 31 - Evolução do uso do solo para agropecuária (pastagem e agricultura) ao longo dos anos.

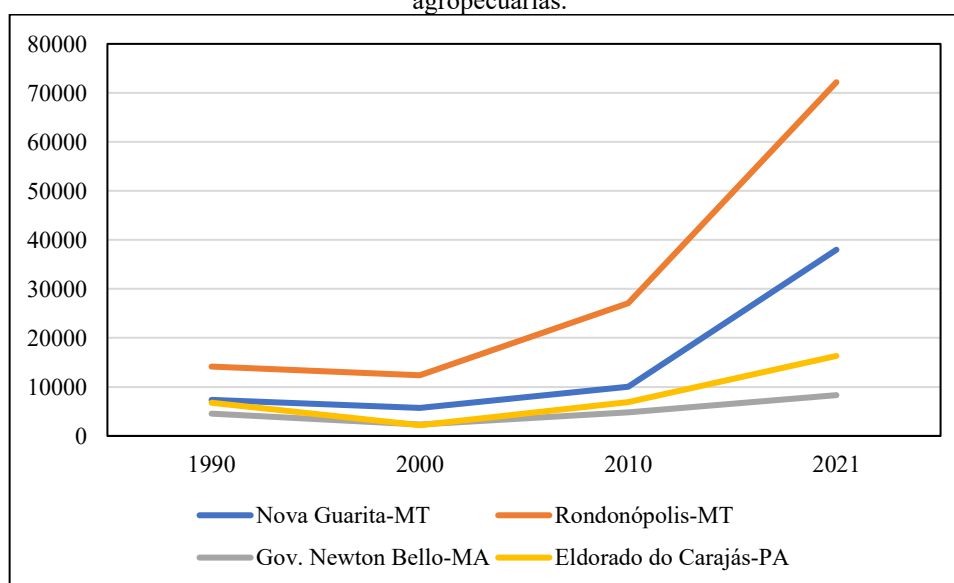


Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* QGIS, utilizando dados da pesquisa e a base cartográfica do IBGE (2023), 2025.

Alguns municípios que apresentam grandes percentuais de uso do solo para atividades agropecuárias também demonstraram um crescimento expressivo no PIB per capita ao longo dos anos. Um exemplo é Rondonópolis-MT, que teve o PIB per capita aumentado de R\$ 14.128,03 em 1990 para R\$ 72.181,58 em 2021 e o percentual de uso do solo para agropecuária variou de 72% (em 1990) para 78% (em 2021). O crescimento pode ser reflexo não apenas da expansão das atividades agropecuárias na região, mas também o impacto positivo dessas atividades na economia local ao longo do tempo. No entanto, ao analisar os dados de outros municípios, como Eldorado do Carajás-PA e Governador Newton Bello-MA, nota-se que altos percentuais de uso do solo para agropecuária nem sempre se traduzem em um aumento econômico proporcional, pois em Eldorado do Carajás-PA, o percentual de uso do solo para agropecuária variou de 18,2% (em 1990) para 92,2% (em 2021) e houve poucas mudanças no PIB per capita. Algo similar aconteceu em Governador Newton Bello-MA, com variação de 50% (em 1990) para 80% (em 2021) nas áreas de agropecuária.

A Figura 32 abaixo ilustra dados dos quatro municípios que detêm os maiores percentuais de uso do solo para agropecuária e seus respectivos PIB's per capita ao longo das últimas décadas. Os dados revelam que, apesar dos elevados índices de utilização da terra para atividades agropecuárias, Eldorado do Carajás e Governador Newton Bello apresentam PIB's per capita inferiores a R\$ 20.000,00 e R\$ 10.000,00, respectivamente, no ano de 2021.

Figura 32 – Variação do PIB per capita nos municípios com maiores percentuais de uso do solo para atividades agropecuárias.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Esses resultados evidenciam a complexidade das relações entre uso do solo, atividades econômicas, infraestrutura de transportes, conservação ambiental e desenvolvimento regional, conforme discutido por Laurance *et al.* (2014). Pois, enquanto o setor agropecuário desempenha um papel importante na economia de muitos municípios, outros fatores, como infraestrutura, investimentos em educação e saúde, acesso a mercados e serviços e políticas de desenvolvimento, também podem influenciar significativamente na sustentabilidade local. Assim, é essencial adotar abordagens integradas e políticas públicas estratégicas que promovam não apenas a expansão do setor agropecuário, mas também o desenvolvimento sustentável e inclusivo dos municípios, visando a melhoria da qualidade de vida e o bem-estar da população.

5.2. Testes estatísticos preliminares

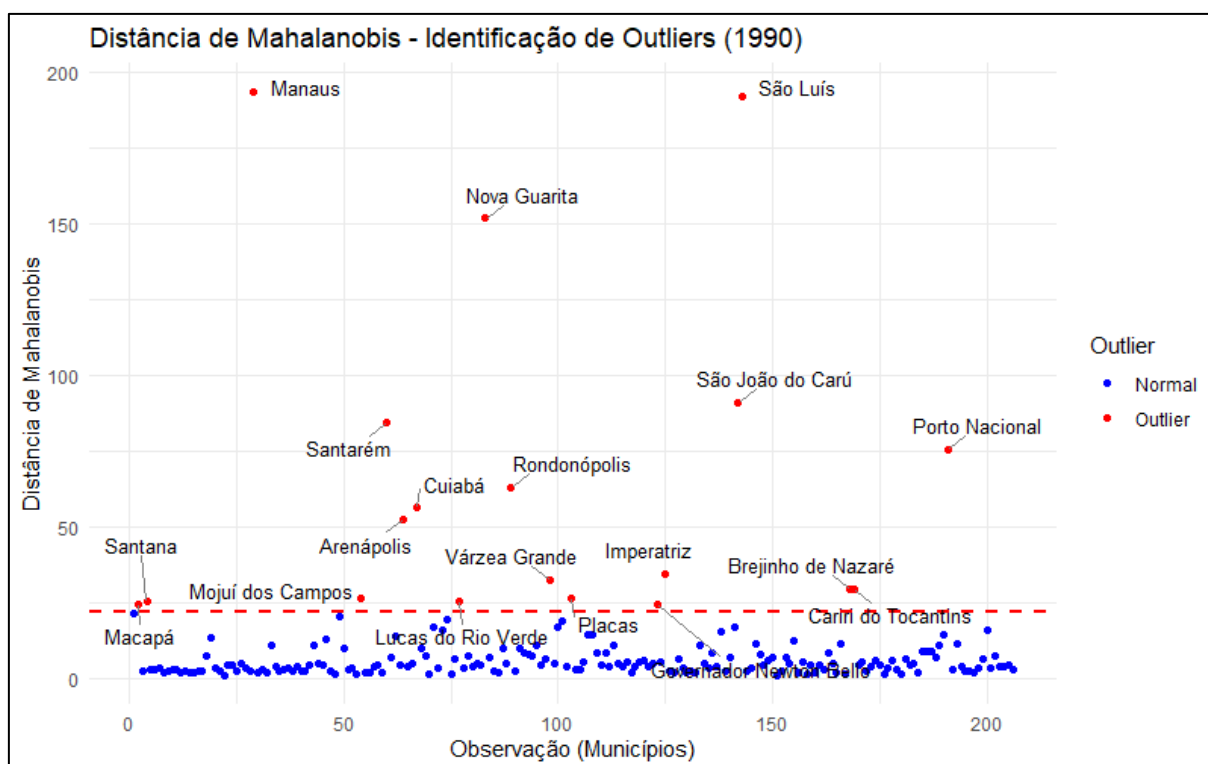
Antes da aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), é fundamental a realização de testes estatísticos preliminares para verificar se as condições necessárias ao método são atendidas (Hair *et al.*, 2009; Fávero *et al.*, 2009). Nesta pesquisa, foram empregados o teste de esfericidade de Bartlett, a medida de adequação da amostra por meio do índice Kaiser-

Meyer-Olkin (KMO), a verificação da presença de *outliers* via Distância de Mahalanobis e a Análise do Determinante da matriz de correlação. Esses procedimentos visam assegurar que as variáveis apresentem comportamentos compatíveis com a aplicação de técnicas multivariadas, identificando eventuais desvios que possam comprometer a interpretação dos componentes extraídos e a estrutura das relações entre as variáveis (Hair *et al.*, 2009; Fávero *et al.*, 2009).

5.2.1 Verificação de *Outliers*: Distância de Mahalanobis

Conforme já mencionado, a verificação de *outliers* é uma etapa importante em análises multivariadas, especialmente na Análise de Componentes Principais, uma vez que valores extremos podem influenciar desproporcionalmente a estrutura da matriz de correlação e, consequentemente, a definição dos componentes extraídos (Hair *et al.*, 2009). Entre as técnicas disponíveis, a Distância de Mahalanobis se destaca por considerar a correlação entre as variáveis no cálculo da distância multivariada, identificando observações que se distanciam significativamente do centroide multivariado. Ou seja, a Distância de Mahalanobis é uma distância simétrica, assim, qualquer ponto muito distante do centroide, seja em direção positiva ou negativa, terá uma distância grande.

A Figura 33 apresenta a distribuição da Distância de Mahalanobis para os 206 municípios da área de estudo no ano de 1990, permitindo identificar desvios multivariados em relação ao centroide do conjunto de dados. Ao ultrapassarem o ponto de corte estatístico (linha tracejada vermelha), 19 municípios foram classificados como *outliers*. Municípios como Manaus e São Luís destacam-se de forma expressiva, apresentando distâncias superiores a 180. Tais valores refletem condições estruturais extremamente distintas da maioria dos municípios amazônicos no período, visto que essas capitais estaduais concentravam os maiores níveis de urbanização, atividade econômica e infraestrutura instalada.

Figura 33: Apresentação de *outliers* através da Distância de Mahalanobis para 1990

Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Rstudio, 2025.

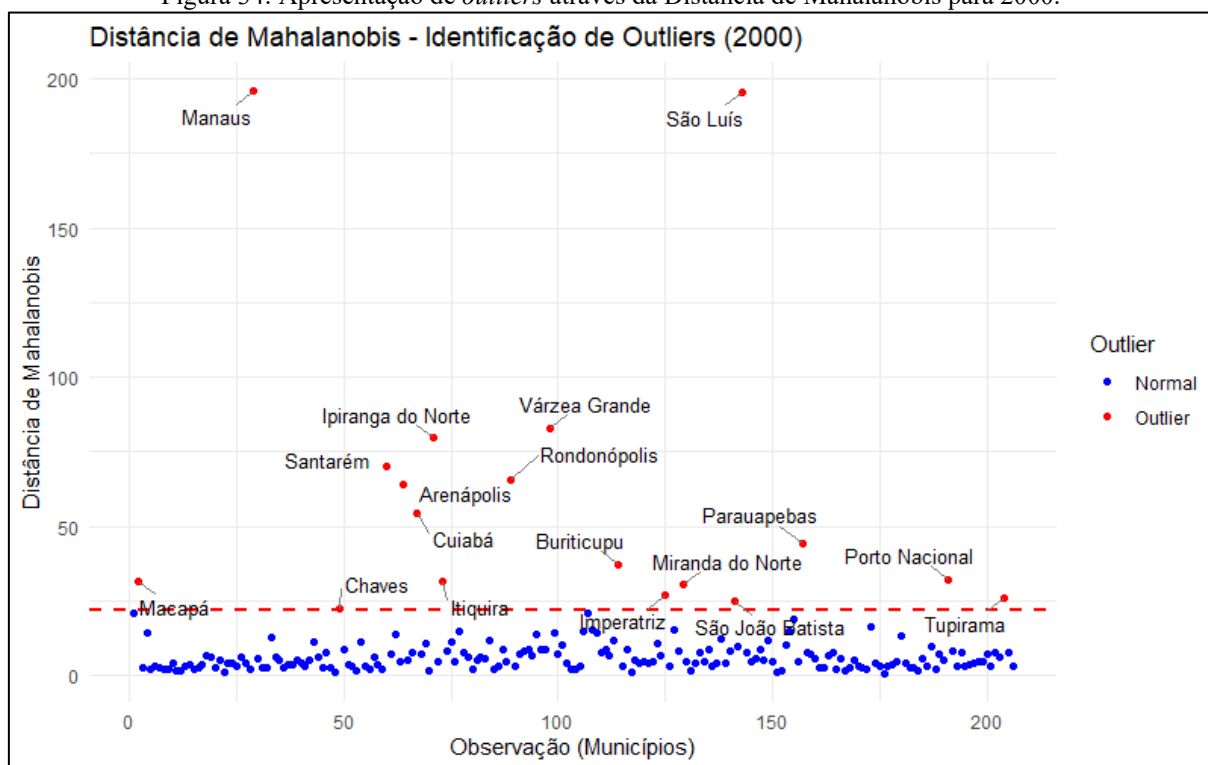
Em 1990, Manaus apresentou os maiores valores absolutos da base de dados em termos de Produto Interno Bruto (R\$ 42,4 bilhões) e população (990 mil habitantes), o que se alinha com seu papel estratégico na economia amazônica como sede da Zona Franca e centro logístico regional do corredor hidroviário. Situação semelhante é observada em São Luís, que com PIB de R\$ 14,9 bilhões e população de 672 mil habitantes, se consolidava como o município com maior peso econômico e demográfico no corredor ferroviário. A detecção dessas capitais como *outliers* evidencia o quanto suas trajetórias urbanas e produtivas destoam da média regional e reforça a necessidade de análises diferenciadas quando se busca compreender padrões de sustentabilidade ou desigualdade na região.

Além dessas capitais, outras cidades como Santarém, Rondonópolis, Cuiabá, Imperatriz e Macapá também foram identificadas como *outliers*. Tais municípios representam polos econômicos e logísticos relevantes, com níveis de infraestrutura mais avançados, o que pode aumentar a capacidade de atrair investimentos e população. A análise dos *outliers* em 1990 revela não apenas a presença de grandes centros urbanos e capitais estaduais, mas também a identificação de municípios de médio porte e polos regionais relevantes, como Porto Nacional, Várzea Grande, Santana e Governador Newton Bello. Além desses, observa-se a ocorrência de municípios menores, como Nova Guarita, São João do Caru, Arenópolis, Placas, Brejinho de Nazaré e Cariri do Tocantins. A inclusão desses municípios evidencia que os *outliers* não se

restringem exclusivamente a valores extremamente elevados, mas também podem ser resultado de padrões atípicos associados a baixos valores em determinadas variáveis ou combinações incomuns de indicadores socioeconômicos e ambientais.

Esses resultados refletem a profunda heterogeneidade estrutural da Amazônia Legal, especialmente no início da década de 1990, quando os contrastes entre os municípios eram acentuados por políticas públicas de alcance limitado e por estratégias de desenvolvimento muitas vezes centralizadas e desarticuladas com as realidades locais. Segundo Rocha Neto (2021), as promessas de integração e desenvolvimento sustentado da região por meio de planos regionais como o Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia (PRDA) foram historicamente marcadas por frustrações institucionais e por modelos de governança que, ao negligenciarem as especificidades territoriais, contribuíram para a reprodução das desigualdades.

No ano 2000, a verificação de *outliers* revelou a presença de 18 municípios com valores estatisticamente discrepantes em relação ao conjunto multivariado analisado. Como se observa na Figura 34, destacam-se novamente capitais e grandes centros urbanos como Manaus, São Luís, Cuiabá, Macapá e Santarém cuja estrutura urbana consolidada, aliada a elevados níveis de população, Produto Interno Bruto (PIB) e infraestrutura, justifica seu afastamento em relação ao restante da amostra. Esses municípios, por acumularem condições socioeconômicas fora do padrão médio da Amazônia Legal, apresentam distâncias de Mahalanobis elevadas, reforçando sua singularidade estatística dentro da região.

Figura 34: Apresentação de *outliers* através da Distância de Mahalanobis para 2000.

Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Rstudio, 2025.

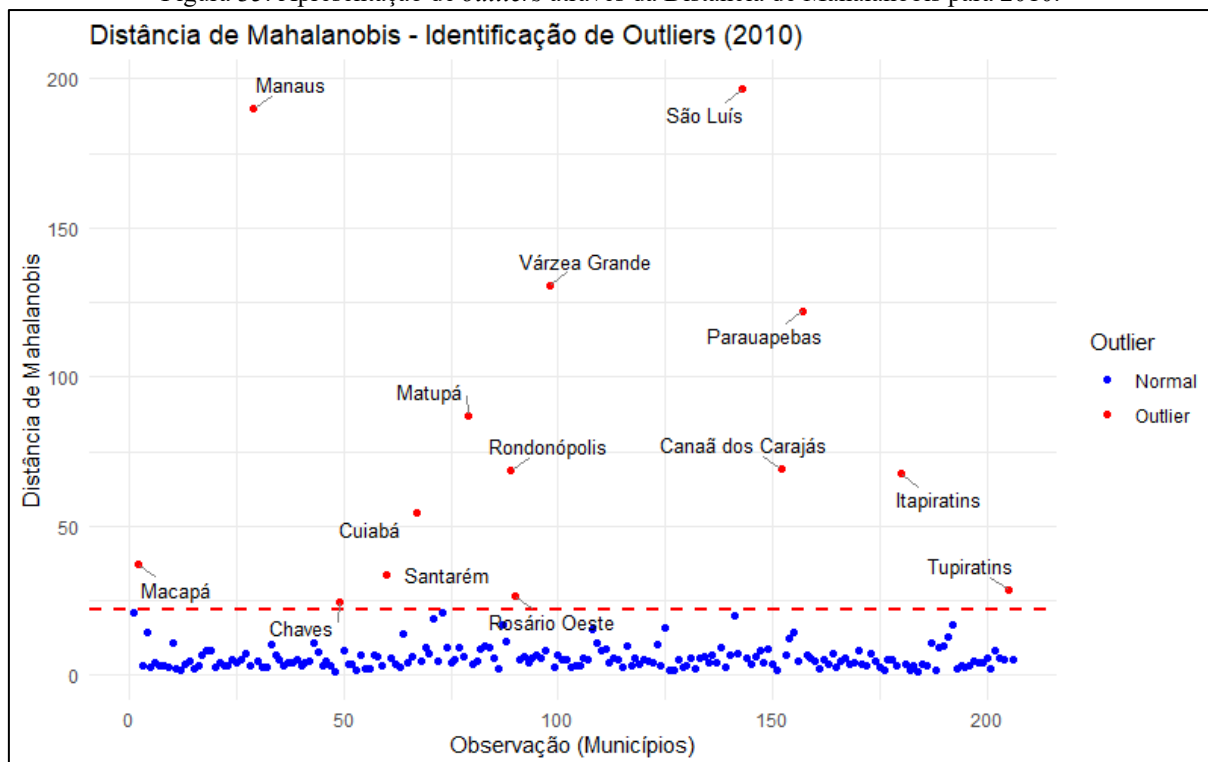
Além desses grandes centros, nota-se a emergência de municípios de porte intermediário como Parauapebas, Várzea Grande e Imperatriz. A presença dessas cidades entre os *outliers* reflete transformações estruturais em curso no início dos anos 2000, especialmente a intensificação da mineração, como é o caso de Parauapebas e o avanço da fronteira agrícola e logística, perceptível em municípios como Imperatriz e Várzea Grande. Esses processos já haviam sido identificados por Becker (2005), ao destacar o papel dos eixos de expansão econômica e das políticas de ocupação territorial na redefinição da hierarquia urbana da Amazônia, sobretudo com a implantação de infraestruturas voltadas ao escoamento da produção.

A análise também revela a presença de municípios com menor visibilidade nacional, como Arenópolis, Buriticupu, Miranda do Norte e Ipiranga do Norte, cujos perfis multivariados destoam do conjunto por apresentarem valores baixos em uma ou mais variáveis analisadas. Tais ocorrências indicam que nem todos os *outliers* estão associados a centros economicamente consolidados. Em alguns casos, o desvio estatístico reflete situações de desequilíbrio estrutural, com combinações atípicas de indicadores socioeconômicos e ambientais. Essa observação reforça a importância da ACP associada à distância de Mahalanobis como instrumento para a detecção de realidades diferenciadas no interior do território analisado.

Por fim, os resultados obtidos para o ano 2000 apontam para um processo de diversificação dos perfis de municípios considerados *outliers*. Enquanto na década anterior predominavam capitais e cidades com peso histórico, observa-se agora a entrada de novos atores territoriais impulsionados por dinâmicas econômicas contemporâneas. Tal mudança reforça a necessidade de se considerar os diferentes vetores de desenvolvimento que atuam simultaneamente na Amazônia Legal, seja pela urbanização tradicional, seja pela expansão de atividades como agropecuária, mineração e logística.

A identificação de *outliers* para o ano de 2010 evidenciou 14 municípios com comportamento estatisticamente discrepante em relação ao restante da amostra de 206 municípios analisados (Figura 35). Assim como nas décadas anteriores, capitais estaduais como Manaus, São Luís, Cuiabá e Macapá permaneceram entre as observações atípicas. Essa recorrência revela a persistência de desigualdades estruturais, uma vez que esses centros urbanos concentram elevados níveis de população, Produto Interno Bruto (PIB), infraestrutura e urbanização, distanciando-se consideravelmente dos padrões médios observados na região. Tais municípios, por exercerem forte centralidade regional, tendem naturalmente a apresentar maior afastamento estatístico em estudos com forte heterogeneidade territorial.

Figura 35: Apresentação de *outliers* através da Distância de Mahalanobis para 2010.



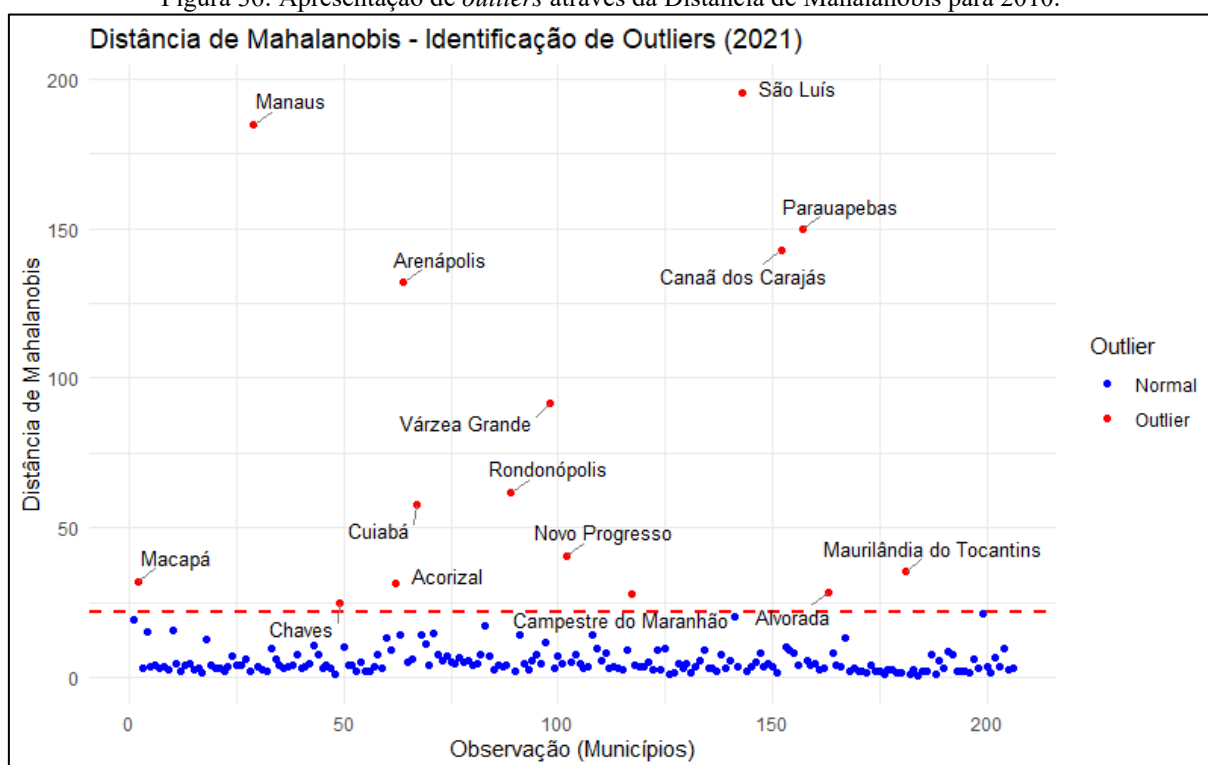
Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Rstudio, 2025.

Contudo, o perfil dos *outliers* em 2010 indica mudanças significativas. Além dos centros urbanos consolidados, observa-se o surgimento de municípios cujas trajetórias recentes estão

fortemente associadas à expansão mineral e agropecuária. Parauapebas e Canaã dos Carajás, no sudeste paraense, por exemplo, refletem o impacto direto de grandes projetos de mineração, especialmente ligados à extração de ferro e cobre. Esses municípios registraram crescimento vertiginoso na década de 2000, principalmente em termos econômicos, com PIB per capita de R\$ 106.691,98 para Parauapebas e R\$ 86.959,01 para Canaã dos Carajás. Essa dinâmica econômica diferenciada foi impulsionada por políticas de incentivo à exploração mineral e infraestrutura associada ao setor (Dani *et al.*, 2022).

Outro destaque é Matupá, no norte do Mato Grosso, cuja emergência como *outlier* em 2010 pode ser atribuída à consolidação da atividade agropecuária e ao posicionamento estratégico no eixo da BR-163. O município se beneficiou da intensificação da produção de soja e da pecuária de corte, resultando em alterações significativas em seus indicadores econômicos e ambientais, tendo aumentado o PIB per capita de R\$ R\$ 5.940,54 em 1990 para R\$ 63.854,19 em 2021. Além disso, houve diminuição da área florestal de 90,17% em 1990 para 60,86% em 2021. Já Várzea Grande, por integrar a Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá, mantém-se como um polo de atração populacional e de serviços, o que sustenta sua recorrência como ponto fora da curva estatística. Tais casos reforçam os efeitos da metropolização e da infraestrutura de transporte na diferenciação regional.

A análise para o ano de 2021 identificou 15 municípios como *outliers* em relação à amostra de 206 municípios da Amazônia Legal (Figura 36). De forma semelhante aos anos anteriores, Manaus, São Luís, Cuiabá e Macapá mantiveram-se entre as observações discrepantes, evidenciando a persistência das capitais e grandes centros regionais como pontos fora da curva, em virtude de suas estruturas demográficas, econômicas e de serviços amplamente superiores à média dos municípios amazônicos. A continuidade desses centros como *outliers* ao longo de três décadas reforça os padrões históricos de concentração urbana e econômica característicos da região.

Figura 36: Apresentação de *outliers* através da Distância de Mahalanobis para 2010.

Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Rstudio, 2025.

Além dos centros metropolitanos, o ano de 2021 reafirma a presença de municípios mineradores e agropecuários entre os principais *outliers* da região, com destaque para Parauapebas e Canaã dos Carajás. Ambos já figuravam como observações atípicas em 2010 e continuaram a apresentar indicadores socioeconômicos significativamente acima da média em 2021, reflexo da intensificação das atividades extrativistas e do avanço da fronteira agrícola. O caso de Canaã dos Carajás é particularmente emblemático. O município registrou um PIB per capita de R\$ 5.121,65 no ano 2000, que saltou para R\$ 86.959,01 em 2010 e atingiu expressivos R\$ 894.806,28 em 2021 - um crescimento de aproximadamente 928% em apenas uma década.

Do ponto de vista populacional, o município de Canaã dos Carajás também apresentou forte expansão, passando de 39.103 habitantes em 2010 para 77.079 em 2022, segundo dados do IBGE (2022). Esse crescimento acentuado, tanto na esfera econômica quanto demográfica está diretamente relacionado à presença do Projeto S11D, um dos maiores empreendimentos minerários em operação no Brasil, conduzido pela mineradora Vale (Vale S.A., 2022). Tal dinâmica tem implicações profundas na configuração territorial da Amazônia, marcando a emergência de novos polos de desenvolvimento, cuja trajetória se diferencia significativamente do padrão histórico regional. Essa realidade evidencia o papel da mineração como vetor de transformação econômica local, mas também impõe desafios relacionados à sustentabilidade e à governança territorial.

Esses municípios da região da Serra dos Carajás, consolidaram-se como importantes polos minerais no sudeste do Pará, impulsionados pela extração de ferro, cobre e níquel, processos que provocaram significativa expansão urbana, alterações no uso do solo e mudanças demográficas aceleradas. Porém, conforme apontado por Dani *et al.* (2022), apesar do grande crescimento econômico, apenas Parauapebas alcançou um nível alto no indicador IDHM, de 0,553 em 2000 para 0,715 em 2010, evidenciando que o impacto do setor mineral no desenvolvimento humano não ocorreu de maneira uniforme na região. A permanência desses municípios como *outliers* reforça a centralidade que o setor mineral exerce na dinâmica recente da Amazônia, configurando uma economia de enclave que impacta diretamente as condições econômicas, sociais e ambientais locais.

Em 2021, observa-se também o aparecimento ou retorno de municípios associados à fronteira agropecuária e expansão madeireira, como Novo Progresso e Acorizal, ambos situados em áreas de histórico recente de avanço da soja, pecuária e atividades extrativistas. O caso de Novo Progresso, no Pará, é especialmente relevante, pois o município se insere em uma região marcada por altas taxas de desmatamento e conflitos fundiários nos últimos anos, o que impacta significativamente variáveis como uso do solo, indicadores socioambientais e crescimento econômico desigual (INPE, 2023).

Um aspecto relevante de 2021 foi a manutenção de Chaves e Macapá como *outliers* na maior parte das décadas analisadas, o que merece destaque pela constância. No caso de Chaves, situado no arquipélago do Marajó, a posição atípica decorre de sua combinação peculiar de indicadores socioeconômicos baixos (IDHM de 0,179 em 1990; 0,289 em 2000; 0,453 em 2010 e projeção de 0,541 em 2021) e baixíssima densidade demográfica (1,9 hab./km² em 2021), características que o distanciam estatisticamente da média regional. Já Macapá, como capital, concentra infraestrutura, serviços e população em níveis incomparáveis a grande parte da amostra, mantendo-se sistematicamente como um valor levemente superior no conjunto de variáveis analisadas.

Apesar da identificação de municípios *outliers* pela Distância de Mahalanobis nos conjuntos de dados analisados, optou-se por manter essas observações na base para a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP). A decisão se justifica, primeiramente, pelo fato de que a quantidade de municípios considerados *outliers* em cada década representa menos de 10% do total da amostra (206 municípios), percentual que, segundo Hair *et al.* (2009), não compromete de forma significativa a robustez das análises multivariadas. Além disso, esses municípios, ainda que apresentem padrões discrepantes em relação aos demais, fazem parte do

contexto regional estudado e são importantes para captar a diversidade socioeconômica e ambiental presente na área de abrangência da pesquisa.

Outro ponto relevante para a manutenção dos municípios em questão está relacionado à proposta cartográfica do estudo. Pretende-se apresentar mapas temáticos com a espacialização dos resultados do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia para todos os municípios da amostra. A exclusão de qualquer município geraria lacunas na representação espacial, comprometendo a leitura contínua e integrada do território, o que pode prejudicar a análise geográfica e a compreensão dos padrões espaciais. Assim, preservar a totalidade da base permite não apenas manter a integridade territorial dos mapas, mas também garantir que as análises reflitam de forma mais fiel a realidade heterogênea da Amazônia Legal.

5.2.2. Teste de Esfericidade de Bartlett

O Teste de Esfericidade de Bartlett foi aplicado às matrizes de correlação das variáveis selecionadas para cada década da série histórica. Esse teste verifica se a matriz de correlação difere significativamente de uma matriz identidade, condição necessária para justificar a utilização de técnicas de redução de dimensionalidade, como a Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise Fatorial (Pallant, 2007; Hair *et al.*, 2009). A hipótese nula (H_0) do teste assume que as variáveis não estão correlacionadas, ou seja, que a matriz de correlação é uma matriz identidade. A hipótese alternativa (H_1) indica que há correlação significativa entre as variáveis, sendo possível agrupá-las em componentes ou fatores comuns.

Os resultados, apresentados na Tabela 2, demonstram que em todas as décadas analisadas o valor de p foi inferior a 0,05, o que permite rejeitar a hipótese nula e confirmar a adequação da matriz de correlação para a realização da Análise de Componentes Principais. Em alguns casos, o valor de p foi reportado como 0 pelo *software* estatístico R, indicando que o valor obtido foi inferior ao limite mínimo de precisão da linguagem computacional, correspondendo a um valor extremamente pequeno ($p < 2,2e-16$). Segundo Hair *et al.* (2009), essa condição é esperada em situações de forte correlação entre variáveis ou quando se trabalha com matrizes relativamente grandes, e não representa qualquer problema metodológico.

Tabela 2: Resultados do Teste de Esfericidade de Bartlett

Dados por década	Chisq	p.value	df
Dados de 1990	1283.557	2.364567e-23	55
Dados de 2000	1730.668	0	55
Dados de 2010	1788.428	0	55
Dados de 2021	1529.726	8.614772e-28	55

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Dessa forma, os resultados do Teste de Esfericidade de Bartlett confirmam que as variáveis analisadas apresentam correlação suficiente para justificar a aplicação da Análise de Componentes Principais nas quatro décadas avaliadas, respeitando os pressupostos estatísticos recomendados pela literatura (Pallant, 2007; Hair *et al.*, 2009).

5.2.3. Teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

Os resultados do Teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) apresentados na Tabela 3 revelam uma adequação amostral moderada para a análise fatorial em todas as décadas analisadas (1990 a 2021), com valores globais do *Measure of Sampling Adequacy* (MSA) variando entre 0,56 e 0,58. Quanto mais perto de 1 para o valor de KMO, melhor é a adequação dos dados. Pallant (2007) sugere 0,6 como limite razoável e Hair *et al.*, (2005) sugerem 0,5 como patamar aceitável. Esse padrão sugere que a análise fatorial é viável, mas reforça a necessidade de complementar os achados com outras métricas, como o Teste de Esfericidade de Bartlett, já discutido anteriormente.

Tabela 3: Resultados do Teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

Variáveis	Dados de 1990	Dados de 2000	Dados de 2010	Dados de 2021
Valor Global MSA (<i>Measure of Sampling Adequacy</i>)	0.58	0.57	0.58	0.56
PIB	0.51	0.50	0.50	0.52
PIB per capita	0.49	0.49	0.37	0.25
População	0.55	0.54	0.53	0.52
Densidade populacional	0.52	0.52	0.58	0.55
IDHM	0.81	0.71	0.73	0.76
Percentual área queimada	0.77	0.61	0.69	0.64
Percentual área desmatada	0.65	0.86	0.72	0.81
Percentual área de floresta	0.61	0.64	0.60	0.57
Percentual área agropecuária	0.57	0.61	0.60	0.58
Percentual área urbanizada	0.68	0.64	0.62	0.59
Infraestrutura de transportes	0.58	0.61	0.72	0.78

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Entre as variáveis individuais, destacam-se altos valores de KMO para “Percentual área desmatada” em 2000 (0,86) e “Infraestrutura de transportes” em 2010 (0,72), indicando forte contribuição desses indicadores para a estrutura fatorial. Em contrapartida, o “PIB per capita” apresentou os menores valores (0,37 em 1990 e 0,25 em 2021), possivelmente refletindo maior dispersão ou influência de fatores externos não capturados pelo modelo. Segundo Hair *et al.* (2009), variáveis com baixa adequação à matriz de correlações, podem ser removidas para melhorar o ajuste geral, exceto quando há justificativa teórica ou relevância analítica que sustente sua permanência. No caso deste estudo, optou-se por manter as variáveis PIB e PIB per capita, apesar de seus índices inferiores no teste KMO, em razão de sua importância estratégica para a análise. Esses indicadores representam os principais componentes do pilar

econômico no tripé da sustentabilidade adotado, sendo fundamentais para a adequada interpretação dos resultados e compreensão das dinâmicas territoriais observadas. A variação nos valores ao longo das décadas, como o declínio do MSA global em 2021 (0,56), pode estar associada a mudanças socioeconômicas ou ambientais, como intensificação de políticas de conservação ou alterações metodológicas na coleta de dados (Tabachnick; Fidell, 2013), que impactaram a homogeneidade das correlações.

A consistência dos resultados do KMO corrobora com os achados do Teste de Bartlett, que também apontaram adequação para análise fatorial, especialmente na década de 2010. No entanto, a combinação de valores no KMO e p-valores significativos no Teste de Bartlett ressalta a importância de uma abordagem multifacetada na validação de modelos multivariados (Hair *et al.*, 2009). Adicionalmente, a redução do MSA em 2021 sugere a necessidade de investigar eventuais rupturas nas tendências históricas, como crises econômicas ou ambientais, que possam ter alterado a interdependência entre as variáveis. Essa alteração, principalmente em relação a fatores econômicos de 2021, pode ser associada aos reflexos da pandemia da COVID-19.

5.2.4. Determinante da Matriz de Correlação

A análise do determinante da matriz de correlação é uma etapa fundamental na verificação da multicolinearidade entre as variáveis antes da aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP). De acordo com Marôco (2018), valores muito próximos de zero indicam a presença de alta multicolinearidade. No presente estudo, os determinantes das matrizes de correlação variaram entre 0,000133709 (2010) e 0,001658598 (1990), conforme dados da Tabela 4. Os valores são considerados baixos, o que sinaliza correlações consideráveis entre as variáveis, reforçando a viabilidade de aplicação da ACP, visto que a técnica é justamente recomendada para reduzir essa redundância de informações (Hair *et al.*, 2009).

Tabela 4: Resultados do Determinante da matriz

Dados por década	Det
Dados de 1990	0.001658598
Dados de 2000	0.000178350
Dados de 2010	0.000133709
Dados de 2021	0.000485877

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Ainda segundo Hair *et al.* (2009), determinantes inferiores a 0,00001 seriam extremamente problemáticos e demandariam a exclusão ou reavaliação de variáveis devido à excessiva colinearidade. No entanto, os valores encontrados nesse estudo, embora baixos,

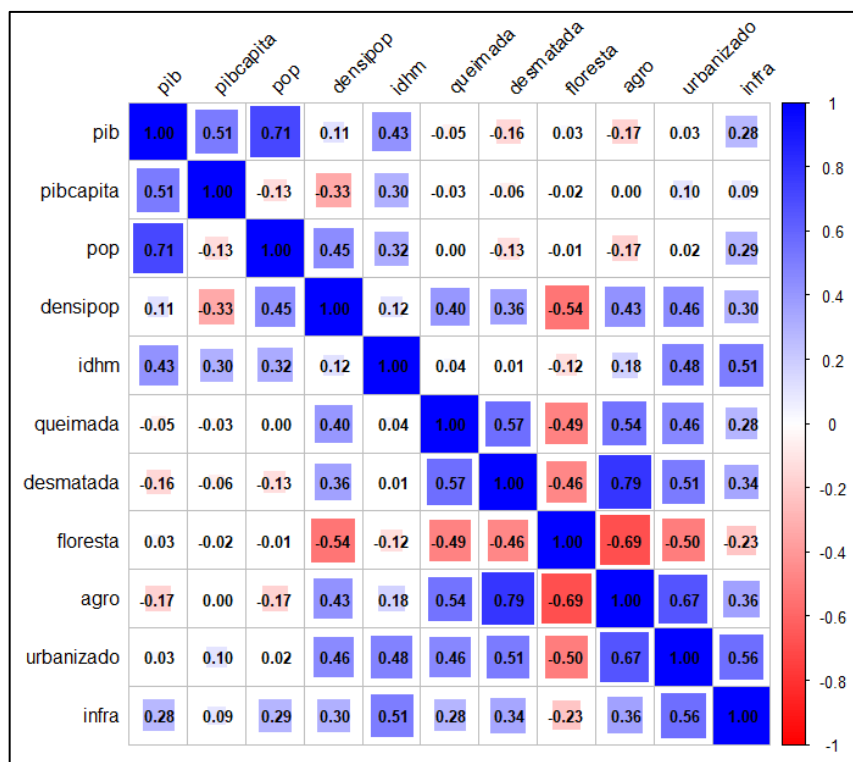
situam-se acima deste limiar crítico, indicando que, apesar da presença de relações significativas entre as variáveis, o nível de colinearidade é aceitável para a aplicação da ACP. Além disso, a existência dessas correlações é desejável para a técnica, uma vez que ela se baseia na análise das variâncias compartilhadas entre os indicadores para identificar padrões subjacentes nos dados (Jolliffe; Cadima, 2021).

Cabe destacar que a tendência de redução dos valores do determinante ao longo das décadas reflete o aumento das inter-relações entre as variáveis socioeconômicas, ambientais e de infraestrutura na região de estudo. Esse fenômeno pode ser explicado pelo processo de integração territorial e econômica da Amazônia Legal, que, nas últimas décadas, intensificou as relações entre os indicadores de desenvolvimento e os impactos ambientais (Silva *et al.*, 2022). Assim, a maior dependência entre essas variáveis em 2021 sugere que os processos de urbanização, expansão agropecuária, infraestrutura e degradação ambiental se tornaram ainda mais interligados, o que reforça a importância da ACP para sintetizar essas informações em componentes interpretáveis em blocos.

Para finalizar a análise dos pressupostos para aplicação da ACP foi gerada uma matriz de correlação, através do método de Spearman, com as variáveis numéricas do banco de dados por década analisada e por corredor de transporte, garantindo um panorama completo das correlações existentes. As matrizes de correlação geradas possibilitaram visualizar as interações entre as variáveis, permitindo identificar aquelas que apresentam fortes associações entre si.

A Figura 37 apresenta a matriz de correlação com dados do ano de 1990, permitindo identificar a direção e a intensidade das associações monotônicas entre as variáveis analisadas. Os coeficientes variam de -1 a +1, onde, conforme mencionado, valores próximos de +1 indicam associações positivas fortes, e valores próximos de -1 indicam correlações negativas significativas. Um dos destaques da matriz é a forte correlação positiva entre o Produto Interno Bruto (PIB) e a população (pop), com coeficiente de 0,71, o que reforça a relação entre volume populacional e capacidade produtiva dos municípios. Também se observa correlação moderada entre PIB e PIB per capita (0,51), além de associação positiva entre população e densidade populacional (0,45), sugerindo padrões estruturais esperados entre variáveis demográficas e econômicas.

Figura 37 - Matriz de correlação com os dados de 1990.



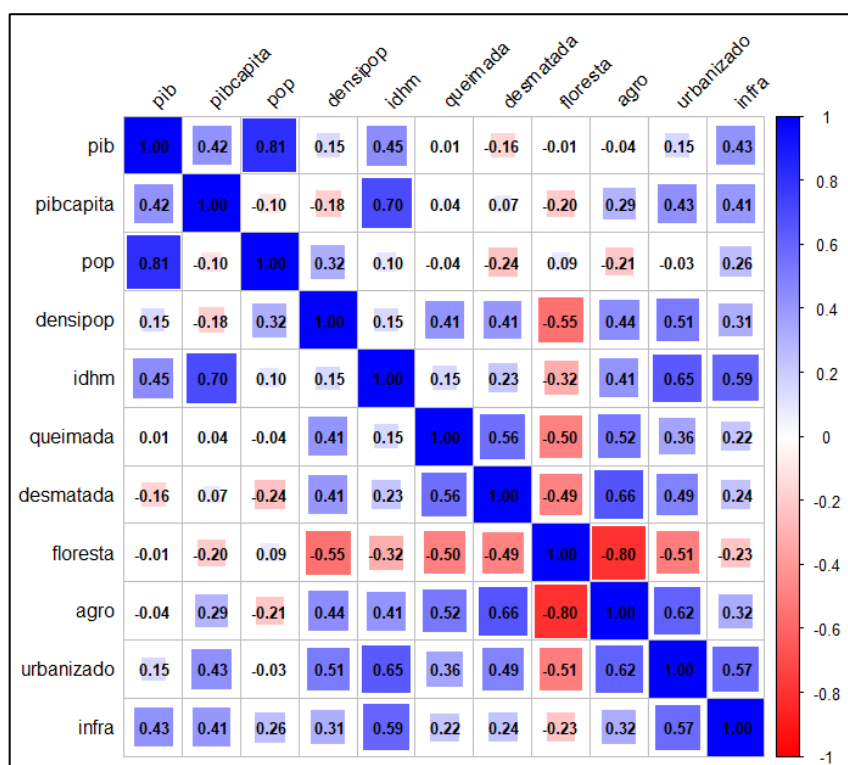
Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

Entre os destaques com valores negativos, observa-se uma correlação inversa moderada entre a variável “percentual de área de floresta” e “densidade populacional” (-0,54), o que pode indicar que municípios mais densamente ocupados tendem a apresentar menor cobertura florestal. Ainda mais expressiva é a correlação negativa entre “floresta” e “agropecuária” (-0,69), sinalizando um padrão de substituição da vegetação nativa por áreas produtivas, dinâmica amplamente documentada na expansão da fronteira agrícola na Amazônia (Young; Fausto, 1997; Graesser *et al.*, 2015; Hoefle, 2017; Da Silva *et al.*, 2019). Além disso, identificam-se correlações positivas entre “infraestrutura de transportes” e “IDHM” (0,51), e entre “infraestrutura” e “população” (0,29), sugerindo que os municípios com melhor infraestrutura de transportes também tendem a apresentar melhores indicadores de desenvolvimento humano e maior contingente populacional. Tais padrões evidenciam a coexistência de forças de desenvolvimento econômico com pressões sobre os ativos ambientais, ressaltando os dilemas estruturais do desenvolvimento regional na Amazônia.

As correlações observadas entre as variáveis socioeconômicas, ambientais e territoriais no ano 2000 (Figura 38) evidenciam inter-relações importantes para a compreensão da dinâmica regional dos municípios analisados. Novamente, o PIB apresenta forte correlação com a população ($p = 0,81$), indicando que os municípios mais populosos tendem a concentrar maior

volume de produção econômica. Essa associação direta entre escala demográfica e desempenho econômico reforça a concentração de atividades produtivas em áreas urbanas mais povoadas. Ainda nesse eixo, o PIB mostra correlações moderadas com o PIB per capita ($\rho = 0,42$) e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) ($\rho = 0,45$), sugerindo que o crescimento econômico pode contribuir positivamente para o aumento da renda média e para melhorias nas condições sociais, embora essas correlações não sejam tão intensas.

Figura 38 - Matriz de correlação com os dados de 2000.



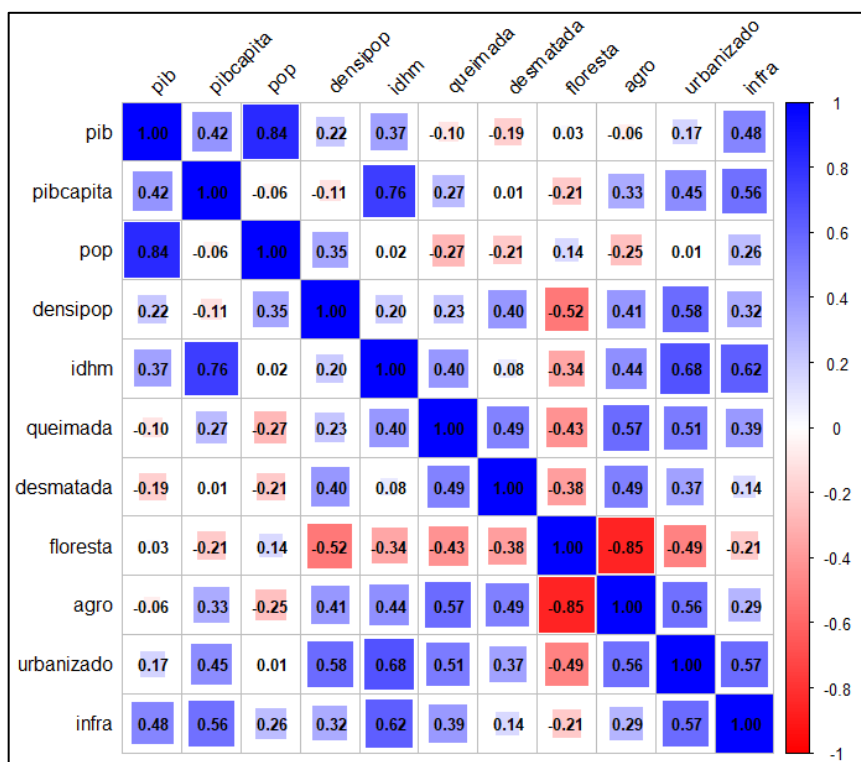
Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

Destaque também para a associação entre IDHM e PIB per capita ($\rho = 0,70$), a mais elevada envolvendo o indicador social, indicando que a renda individual exerce papel central na melhoria das condições de vida dos municípios. Por sua vez, a densidade populacional se mostra positivamente associada à urbanização ($\rho = 0,63$) e ao uso agropecuário ($\rho = 0,44$), revelando um padrão de ocupação do solo onde o adensamento populacional se articula tanto com a expansão urbana quanto com o uso produtivo do território. Em 1990, o PIB per capita mostrou pouca relação com variáveis ambientais (floresta, áreas queimadas e desmatadas), apontando para um crescimento econômico ainda dissociado de políticas ambientais estruturadas, conforme apontado por Becker (2004).

No campo ambiental, as correlações destacam uma relação inversa significativa entre a cobertura florestal e a área agropecuária ($\rho = -0,80$), indicando uma substituição direta da vegetação nativa por atividades agrícolas, sinalizando aceleração na conversão de florestas, fato também comprovado por Simon e Garagorry (2005); Soares-Filho *et al.* (2006); Graesser *et al.*, (2015). Esse padrão é condizente com a literatura que descreve a expansão da fronteira agrícola na Amazônia ao longo da década de 1990, intensificando-se nos anos 2000, com o avanço da criação de gado e de grãos (Margulis, 2004; Nepstad *et al.*, 2006). O mesmo padrão negativo, embora mais moderado, é observado entre floresta e densidade populacional ($\rho = -0,55$) e floresta e IDHM ($\rho = -0,32$), sugerindo que o avanço populacional e social pode ocorrer em detrimento da conservação ambiental. Além disso, as práticas de queimadas e desmatamento aparecem fortemente associadas ($\rho = 0,56$), o que evidencia que ambas continuam a ocorrer de maneira conjunta em várias localidades. Tais padrões indicam que os desafios do desenvolvimento sustentável na região seguem marcados por uma tensão constante entre crescimento econômico-social e conservação dos recursos naturais.

Com base na matriz de correlação apresentada para o ano de 2010 (Figura 39), observa-se a manutenção de algumas associações já verificadas em períodos anteriores, ao passo que outras relações ganham força ou enfraquecem, revelando mudanças estruturais na dinâmica socioeconômica e ambiental dos municípios localizados nos três corredores de transporte.

Figura 39 - Matriz de correlação com os dados de 2010.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

Entre as correlações positivas mais expressivas, destaca-se a relação entre PIB e população ($\rho = 0.84$), indicando que os municípios com maior número de habitantes seguem concentrando maior atividade econômica. Essa tendência é complementada pela correlação moderada entre PIB per capita e IDHM ($\rho = 0.76$), evidenciando a importância da renda média individual na elevação das condições sociais locais. Também se mantém a associação significativa entre densidade populacional e urbanização ($\rho = 0.68$), reforçando que o adensamento populacional está diretamente relacionado à ocupação do espaço urbano, com implicações diretas sobre infraestrutura e serviços.

No que se refere ao papel da infraestrutura de transportes, observa-se uma correlação relevante com o PIB ($\rho = 0.48$), IDHM ($\rho = 0.62$) e PIB per capita ($\rho = 0.56$), sinalizando que municípios melhor conectados tendem a apresentar desempenho superior, tanto em termos econômicos quanto sociais. Isso demonstra a relevância da infraestrutura logística como um dos vetores centrais do desenvolvimento regional, sobretudo em áreas de expansão econômica e integração territorial, como aquelas cortadas pelos corredores de transporte ferroviário e rodoviário.

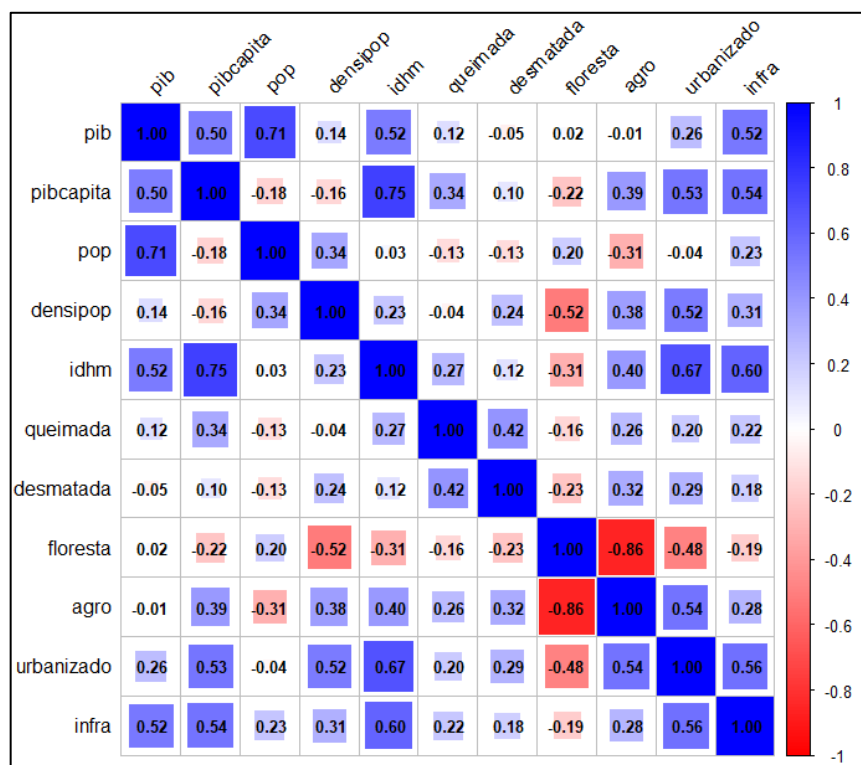
Do ponto de vista ambiental, a matriz evidencia uma forte correlação negativa entre cobertura florestal e área agropecuária ($\rho = -0.85$), reforçando que a conversão de vegetação nativa em áreas produtivas continua sendo um dos principais motores do desmatamento. As variáveis área de floresta e densidade populacional também exibem correlação negativa relevante ($\rho = -0.52$), o que pode estar relacionado ao avanço urbano e agrícola sobre áreas florestadas. Além disso, a variável “queimada” passa a apresentar correlações positivas moderadas com “desmatamento” ($\rho = 0.49$), “agro” ($\rho = 0.57$) e “idhm” ($\rho = 0.30$), indicando que práticas de supressão vegetal ainda se mantêm como estratégia para expansão produtiva, mesmo em contextos de melhoria social.

Em síntese, a análise das correlações em 2010 revela um padrão de desenvolvimento ainda marcado por pressões sobre o meio ambiente, embora os avanços em renda e infraestrutura estejam contribuindo positivamente para os indicadores sociais. Esses achados reforçam a necessidade de políticas integradas que conciliem o crescimento econômico e social com a conservação dos recursos naturais.

Com base nos dados de 2021 (Figura 40), observa-se a persistência de algumas relações estruturais relevantes entre as variáveis socioeconômicas, ambientais e territoriais nos municípios analisados. Entre as correlações positivas mais expressivas, destaca-se a relação entre PIB per capita e IDHM ($\rho = 0,75$), indicando que a elevação da renda média municipal permanece como um fator fortemente associado à melhoria das condições de vida da população.

Adicionalmente, observa-se uma correlação igualmente forte entre IDHM e infraestrutura de transportes ($\rho = 0,60$), reforçando a hipótese de que a presença e diversificação dos modos de transportes continuam sendo um componente estratégico para o desenvolvimento regional.

Figura 40 - Matriz de correlação com os dados de 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

No âmbito territorial, destaca-se novamente a associação significativa entre densidade populacional e urbanização ($\rho = 0,67$), sugerindo que a maior concentração populacional segue refletida em maior grau de ocupação urbana. Essa relação também aparece associada a ganhos econômicos, uma vez que o PIB apresenta correlação positiva com o IDHM ($\rho = 0,52$), PIB per capita ($\rho = 0,50$) e infraestrutura ($\rho = 0,52$), reforçando a importância da combinação entre capacidade produtiva e suporte logístico para o avanço regional.

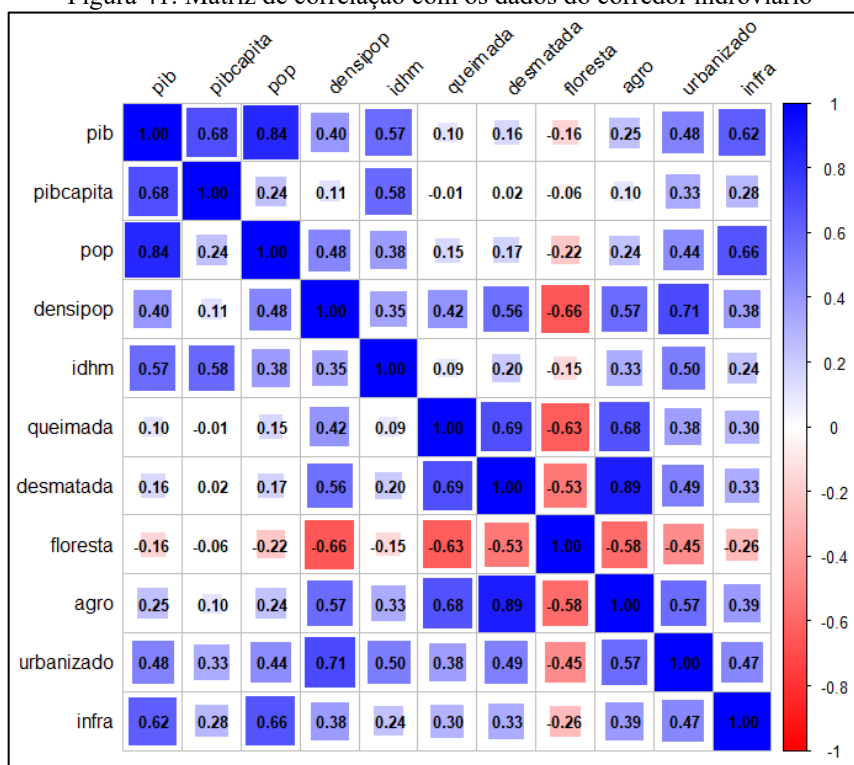
Em contrapartida, o panorama ambiental em 2021 revela uma forte correlação negativa entre cobertura florestal e área agropecuária ($\rho = -0,86$), reafirmando o padrão historicamente observado de substituição da vegetação nativa por atividades agropecuárias. A floresta também apresenta correlações negativas com a densidade populacional ($\rho = -0,52$) e urbanização ($\rho = -0,48$), o que indica que a expansão urbana e o adensamento seguem comprometendo os remanescentes florestais nos municípios com maior pressão antrópica. Ainda no campo ambiental, chama atenção o fato de que as variáveis “queimada” e “desmatada” apresentam

correlação positiva entre si ($\rho = 0,42$), sugerindo que essas práticas ainda estão associadas, especialmente em regiões de expansão da fronteira agrícola.

De maneira geral, os resultados de 2021 consolidam tendências já identificadas nas décadas anteriores, evidenciando o fortalecimento da infraestrutura e da urbanização como vetores do desenvolvimento municipal. Ao mesmo tempo, persistem os desafios de ordem ambiental, notadamente aqueles relacionados à pressão do uso agropecuário sobre os recursos naturais. A análise comparativa das quatro décadas evidencia que, embora tenha havido avanços sociais e econômicos, esses ainda carecem de maior integração com políticas ambientais eficazes, capazes de promover um desenvolvimento verdadeiramente sustentável e equitativo nos municípios amazônicos.

De forma complementar, foi gerada a matriz de correlação considerando todos os anos por corredor de transportes. A Figura 41 apresenta a matriz de correlação para os municípios pertencentes ao corredor hidroviário, considerando o período de 1990 a 2021. Os coeficientes de Spearman evidenciam importantes relações estruturais entre os indicadores socioeconômicos, ambientais e de infraestrutura dessa região. Destaca-se inicialmente a forte correlação entre população e PIB ($\rho = 0,84$), sinalizando que o crescimento econômico agregado desses municípios está fortemente associado ao contingente populacional. O mesmo padrão é observado entre densidade populacional e área urbanizada ($\rho = 0,71$), confirmando a tendência de adensamento em centros urbanos regionais, ainda que em geral pouco urbanizados em termos absolutos. Há também correlação moderada entre o PIB e a área urbanizada ($\rho = 0,48$), o que indica que os municípios economicamente mais ativos tendem a apresentar maior extensão de áreas urbanas.

Figura 41: Matriz de correlação com os dados do corredor hidroviário



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do software RStudio, 2025.

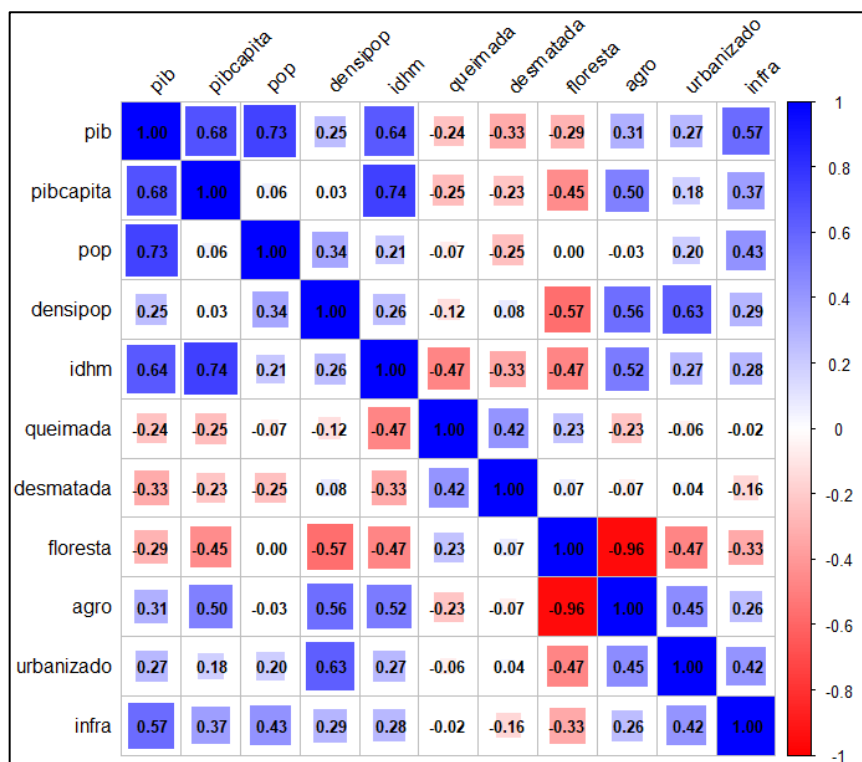
No campo ambiental, a matriz revela uma forte correlação negativa entre floresta e agropecuária ($\rho = -0.58$), sugerindo que a expansão da atividade agropecuária na região ocorre predominantemente pela conversão de áreas florestais. Essa relação é reforçada por correlações negativas entre floresta e urbanização (-0.45) e floresta e densidade populacional (-0.66), ainda que essas sejam de magnitude de moderado para forte. De forma interessante, as correlações de queimadas com outras variáveis são em geral fracas ou nulas, com valores próximos de zero, como no caso de sua relação com o PIB ($\rho = -0.01$), IDHM ($\rho = 0.09$) e população ($\rho = 0.15$), o que sugere que os eventos de queimadas nesta região possuem caráter pontual, não diretamente vinculados a dinâmicas socioeconômicas mais amplas.

Outro destaque é a correlação significativa entre infraestrutura de transportes e população ($\rho = 0.66$), bem como sua relação com o PIB ($\rho = 0.62$) e com a área urbanizada ($\rho = 0.47$), evidenciando que a presença de modos fluviais, rodoviários ou aéreos tende a se concentrar justamente nos municípios com maior dinamismo populacional e econômico. Já o IDHM apresenta correlações moderadas com PIB per capita ($\rho = 0.58$), área agropecuária ($\rho = 0.33$) e infraestrutura de transportes ($\rho = 0.24$), indicando que o desenvolvimento humano nesta região está condicionado não apenas à renda, mas também à estrutura logística e à ocupação do território. Esses achados indicam que, mesmo com particularidades ambientais e limitações estruturais, os municípios do corredor hidroviário mantêm padrões de associação entre

variáveis semelhantes àqueles observados em contextos urbanos mais densos, ainda que com menor intensidade e com forte influência da dinâmica territorial florestal.

A Figura 42 apresenta a matriz de correlação para os municípios localizados no corredor rodoviário Cuiabá-Santarém, considerando dados agregados de 1990 a 2021. Os resultados revelam relações intensas entre determinadas variáveis, evidenciando aspectos característicos da dinâmica territorial rodoviária. A correlação mais forte e negativa observada na matriz ocorre entre a cobertura florestal e a área agropecuária ($\rho = -0,96$), indicando um processo sistemático de substituição da vegetação nativa por usos agropecuários. Essa relação é intensificada pela correlação negativa também elevada entre floresta e densidade populacional ($\rho = -0,57$), sugerindo que o adensamento populacional nesta região está associado à redução da cobertura vegetal.

Figura 42: Matriz de correlação com os dados do corredor rodoviário



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do software RStudio, 2025.

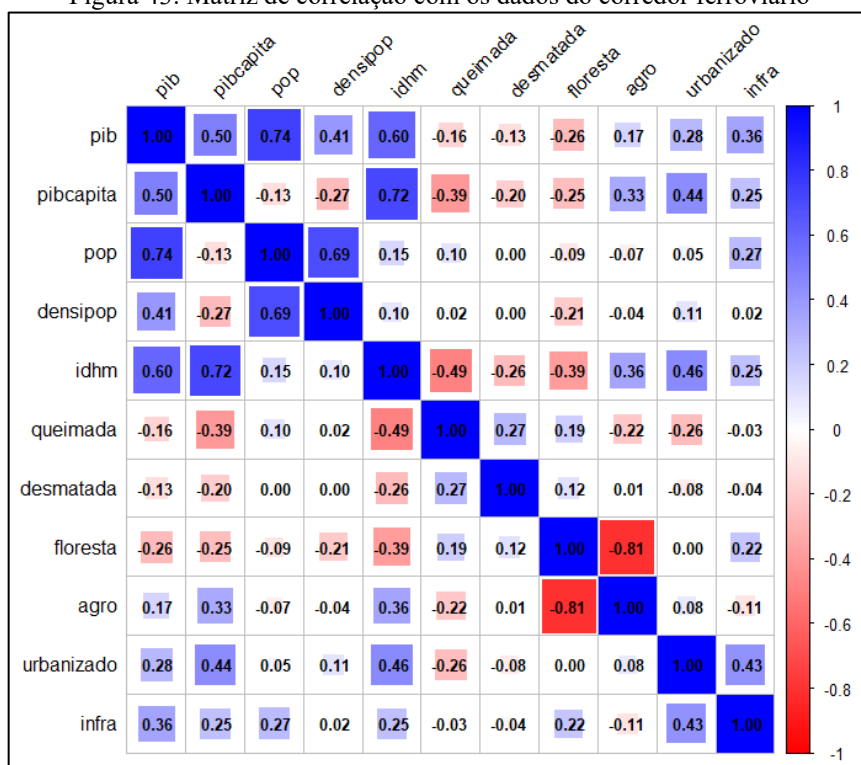
Entre as correlações positivas mais expressivas, destaca-se o forte vínculo entre o PIB e o PIB per capita ($\rho = 0,68$), e entre PIB per capita e IDHM ($\rho = 0,74$), refletindo que os municípios economicamente mais desenvolvidos também tendem a apresentar maior qualidade de vida. Essa tendência se confirma com a correlação entre PIB per capita e IDHM ($\rho = 0,74$), uma das mais altas da matriz, sugerindo que o fator renda é um dos principais fatores associados ao desenvolvimento humano no corredor rodoviário. Há também forte correlação entre área agropecuária e densidade populacional ($\rho = 0,56$), o que pode indicar uma sobreposição entre

expansão agrícola e ocupação demográfica, com municípios mais produtivos sendo também mais povoados.

No plano ambiental, a variável “área queimada” apresenta correlações negativas com PIB ($\rho = -0,24$), PIB per capita ($\rho = -0,25$) e IDHM ($\rho = -0,47$), sugerindo que municípios com menor desenvolvimento socioeconômico concentram maior ocorrência de queimadas, o que pode estar relacionado à adoção de práticas menos sustentáveis ou ausência de regulação e fiscalização ambiental eficaz. Por fim, observa-se uma correlação moderada e positiva entre área urbanizada e densidade populacional ($\rho = 0,63$), além de correlação entre área urbanizada e infraestrutura ($\rho = 0,42$), revelando que os espaços urbanos mais consolidados são também aqueles com maior concentração populacional e melhores infraestruturas de transportes. Essa relação já foi documentada na literatura sobre desenvolvimento regional, que enfatiza o papel das infraestruturas de transporte na dinamização econômica e na melhoria do acesso a serviços essenciais (Banister & Berechman, 2001; Rodrígue, 2020).

A matriz de correlação referente ao corredor ferroviário (Figura 43), considerando dados agregados de 1990 a 2021, revela padrões distintos em relação aos demais corredores analisados. Em primeiro plano, destaca-se a forte correlação positiva entre PIB e população ($\rho = 0,74$), indicando que a atividade econômica segue concentrada nos municípios mais populosos ao longo das ferrovias Norte-Sul e Carajás. Também merece atenção, a correlação elevada entre PIB e PIB per capita ($\rho = 0,50$), assim como entre PIB e IDHM ($\rho = 0,60$), demonstrando que o dinamismo econômico regional contribui diretamente para a melhora nos indicadores de renda e qualidade de vida.

Figura 43: Matriz de correlação com os dados do corredor ferroviário



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

Ainda em destaque no campo socioeconômico, observa-se uma correlação forte entre PIB per capita e IDHM ($\rho = 0,72$), a mais elevada da matriz, indicando que a renda média individual é um dos principais determinantes do desenvolvimento nos municípios ferroviários. Essa relação é reforçada pela correlação entre PIB per capita e área urbanizada ($\rho = 0,44$), sugerindo que municípios com maior nível de urbanização também tendem a ter melhores condições socioeconômicas. Além disso, a variável densidade populacional apresenta associação positiva com a população ($\rho = 0,69$), como esperado, e com PIB ($\rho = 0,41$), demonstrando a convergência entre concentração populacional e capacidade produtiva ao longo do eixo ferroviário.

Do ponto de vista ambiental, uma das relações mais expressivas é a correlação negativa entre cobertura florestal e área agropecuária ($\rho = -0,81$), confirmando que, também neste corredor, a expansão agrícola tem ocorrido à custa da supressão de vegetação nativa. Adicionalmente, observa-se correlação negativa entre IDHM e área queimada ($\rho = -0,49$), sugerindo que municípios com menores níveis de desenvolvimento humano estão mais sujeitos à ocorrência de queimadas. A correlação entre floresta e PIB per capita ($\rho = -0,25$) e entre floresta e IDHM ($\rho = -0,39$) também revelam um padrão preocupante, em que ganhos econômicos e sociais se associam à perda de cobertura florestal. Essas associações reforçam a

necessidade de estratégias sustentáveis de uso do solo, especialmente em regiões atravessadas por grandes obras de infraestrutura de transportes.

Após os testes preliminares, optou-se pela exclusão da variável “percentual de área queimada” para as análises posteriores considerando a ACP. Tal decisão fundamenta-se na constatação de que essa variável apresentou coeficientes de correlação sistematicamente baixos ($r < |0,30|$) nas diversas análises, quando comparada às demais variáveis do conjunto, sugerindo fraca interdependência estatística. Conforme apontam Hair *et al.* (2009) e Fávero; Belfiore (2017), variáveis com baixa correlação com o conjunto tendem a não contribuir de forma significativa para a estrutura dos componentes extraídos, podendo inclusive reduzir a qualidade da solução fatorial. Além disso, a manutenção de outras variáveis ambientais (como “percentual de área desmatada”, “percentual de área de floresta” e “percentual de área de agropecuária”) garante a representação da dimensão ambiental na análise, sem prejuízo da coerência teórica nem da robustez estatística do modelo.

A partir dos resultados apresentados, os dados são consistentes para a aplicação da ACP. Conforme mencionado, é necessário verificar o atendimento aos pressupostos estatísticos exigidos para essa técnica, de modo a assegurar a validade e a robustez das interpretações. Assim, foram aplicados testes de esfericidade, adequação amostral, identificação de *outliers* e verificação de multicolinearidade. Essas etapas são fundamentais, pois a ACP é sensível a características específicas dos dados, como a distribuição das variáveis e a intensidade das correlações. O Quadro 14 a seguir apresenta um resumo organizado dos testes realizados, seus valores de referência, resultados obtidos e a interpretação para cada caso, permitindo visualizar de forma sintética a adequação do banco de dados para a aplicação da técnica multivariada proposta.

Quadro 14: Resumo dos testes dos pressupostos para Análise de Componentes Principais

Pressupostos para ACP	Valores de referência	Resultados	Interpretação
Teste de Esfericidade de Bartlett	p-valor < 0,05	p-valor < 0,05	Correlações significativas entre variáveis
Teste de Kaiser-Meyer-Olkin KMO	Quanto mais próximo de 1 melhor	Valores globais entre 0,56 e 0,58; variáveis entre 0,37 e 0,86	Amostra adequada para ACP, com ressalva no PIB per capita
Verificação de <i>outliers</i> - Distância de Mahalanobis	-	19 Municípios em 1990 18 Municípios em 2000 14 Municípios em 2010 15 Municípios em 2021	Existência de <i>outliers</i> em menos de 10% dos municípios. Decisão de manutenção
Determinante da matriz de correlação	Det > 0,00001	Entre 0,000133709 e 0,001658598	Ausência de multicolinearidade severa
Correlação de Spearman	$r > 0,30 $	A maior parte das variáveis apresentam correlação com $r > 0,30 $	Exclusão da variável “Percentual de área queimada”

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

5.3. Análise de Componentes Principais (ACP)

A ACP foi empregada com o objetivo de reduzir a dimensionalidade do conjunto de variáveis e sintetizar, de forma estatisticamente robusta, as múltiplas dimensões do desenvolvimento dos municípios analisados. Conforme detalhado no Capítulo 4, trata-se de uma técnica multivariada que permite transformar um conjunto de variáveis possivelmente correlacionadas em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas entre si, denominadas componentes principais (Hair *et al.*, 2009; Jolliffe; Cadima, 2016; Figueiredo Filho *et al.*, 2016; Fávero; Belfiore, 2017).

Cada componente representa uma combinação linear das variáveis originais e é extraído de forma a maximizar a variância explicada. A utilização da ACP neste estudo está fundamentada na busca por um índice sintético - o ISMAM - que integre as dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável, respeitando a estrutura estatística dos dados e assegurando comparabilidade espacial e temporal.

Devido à extensão temporal da base de dados utilizada, que abrange anualmente o período de 1990 a 2021, optou-se por organizar a apresentação dos resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) e do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM) por década. Embora a ACP tenha sido realizada de forma integrada, considerando todas as observações do período em um único modelo, essa abordagem foi adotada com o intuito de preservar a comparabilidade estatística dos escores ao longo do tempo, assegurando uma base comum de interpretação. No entanto, para fins de clareza analítica e visual, os resultados serão discutidos a partir das classificações decenais (1990, 2000, 2010 e 2021), permitindo evidenciar a evolução espacial e temporal da sustentabilidade, com base no ISMAM, nos municípios estudados de maneira mais sintética e acessível.

5.3.1. Autovalor das Componentes Principais

A identificação dos componentes mais relevantes na Análise de Componentes Principais (ACP) depende diretamente da análise dos autovalores associados a cada dimensão extraída. O autovalor representa a quantidade de variância explicada por cada componente, sendo essencial para definir quantos componentes devem ser mantidos na interpretação do modelo. Neste estudo, os autovalores foram obtidos a partir da aplicação da ACP sobre o banco de dados completo, que contempla os anos de 1990 a 2021, de modo a garantir uma estrutura fatorial estável e coerente ao longo das décadas. As componentes principais geradas pela ACP foram nomeadas de CP1 a CP10, representando, respectivamente, as dez dimensões extraídas com base nas dez variáveis originais padronizadas do banco de dados. A Tabela 5 apresenta os

valores dos autovalores, a variância explicada individualmente por cada componente e a variância acumulada, permitindo visualizar a importância relativa de cada uma na estrutura total da variância.

Tabela 5: Valores da matriz de cargas fatoriais

Componentes	Autovalor	% variância	% acumulado
CP1	3,290179264	32,90179264	32,90179264
CP2	2,194714411	21,94714411	54,84893675
CP3	1,293666678	12,93666678	67,78560353
CP4	0,969124412	9,691244117	77,47684764
CP5	0,784246552	7,842465523	85,31931317
CP6	0,665623243	6,656232428	91,97554559
CP7	0,539571889	5,395718886	97,37126448
CP8	0,159926834	1,599268335	98,97053281
CP9	0,061553882	0,615538822	99,58607164
CP10	0,041392836	0,413928363	100

Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Observa-se que os três primeiros componentes principais (CP1, CP2 e CP3) concentram, respectivamente, 32,90%, 21,95% e 12,94% da variância total dos dados, totalizando cerca de 67,79% de explicação cumulativa. Esse resultado justifica a escolha de três componentes para a construção do ISMAM, conforme sugerido na literatura, que recomenda a retenção de componentes com autovalores superiores a 1 (critério de Kaiser) e que juntos expliquem pelo menos 60% da variância total (Hair *et al.*, 2009). As demais componentes apresentam variâncias individualmente menores, sendo, portanto, de menor relevância explicativa para os propósitos do índice composto.

A partir dessa estrutura, torna-se possível interpretar cada componente com base em suas respectivas cargas fatoriais, que serão analisadas no próximo tópico. A manutenção apenas dos três primeiros componentes contribui para a redução da dimensionalidade do conjunto de dados sem perda significativa de informação, ao mesmo tempo em que preserva a capacidade de síntese e análise multivariada. Essa abordagem garante robustez estatística ao ISMAM, além de facilitar a interpretação dos eixos estruturantes da sustentabilidade municipal ao longo do tempo.

5.3.2. Comunalidades de Cada Variável

Assim como o padrão de correlação, é fundamental analisar as comunalidades de cada variável. Conforme mencionado, os valores elevados indicam que a variável é bem representada pelos componentes extraídos, enquanto valores baixos sugerem uma explicação insuficiente pelo modelo, podendo justificar sua remoção ou reconsideração (Hair *et al.*, 2009). Para assegurar que a maior parte da variância da variável seja capturada pelos componentes

principais selecionados, recomenda-se que as comunalidades sejam superiores a 0,5 (Field, 2013). Na Tabela 6 apresentam-se os valores de comunalidade das variáveis.

Tabela 6: Valores de comunalidade	
Variáveis	Comunalidade
PIB	0.7433740
PIB per capita	0.5313458
População	0.8170417
Densidade populacional	0.8373114
Percentual área desmatada	0.3629480
Percentual área agropecuária	0.8583199
Percentual área de floresta	0.8168203
Infraestrutura de transportes	0.4004656
IDHM	0.5835017
Percentual área urbanizada	0.8274318

Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

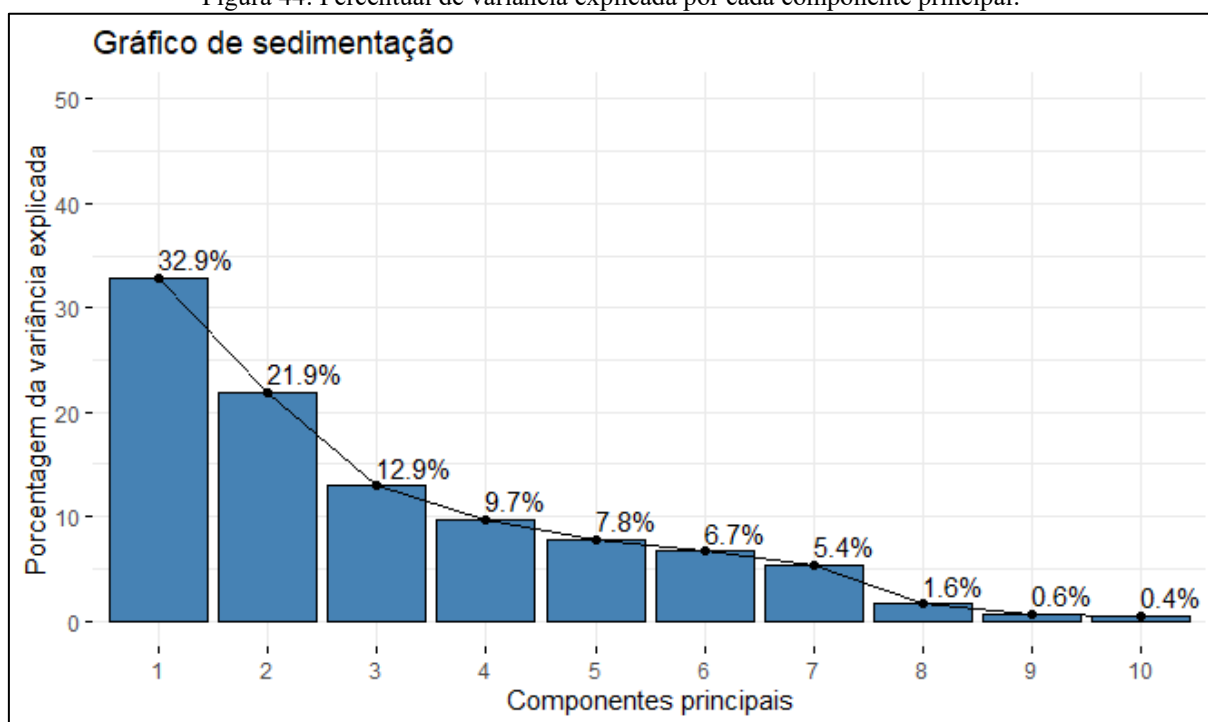
A análise dos valores de comunalidade, permite avaliar o grau de representatividade de cada variável original em relação à estrutura fatorial sintetizada pelos três primeiros componentes principais (CP1, CP2 e CP3). De modo geral, observa-se que a maior parte das variáveis apresenta comunalidades superiores a 0,50, indicando que mais de 50% da variância dessas variáveis é explicada pelos componentes retidos - critério amplamente aceito como satisfatório para análises de componentes principais (Hair *et al.*, 2009).

As variáveis com maior representatividade foram área urbanizada (0,827), densidade populacional (0,837), área agropecuária (0,858), população (0,817) e a cobertura florestal (0,816), todas com comunalidades superiores a 0,80. Esses resultados indicam que essas variáveis têm forte aderência à estrutura latente capturada pelos componentes, e refletem dimensões centrais para a compreensão do desenvolvimento municipal no contexto amazônico: adensamento urbano, expansão territorial da agropecuária e concentração populacional. O PIB (0,743) e IDHM (0,583) também apresentaram bons níveis de explicação, consolidando-se como variáveis robustas na composição do índice.

Por outro lado, duas variáveis merecem atenção específica. A variável “infraestrutura de transportes” apresentou comunalidade moderada (0,400), indicando que cerca de 40% de sua variância foi explicada pelos componentes extraídos. Ainda que inferior ao desejável, o valor é considerado aceitável, principalmente por sua importância teórica para a lógica territorial dos corredores de transporte, o que justifica sua permanência no modelo. Já a variável “percentual de área desmatada” apresentou a menor comunalidade (0,263), evidenciando baixa capacidade de explicação pelos componentes retidos. Apesar disso, optou-se por sua manutenção na análise por seu papel central na dimensão ambiental e sua relevância empírica no contexto amazônico, o que reforça a importância de equilibrar critérios estatísticos e fundamentos teóricos na seleção de variáveis.

O gráfico de sedimentação (*scree plot*) (Figura 44) apresentado a seguir resume a variância explicada por cada componente principal extraído a partir da ACP. Conforme mencionado, nota-se que os três primeiros componentes concentram a maior parte da variância total dos dados, totalizando 67,7% de explicação conjunta. Esse valor se encontra dentro dos valores aceitáveis para análises exploratórias envolvendo aspectos sociais, econômicos e ambientais, onde a variabilidade dos fenômenos estudados costuma ser elevada (Jolliffe, 2016). Assim, o valor é considerado satisfatório para análises multivariadas, especialmente em contextos que envolvem fenômenos heterogêneos complexos, como no caso dos municípios atravessados pelos corredores de transportes da Amazônia Legal.

Figura 44: Percentual de variância explicada por cada componente principal.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* RStudio, 2025.

Nota-se que a partir do quarto componente, as contribuições adicionais da variância tornam-se marginalmente menores e progressivamente menos significativas, apresentando uma inflexão nítida na curva - critério visual que reforça a adequação da retenção de três componentes (Jolliffe, 2002). A seleção desses componentes, portanto, assegura equilíbrio entre parcimônia e poder explicativo, servindo de base para o cálculo do ISMAM e sua posterior análise espacial e temporal.

5.3.3. Matriz de Componentes (ou Cargas Fatoriais)

A interpretação dos componentes foi realizada com base nas cargas fatoriais associadas a cada variável original (Tabela 7). O primeiro componente (CP1) apresentou cargas elevadas para variáveis como população, PIB e área urbanizada, refletindo predominantemente a dimensão econômica e urbana. O segundo componente (CP2) concentrou maior influência do IDHM e da densidade populacional, caracterizando a dimensão social. Já o terceiro componente (CP3) destacou-se pelas cargas positivas associadas às variáveis ambientais, como cobertura florestal e percentual de área agropecuária (com sinais opostos), o que permite sua interpretação como um eixo de sustentabilidade ambiental. A separação dos componentes reforça a validade da abordagem multivariada e justifica sua utilização na construção de um índice composto.

Tabela 7: Valores da matriz de cargas fatoriais

Variáveis	Dim.1	Dim.2	Dim.3
PIB	0.751	-0.316	0.283
PIB per capita	0.319	0.272	0.596
População	0.810	-0.389	0.097
Densidade populacional	0.749	-0.265	-0.454
Percentual área desmatada	0.006	0.336	-0.500
Percentual área agropecuária	0.264	0.881	-0.114
Percentual área de floresta	-0.317	-0.829	0.170
Infraestrutura de transportes	0.606	0.134	0.124
IDHM	0.484	0.426	0.409
Percentual área urbanizada	0.797	-0.152	-0.410

Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A interpretação da matriz de cargas fatoriais obtida a partir da Análise de Componentes Principais (ACP) permite identificar as dimensões latentes que sintetizam os principais padrões de variação entre os municípios analisados ao longo do período de 1990 a 2021. O primeiro componente principal (Dim.1) é fortemente associado a variáveis como população (0,810), área urbanizada (0,797), densidade populacional (0,749) e PIB (0,751), além da infraestrutura de transportes (0,606). Tais correlações indicam que esse componente reflete predominantemente a influência da dimensão econômica-urbana, caracterizada pela concentração populacional, presença de infraestrutura, urbanização e atividade econômica expressiva. A magnitude dessas cargas reforça o papel central desse componente da sustentabilidade na diferenciação dos municípios mais integrados e densamente ocupados.

O segundo componente (Dim.2) apresentou cargas elevadas para o percentual de área agropecuária (0,881), IDHM (0,426), PIB per capita (0,272) e percentual de área desmatada (0,336), formando uma dimensão que valoriza mais aspectos sociais e produtivos. A carga positiva do IDHM e do PIB per capita sugere que esse componente está associado a municípios com melhores condições sociais e maior renda média. Simultaneamente, a forte correlação com

o uso agropecuário do solo revela uma lógica territorial vinculada à produção rural e à transformação da paisagem. Portanto, esse componente pode ser interpretado como um eixo socioeconômico associado ao uso da terra, onde a expansão agropecuária está, em parte, conectada ao desenvolvimento humano em determinadas regiões.

O terceiro componente (Dim.3), por sua vez, estrutura-se como um eixo de contraste ambiental, tendo como destaque a carga positiva do PIB per capita (0,596) e do IDHM (0,409), mas sobretudo os sinais opostos nas variáveis ambientais: cobertura florestal (-0,829), área desmatada (-0,500) e densidade populacional (-0,454). A carga negativa extremamente elevada da variável florestal revela que este componente diferencia os municípios com maior preservação ambiental daqueles mais intensamente desmatados e ocupados. Esse padrão reforça a ideia de uma dimensão da sustentabilidade, em que os municípios com maior cobertura florestal tendem a se afastar dos polos de desenvolvimento produtivo e urbano. A presença de sinais opostos entre as variáveis ambientais mostra um eixo de desequilíbrio territorial, fundamental para a construção do ISMAM.

De forma geral, a separação clara entre os três primeiros componentes - econômico-urbano, socioambiental-produtivo e ambiental - reforça a validade estatística da ACP aplicada. Além disso, a interpretação conjunta das cargas fatoriais sustenta a coerência teórica da metodologia, ao permitir a construção de um índice sintético (ISMAM) baseado em eixos distintos, porém complementares, de desenvolvimento. A robustez das cargas e a ausência de correlações ambíguas ou fracas nos componentes principais reforçam a qualidade do modelo adotado, assegurando que o índice reflita de maneira equilibrada e interpretável as condições econômicas, sociais e ambientais dos municípios amazônicos inseridos nos corredores de transporte analisados.

5.4. Apresentação do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM)

A partir da combinação ponderada dos três primeiros componentes principais extraídos na ACP, foi construído o ISMAM, cujo objetivo é mensurar, de forma integrada, os níveis de sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos municípios localizados ao longo dos principais corredores de transporte da região. O ISMAM considera simultaneamente as dimensões econômica, social e ambiental, permitindo uma visão sistêmica do território analisado. A estrutura conceitual do índice é respaldada pelas cargas fatoriais observadas na ACP, as quais evidenciam a contribuição específica de cada variável para os componentes principais, garantindo consistência teórica e estatística à composição final.

Com o objetivo de aprimorar a leitura analítica dos dados e representar com maior acurácia os distintos níveis de sustentabilidade municipal, os escores do ISMAM foram organizados em cinco categorias qualitativas: Muito baixo, Baixo, Intermediário, Alto e Muito alto. Essa classificação foi construída com base no método estatístico de Quebras Naturais de Jenks, amplamente utilizado em análises territoriais por sua capacidade de identificar agrupamentos naturais nos dados e reduzir a variabilidade intraclasse. A adoção dessa tipologia expandida favoreceu uma distribuição mais equilibrada das categorias, ampliando a capacidade discriminativa da análise e revelando, com maior nitidez, as desigualdades territoriais em termos de sustentabilidade ao longo do tempo e dos diferentes corredores de transporte.

O Quadro 15 apresenta os critérios estatísticos adotados para cada faixa de classificação, com os respectivos intervalos aplicados aos valores normalizados do ISMAM (variando entre 0 e 1). Observa-se que a categoria “Muito baixo” concentra os municípios com maior grau de vulnerabilidade socioambiental e econômica, enquanto a categoria “Muito alto” reúne aqueles com desempenho mais integrado nas dimensões econômica, social e ambiental. Essa estratificação viabiliza a produção de cartografias temáticas mais precisas e comparáveis, utilizadas nas seções seguintes para examinar os avanços, estagnações e retrocessos observados no desenvolvimento sustentável da região amazônica. A análise dos mapas permite não apenas identificar os municípios que se destacam positivamente ou negativamente ao longo do tempo, mas também refletir sobre os efeitos territoriais dos diferentes modelos de desenvolvimento associados aos corredores de transporte da Amazônia.

Quadro 15 - Critérios de classificação dos municípios segundo o ISMAM

Classificação ISMAM	Critério estatístico	Características
Muito alto	$\text{ISMAM} \geq 0,800$	Municípios com os maiores valores de ISMAM, indicando alto desempenho integrado de sustentabilidade.
Alto	$0,600 \leq \text{ISMAM} < 0,800$	Municípios com bom desempenho nas três dimensões analisadas.
Intermediário	$0,375 \leq \text{ISMAM} < 0,600$	Desempenho médio, com equilíbrio moderado entre os aspectos socioeconômicos e ambientais.
Baixo	$0,150 \leq \text{ISMAM} < 0,375$	Desempenho inferior, com indícios de desequilíbrios.
Muito baixo	$\text{ISMAM} < 0,150$	Valores mais baixos de ISMAM, revelando maior vulnerabilidade multidimensional e certo grau de insustentabilidade.

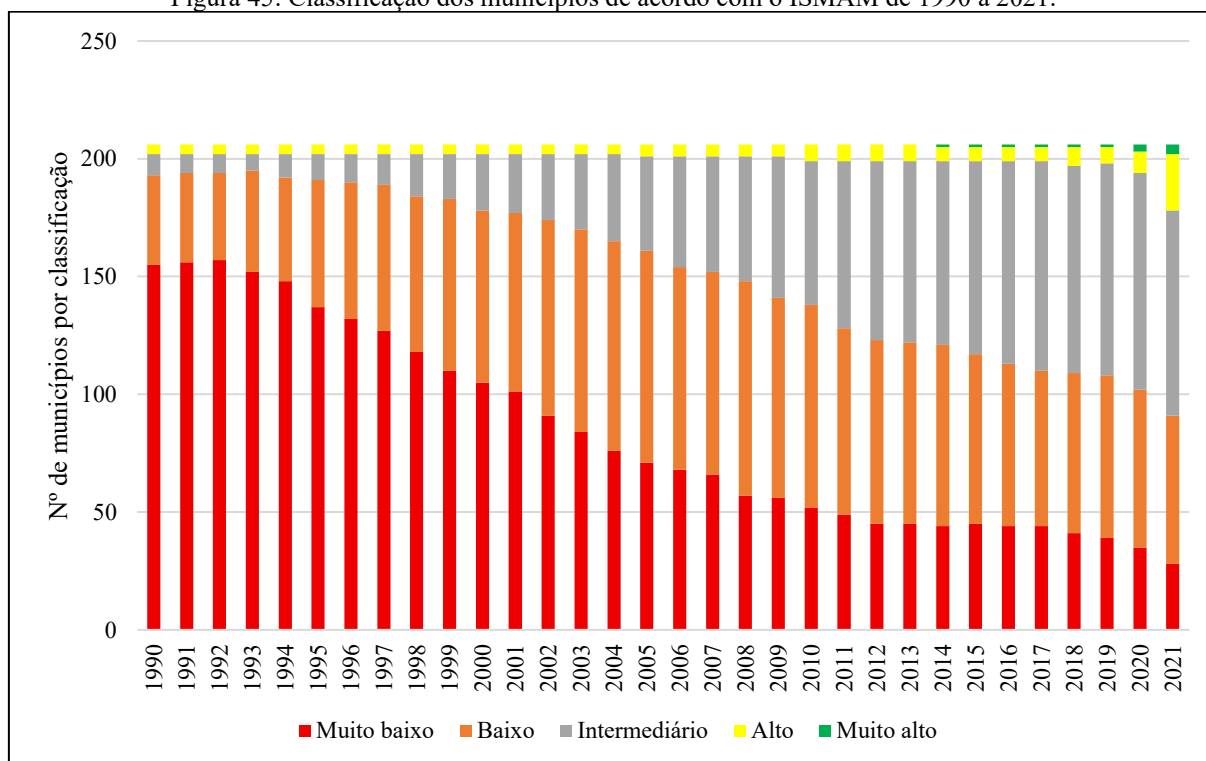
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

As seções seguintes discutem, com base em gráficos e nas cartografias, os principais resultados observados, destacando as regiões com maior dinamismo, os focos de pressão socioambiental e os desafios persistentes para a promoção de um desenvolvimento regional sustentável.

5.4.1. Análise temporal da distribuição do ISMAM nos corredores de transportes

A Figura 45 apresenta o número de municípios classificados nas cinco categorias do ISMAM, considerando os anos de 1990 a 2021. Essa apresentação inicial permite uma leitura comparativa da evolução dos níveis de sustentabilidade ao longo das três décadas, oferecendo um panorama geral antes da análise cartográfica por década.

Figura 45: Classificação dos municípios de acordo com o ISMAM de 1990 a 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A evolução temporal da classificação dos municípios segundo o ISMAM entre 1990 e 2021 evidencia transformações graduais nos níveis relativos de sustentabilidade municipal na Amazônia brasileira. Em 1990, nota-se uma forte concentração de municípios nas categorias “Muito baixo” e “Baixo”, que somavam 193 municípios - o equivalente a aproximadamente 93% do total analisado. Esse cenário inicial revela um quadro de ampla vulnerabilidade socioambiental e baixo desempenho integrado nas dimensões econômica, social e ambiental, refletindo as desigualdades históricas e os limites estruturais enfrentados por grande parte dos municípios da região Amazônica. Em contraste, naquele ano, apenas quatro municípios foram classificados como “Alto” (Manaus-AM, Cuiabá-MT, Rondonópolis-MT, São Luís-MA), e nenhum atingiu a classificação de “Muito alto”, demonstrando que, naquele momento, a sustentabilidade era um fenômeno isolado e restrito a poucos territórios.

Ao longo das décadas seguintes, observa-se uma redistribuição progressiva nas categorias, especialmente com a redução da faixa “Muito baixo”, que caiu de 155 municípios

em 1990 para 105 em 2000. A partir desse período, a categoria “Intermediário” começa a se destacar, sinalizando um deslocamento de parte dos municípios para patamares medianos. Essa mudança pode estar relacionada à ampliação de políticas públicas sociais, investimentos em infraestrutura e marcos institucionais implementados nos anos 2000, que produziram impactos localizados, porém significativos. No recorte mais recente, entre 2010 e 2021, as categorias “Baixo” e “Intermediário” consolidam-se como predominantes, enquanto os avanços para as faixas superiores seguem tímidos.

Em 2021, havia apenas 4 municípios classificados como “Muito alto”, 24 como “Alto”, 87 como “Intermediário”, 63 como “Baixo” e 28 ainda permaneciam na condição de “Muito baixo”. Esse comportamento indica que, embora haja um deslocamento geral para níveis menos críticos, a ascensão para altos padrões de sustentabilidade segue restrita. Dessa forma, o gráfico da distribuição do ISMAM nos três corredores de transportes revela que boa parte dos municípios progrediu apenas para faixas intermediárias, mantendo desafios estruturais persistentes. A leitura integrada dessa trajetória permite compreender com maior profundidade a evolução desigual da sustentabilidade nos municípios amazônicos, cujos desdobramentos por década e por corredor de transporte são analisados nas seções seguintes.

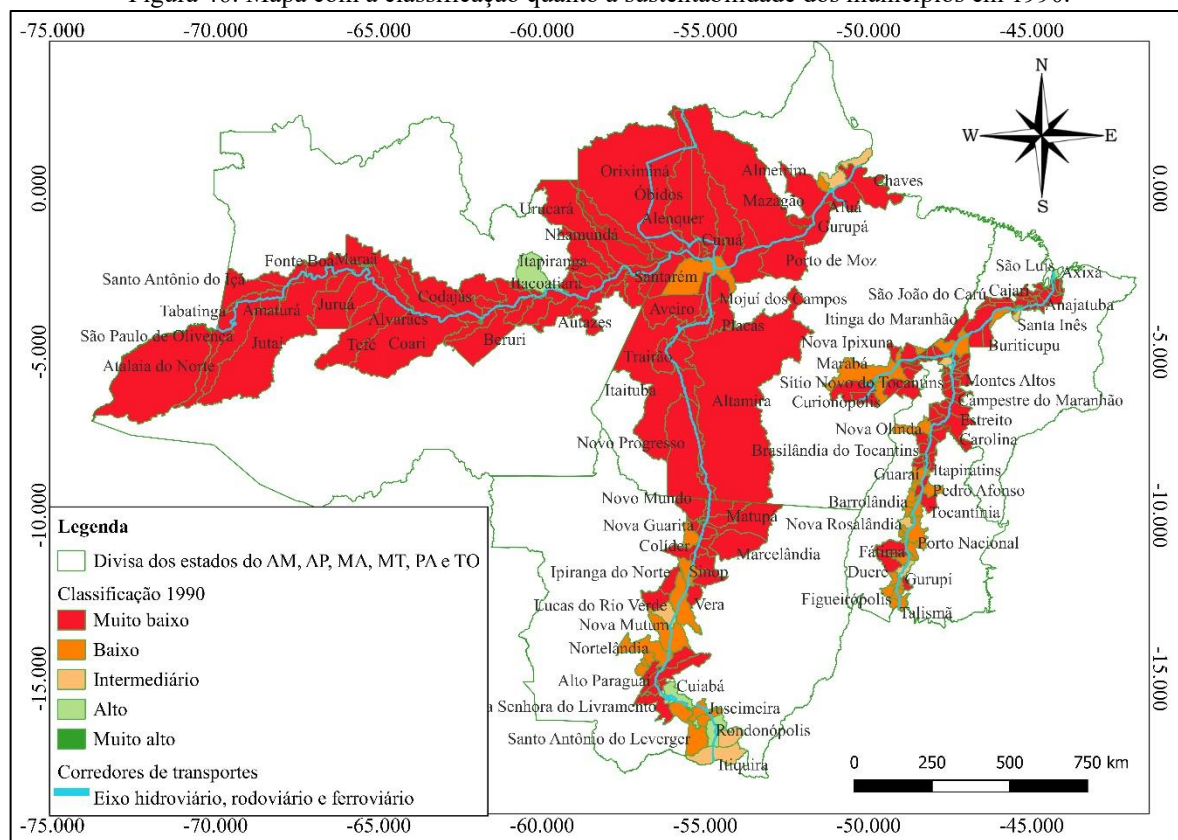
5.4.2. Distribuição do ISMAM em 1990

A espacialização do ISMAM para o ano de 1990 evidencia um cenário inicial marcado por elevada vulnerabilidade socioambiental nos municípios situados ao longo dos corredores de transporte analisados (Figura 46). A predominância das classificações “Muito baixo” e “Baixo” indica um contexto de desequilíbrio nos pilares do desenvolvimento sustentável - econômico, social e ambiental - refletindo as fragilidades estruturais que caracterizavam a região naquele período. A categoria “Muito baixo” apresenta ampla distribuição nos três corredores estudados, com destaque para municípios como Atalaia do Norte, São Paulo de Olivença, Jutai e Amaturá, localizados ao longo do corredor hidroviário Solimões-Amazonas. Essas localidades enfrentavam severas limitações em infraestrutura, baixa integração territorial e acesso restrito a serviços públicos essenciais, fatores que contribuíram diretamente para seus baixos escores no índice.

De acordo com Amaral et al. (2022), mesmo em décadas mais recentes, municípios periféricos ou afastados da calha principal do Rio Amazonas seguem enfrentando entraves significativos para a implementação de políticas públicas efetivas, evidenciando a permanência de desigualdades territoriais historicamente construídas. Nesse sentido, os resultados de 1990 não apenas expressam as condições daquele momento, mas também revelam a herança de um

modelo de ocupação excludente e centralizado, cujos efeitos ainda moldam a trajetória de desenvolvimento sustentável de amplas parcelas da Amazônia brasileira.

Figura 46: Mapa com a classificação quanto a sustentabilidade dos municípios em 1990.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* QGIS, utilizando dados da pesquisa e a base cartográfica do IBGE (2023), 2025.

A análise dos diferentes corredores de transporte revela padrões distintos. Os corredores hidroviários, que historicamente desempenham um papel importante no escoamento de produtos e na mobilidade das populações ribeirinhas, tendem a apresentar menor equilíbrio entre os indicadores sociais, ambientais e econômicos, apesar da presença de maiores áreas florestais, com picos de mais de 99% de preservação em 2021 nos municípios de Atalaia do Norte-AM, Benjamin Constant-AM, Jutai-AM e Faro-PA.

Os resultados de 1990 sugerem que a sustentabilidade dos municípios amazônicos ao longo dos corredores de transporte depende diretamente de políticas públicas eficazes que conciliem crescimento econômico, bem-estar social e conservação ambiental. Estratégias como o fortalecimento da governança ambiental, o incentivo a cadeias produtivas sustentáveis e a fiscalização do uso do solo podem contribuir para reverter os padrões de vulnerabilidade observados nas últimas décadas (Nepstad *et al.*, 2014; Nobre *et al.*, 2023). Diante da crescente pressão por novas infraestruturas de transporte na Amazônia, torna-se importante integrar o planejamento territorial à gestão ambiental, garantindo que o desenvolvimento regional não

ocorra à custa da degradação dos ecossistemas e da perda de qualidade de vida das populações locais.

No corredor hidroviário, apenas Manaus (AM) foi classificada em relação aos demais municípios como “Alto” em 1990, enquanto Macapá (AP) foi categorizada com o nível de sustentabilidade “Intermediário”. Esses municípios representam os principais centros urbanos da região norte, refletindo a complexidade de sua formação histórica e seu papel estratégico no desenvolvimento regional, especialmente por serem capitais estaduais. Em contraste, os demais municípios do corredor hidroviário apresentam vastas áreas de floresta preservada, mas sofrem com baixa integração entre diferentes modos de transporte, além de indicadores socioeconômicos significativamente inferiores, como baixos valores de IDHM e de PIB per capita.

Essa desigualdade evidencia um desequilíbrio no tripé da sustentabilidade econômica, social e ambiental, onde a conservação ambiental não tem sido acompanhada por políticas que promovam melhorias na qualidade de vida e na infraestrutura local. Borges *et al.* (2025) demonstram que, à medida que se avança no território amazônico no sentido Leste-Oeste, há uma redução nos índices de desenvolvimento social e econômico. Esse padrão confirma que os municípios do corredor hidroviário apresentam desafios estruturais que limitam seu desenvolvimento sustentável, reforçando a necessidade de políticas públicas que articulem melhorias na conservação ambiental com estratégias de crescimento econômico e inclusão social.

Assim, observa-se que, entre os três corredores de transporte analisados, os eixos hidroviário e ferroviário apresentavam os menores níveis de sustentabilidade em 1990, com forte concentração de municípios nas categorias “Muito baixo” e “Baixo”. Esse padrão reflete o isolamento físico e a escassez de investimentos estruturantes historicamente direcionados a essas regiões, especialmente no que se refere à oferta de serviços básicos e à integração territorial. O corredor rodoviário Cuiabá–Santarém, embora compartilhe características de vulnerabilidade semelhantes, apresenta uma configuração ligeiramente mais equilibrada, com seis municípios classificados nas faixas “Intermediário” e “Alto”. Essa distribuição sugere a existência de núcleos urbanos com desempenho mais consistente nos indicadores analisados, mesmo diante de desigualdades internas ao corredor. Destacam-se positivamente municípios como Cuiabá, Rondonópolis, Várzea Grande e Lucas do Rio Verde, cujos níveis de urbanização, infraestrutura e dinamismo econômico já despontavam como superiores em relação ao conjunto da amostra.

No corredor ferroviário, por sua vez, a distribuição da sustentabilidade municipal revela-se mais concentrada nas faixas inferiores, com destaque para municípios como Carolina, Vitória do Mearim, Eldorado do Carajás e Parauapebas, todos classificados como “Muito baixo”. Esses territórios apresentavam, à época, acentuadas limitações socioeconômicas e ambientais, refletindo uma conjuntura de desequilíbrio estrutural ainda pouco mitigada pelos investimentos em infraestrutura de transporte. Um dado particularmente revelador é a presença mínima de municípios classificados como “Alto”, apenas quatro em todos os corredores analisados: Cuiabá, Manaus, São Luís e Rondonópolis. Isso indica que, na década de 1990, poucos territórios poderiam ser considerados sustentáveis sob os critérios adotados, reforçando a hipótese de que os grandes projetos de infraestrutura de transporte ainda não haviam produzido efeitos significativos sobre os níveis de sustentabilidade municipal.

O panorama evidenciado pelo mapa de 1990 revela, portanto, um ponto de partida caracterizado por profundas desigualdades territoriais, com 93% dos municípios classificados nas categorias mais baixas de sustentabilidade. Esse dado destaca a ampla vulnerabilidade das localidades analisadas, que, à época, se configuravam como os territórios mais frágeis sob a ótica da sustentabilidade integrada.

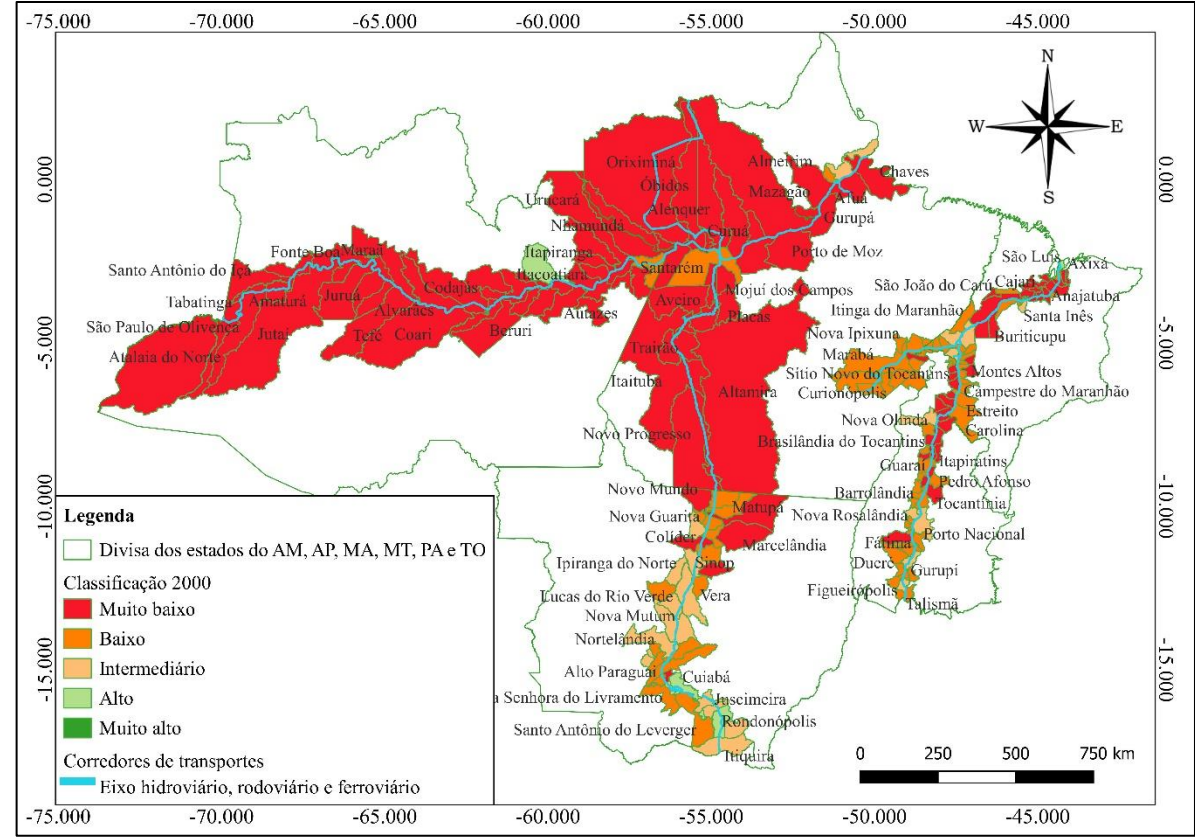
5.4.3. Distribuição do ISMAM em 2000

A análise do mapa temático do ISMAM para o ano de 2000 evidencia que a maior parte dos municípios ainda se encontrava na categoria “Muito baixo” em termos de sustentabilidade, representando aproximadamente 50% da amostra. No entanto, em comparação com 1990, observa-se uma redução expressiva no número de municípios nessa faixa, passando de 155 para 105. Esse recuo foi acompanhado por um aumento nas categorias “Baixo”, que subiu de 38 para 73 municípios, e “Intermediário”, que passou de 9 para 24 municípios no mesmo intervalo temporal. Essa transição gradual indica um deslocamento de parte dos municípios para patamares ligeiramente mais equilibrados de sustentabilidade, embora o cenário geral ainda revele grandes disparidades regionais.

Essa tendência de leve avanço pode ser interpretada como reflexo de melhorias pontuais nos indicadores sociais, econômicos e ambientais, especialmente em municípios do Mato Grosso, inseridos no corredor rodoviário Cuiabá-Santarém, e em municípios do sudeste do Pará, localizados no corredor ferroviário. Nessas regiões, é possível que a intensificação de atividades produtivas, combinada a investimentos em infraestrutura e políticas públicas emergentes, tenha contribuído para a elevação dos escores de sustentabilidade. Ainda assim, o panorama permanece predominantemente marcado por fragilidades estruturais, conforme ilustrado na

Figura 47, que retrata uma fase inicial de transição em direção a níveis um pouco mais altos de desempenho integrado.

Figura 47: Mapa com a classificação quanto a sustentabilidade dos municípios em 2000.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* QGIS, utilizando dados da pesquisa e a base cartográfica do IBGE (2023), 2025.

Os municípios com os maiores PIB per capita no ano 2000 estão localizados ao longo da BR-163, no Mato Grosso, e no sudeste do Pará, ao longo da EF-Carajás, apresentando os seguintes valores: Ipiranga do Norte-MT (R\$ 59.311,02), Parauapebas-PA (R\$ 43.567,81), Itiquira-MT (R\$ 40.326,42), Lucas do Rio Verde-MT (R\$ 31.812,18) e Sorriso-MT (R\$ 30.172,44). Esses municípios possuem bases econômicas distintas, refletindo diferentes dinâmicas de desenvolvimento. No Mato Grosso, a economia é fortemente impulsionada pela produção de grãos, sendo o estado o maior produtor de soja do Brasil (CONAB, 2023). Já Parauapebas, no Pará, destaca-se como um dos principais polos de mineração do país, impulsionado pela extração de ferro na Serra dos Carajás (Vale S.A., 2022). A Tabela 8 apresenta os valores de algumas variáveis dos municípios destacados.

Tabela 8: Valores das variáveis dos municípios destacados em 2000.

Município	PIB per capita	Área de floresta %	Área da Agropecuária %	IDHM
Ipiranga do Norte-MT	R\$ 59.311,02	59,36	39,29	0,603
Parauapebas-PA	R\$ 43.567,81	87,69	10,48	0,553
Itiquira-MT	R\$ 40.326,42	33,32	55,46	0,541
Lucas do Rio Verde-MT	R\$ 31.812,18	34,12	62,92	0,658
Sorriso-MT	R\$ 30.172,44	41,31	56,99	0,664

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Ao analisar a relação entre PIB per capita e outros indicadores, observa-se que os municípios mato-grossenses, como Lucas do Rio Verde e Sorriso, apresentam um alto percentual de áreas destinadas à agropecuária (62,92% e 56,99%, respectivamente) e IDHM mais elevados (0,658 e 0,664). Esse dado sugere uma correlação entre a expansão agrícola e o desenvolvimento socioeconômico na região. O município de Parauapebas apresenta um PIB per capita elevado e um IDHM que passou de 0,439 em 1990 para 0,553 em 2000, sugerindo que a exploração mineral pode ter contribuído para melhorias diretas nas condições sociais locais naquele período. Conforme apontado por Dani *et al.* (2022), houve um aumento nos IDHM dos municípios da microrregião de Parauapebas (incluindo Canaã dos Carajás, Água Azul do Norte, Curionópolis e Eldorado dos Carajás) entre 1991 e 2010. No entanto, apenas Parauapebas alcançou um nível alto no indicador, evidenciando que o impacto do setor mineral no desenvolvimento humano não ocorreu de maneira uniforme na região.

Outro ponto relevante é a cobertura florestal, pois Parauapebas se destaca com 87,69% de sua área preservada, contrastando com os municípios do Mato Grosso, onde a conversão de florestas em pastagens e lavouras reduziu significativamente a cobertura vegetal. Esses resultados sugerem que, enquanto a agropecuária está associada a um crescimento econômico contínuo e a um aumento do IDHM, a atividade mineral gera grandes receitas, mas com menor impacto positivo sobre os indicadores sociais quando comparado aos municípios do setor agropecuário.

Em suma, no ano 2000, o corredor rodoviário Cuiabá-Santarém apresentou a maior heterogeneidade territorial entre os analisados no período. Municípios como Cuiabá e Rondonópolis continuaram classificados como “Alto”, refletindo seu fortalecimento enquanto polos econômicos e logísticos regionais. Além disso, emergem outros destaques positivos na porção sul de Mato Grosso, como Itiquira, Várzea Grande e Lucas do Rio Verde, todos classificados como “Intermediário”. Essas localidades evidenciam o papel das rodovias na dinamização de áreas com maior aptidão agropecuária e acesso à infraestrutura, favorecendo o avanço nos três pilares da sustentabilidade. Já os municípios do Pará (Novo Progresso, Itaituba, Trairão, Rurópolis, Placas e Altamira) que estão ao longo da rodovia BR-163 apresentaram classificação “Muito baixo” para a sustentabilidade, demonstrando poucas mudanças de 1990 para 2000.

No corredor hidroviário, a maioria dos municípios permaneceu concentrada nas categorias “Muito baixo” e “Baixo”, totalizando cerca de 96% das localidades dessa área. Municípios como Atalaia do Norte, Jutai, Amaturá e São Paulo de Olivença continuaram figurando entre os de pior desempenho relativo, o que sugere que os efeitos de investimentos

logísticos ou sociais durante a década de 2000 foram limitados ou distribuídos de forma desigual. Como exceções, destacam-se as capitais Manaus, que manteve sua posição na categoria “Alto”, e Macapá, que apresentou melhora ao passar da faixa “Baixo” para “Intermediário”. Esses casos indicam que centros urbanos mais estruturados e dinâmicos podem ter favorecido avanços relativos nos indicadores de sustentabilidade dessas capitais.

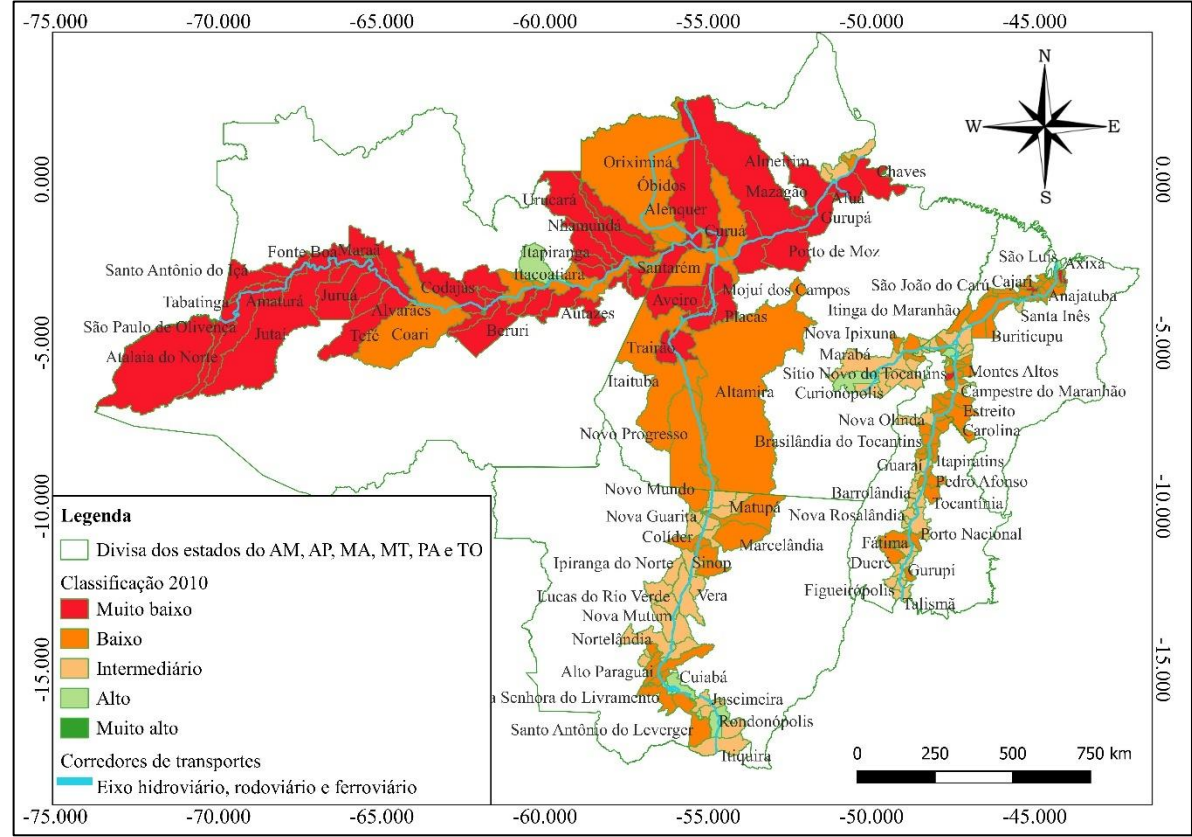
Por fim, o corredor ferroviário até o ano 2000 ainda não apresenta grandes transformações. A maioria dos municípios, 91%, permanece classificada como “Muito baixo” ou “Baixo”, a exemplo de Alto Alegre do Pindaré, Bom Jesus das Selvas, Campestre do Maranhão e Buriticupu. Entretanto, surgem indícios de avanço em municípios como Imperatriz, Açailândia, Paraíso do Tocantins e Porto Nacional que progrediram para categorias mais elevadas, possivelmente em função da expansão urbana e de investimentos relacionados à estrutura econômica municipal.

A década de 2000, portanto, caracteriza-se como um período de transição ainda incipiente, no qual apenas uma parcela restrita dos municípios começa a apresentar respostas positivas a mudanças institucionais e estruturais iniciadas nos anos anteriores. Embora haja avanços localizados, o quadro geral permanece marcado por profundas desigualdades territoriais, indicando que os efeitos dos investimentos em infraestrutura e das políticas de desenvolvimento regional ainda eram limitados em sua capacidade de promover uma transformação mais ampla e homogênea na sustentabilidade dos municípios analisados.

5.4.4. Distribuição do ISMAM em 2010

A partir da análise do mapa apresentado na Figura 48, é possível identificar mudanças relevantes na distribuição da classificação do ISMAM em 2010, especialmente quando comparadas aos anos anteriores. O destaque recai sobre o corredor rodoviário, particularmente no trecho localizado no estado de Mato Grosso, onde se observa uma maior concentração de municípios na categoria “Intermediário”. Dos 38 municípios que compõem o trecho do MT, 22 foram classificados nessa faixa, indicando uma transição gradual em direção a níveis medianos de sustentabilidade, possivelmente associada ao avanço das atividades agroindustriais, à urbanização e à ampliação de infraestrutura básica dessa área.

Figura 48: Mapa com a classificação quanto a sustentabilidade dos municípios em 2010.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* QGIS, utilizando dados da pesquisa e a base cartográfica do IBGE (2023), 2025.

Entre os anos de 2000 e 2010, o corredor hidroviário Solimões-Amazonas não apresentou avanços significativos na classificação do ISMAM. Dos 61 municípios que compõem esse corredor, apenas Manaus (AM) manteve-se na categoria “Alto”, Macapá (AP) permaneceu classificada como “Intermediário” e Santana (AP) registrou leve progresso ao migrar da categoria “Baixo” para “Intermediário”. A grande maioria dos municípios (cerca de 95%) continuou concentrada nas faixas “Muito baixo” e “Baixo” em 2010, evidenciando a permanência de entraves estruturais históricos e a baixa efetividade das políticas públicas em promover transformações substanciais no território.

A Tabela 9, a seguir, apresenta um panorama comparativo de variáveis socioeconômicas e ambientais selecionadas, destacando os três municípios com melhor desempenho no ISMAM e quatro municípios com os piores resultados dentro desse corredor. A análise desses casos extremos permite ilustrar os contrastes internos do território e compreender os fatores associados à permanência ou ao avanço relativo dos níveis de sustentabilidade municipal.

Tabela 9: Valores das variáveis dos municípios destacados em 2010.

Município	PIB per capita	Área de floresta %	Área da Agropecuária %	(continua)	
				IDHM	
Manaus	R\$ 30.507,53	82,11	2,31	0,737	
Santana	R\$ 12.863,41	44,92	0,58	0,692	

				(conclusão)
Município	PIB per capita	Área de floresta %	Área da Agropecuária %	IDHM
Macapá	R\$ 15.594,37	36,57	1,98	0,733
Santarém	R\$ 8.591,76	69,75	5,64	0,691
Beruri	R\$ 5.236,86	92,96	0,16	0,506
Atalaia do Norte	R\$ 4.982,26	99,50	0,01	0,450
Jutaí	R\$ 5.465,91	98,19	0,02	0,516
Juruá	R\$ 4.945,10	95,75	0,06	0,522

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Observa-se que os municípios com melhores classificações, como Macapá, Santana e Manaus, possuem maiores Índices de Desenvolvimento Humano Municipal, variando entre 0,691 e 0,737. Além disso, possuem uma estrutura econômica mais diversificada, com Manaus se destacando pelo polo industrial da Zona Franca e Macapá por sua atividade comercial e administrativa. Em contraste, municípios como Atalaia do Norte (AM), Jutaí (AM), Beruri (AM) e Santo Antônio do Içá (AM) apresentam baixos PIBs per capita, variando de R\$ 4.945,10 a R\$ 5.465,91, além de IDHM's entre 0,450 e 0,522, evidenciando grandes desigualdades regionais no ano de 2010.

A cobertura florestal nos municípios menos desenvolvidos é significativamente maior, ultrapassando 95% da área total. Esse fator reforça a hipótese de que a preservação ambiental isoladamente não garante o desenvolvimento sustentável, uma vez que a baixa integração econômica e social impacta diretamente os indicadores de qualidade de vida. Atalaia do Norte, por exemplo, possui 99,50% de sua área coberta por floresta, mas apresenta um IDHM de apenas 0,450, sendo este o mais baixo entre todos os municípios de todos os corredores analisados.

Esses resultados indicam que os desafios enfrentados pelo corredor hidroviário não se limitam apenas à conservação ambiental, mas também à ausência de investimentos estruturais e logísticos que promovam o desenvolvimento equilibrado (Rodrigues *et al.*, 2014). Municípios como Manaus e Santarém, que possuem maior integração econômica e melhores indicadores sociais, demonstram que o desenvolvimento sustentável exige um equilíbrio entre os pilares econômico, social e ambiental.

Com exceção dos municípios inseridos no corredor hidroviário, a análise espacial do ISMAM para o ano de 2010 revela avanços na distribuição dos municípios classificados na categoria “Intermediário”, em comparação com as décadas anteriores. Essa tendência é particularmente evidente no corredor rodoviário, onde 22 municípios localizados no estado do Mato Grosso foram classificados como “Intermediário” e outros três alcançaram a categoria “Alto”. Municípios como Cuiabá, Rondonópolis e Várzea Grande continuam se destacando

positivamente, refletindo não apenas uma infraestrutura urbana mais consolidada, mas também melhorias progressivas nos indicadores sociais e ambientais ao longo do tempo.

Esse desempenho reforça a hipótese de que a consolidação da malha rodoviária, aliada à expansão da agropecuária tecnificada e ao fortalecimento da economia regional, contribuiu para a elevação dos padrões de sustentabilidade em parte dos municípios ao longo do corredor. Ainda que essas transformações tenham ocorrido em um contexto de pressões ambientais significativas, os resultados de 2010 indicam uma transição mais consistente para as faixas intermediárias e superiores do ISMAM, especialmente em áreas caracterizadas por maior dinamismo econômico e conectividade territorial. Os dados levantados pela pesquisa revelam que os municípios com o maior número de interligações - sobretudo por meio da infraestrutura rodoviária - estão concentrados no estado do Mato Grosso. Cuiabá e Rondonópolis, por exemplo, apresentam cerca de 16 acessos intermunicipais por diferentes rodovias, enquanto Várzea Grande possui sete conexões, representando os maiores valores de conectividade dentro do corredor rodoviário. Esse nível de integração logística pode ter favorecido o acesso a mercados, serviços públicos e investimentos, refletindo-se em melhores posições no índice de sustentabilidade municipal.

No corredor ferroviário, observa-se uma melhora significativa no desempenho dos municípios entre 2000 e 2010, com destaque para a expansão da categoria “Intermediário”, que passou de 8 para 37 municípios no período. Essa transição indica um avanço relativo nos padrões de sustentabilidade municipal ao longo do eixo ferroviário. Municípios como Santa Inês (MA), Imperatriz (MA), Porto Franco (MA), Aguiarnópolis (TO), Esperantina (TO), Gurupi (TO), Canaã dos Carajás (PA), Parauapebas (PA) e Marabá (PA) passaram a ocupar posições mais favoráveis na classificação do ISMAM. Esse movimento pode refletir os efeitos positivos da consolidação logística e dos investimentos associados às ferrovias Norte-Sul e Carajás, que contribuíram para melhorar a articulação regional e estimular o crescimento de setores produtivos estratégicos.

A presença crescente de municípios com desempenho moderado nesse corredor também pode estar relacionada à sinergia entre infraestrutura de transporte, dinamismo econômico local e políticas públicas voltadas à ampliação dos serviços sociais básicos, como educação, saúde e saneamento. Esses fatores combinados podem ter proporcionado melhores condições para avanços na sustentabilidade integrada, ainda que persistam desafios importantes em termos de equidade territorial e mitigação dos impactos socioambientais associados à expansão das atividades econômicas.

De forma geral, a década de 2010 marca o início de um novo padrão espacial de sustentabilidade na região analisada, com a expansão da categoria “Intermediário” nas regiões com maior acesso a infraestrutura e serviços. A distribuição espacial do ISMAM nesse período sugere uma intensificação das desigualdades regionais: enquanto há avanços em determinados eixos (rodoviário e ferroviário), outras áreas permanecem estagnadas ou com poucas alterações em seu desempenho, como os municípios do corredor hidroviário. Esse cenário reforça a necessidade de políticas públicas mais direcionadas para as realidades locais, com ênfase na superação das barreiras estruturais que limitam o desenvolvimento sustentável em áreas mais periféricas dos corredores de transporte.

5.4.5. Distribuição do ISMAM em 2021

Em 2021, entre os diferentes corredores de transporte analisados, os corredores ferroviário e rodoviário destacaram-se por concentrar o maior número de municípios com níveis elevados de sustentabilidade. Nove municípios foram classificados na categoria “Alto” e três na categoria “Muito alto” no corredor ferroviário. O corredor rodoviário apresentou 14 municípios na faixa “Alto”, enquanto o corredor hidroviário registrou apenas um município em cada uma das categorias superiores (“Alto” e “Muito alto”). Esses dados refletem uma relativa estabilidade e resiliência socioeconômica nos corredores ferroviário e rodoviário, que pode estar associada à presença de atividades econômicas mais estruturadas, como a mineração, a agropecuária e melhoria gradual da infraestrutura regional.

O Quadro 16, a seguir, apresenta a categorização dos municípios com melhor desempenho no ISMAM em 2021, permitindo visualizar os territórios que se destacam positivamente no cenário recente da sustentabilidade municipal integrada.

Quadro 16: Municípios com os maiores índices em 2021.

Corredor	Município	Classificação
Hidroviário	Macapá	Alto
	Manaus	Muito Alto
Ferroviário	Imperatriz, Santa Inês, Curionópolis, Marabá, Aliança do Tocantins, Araguaína, Cariri do Tocantins, Porto Nacional, Sucupira	Alto
	São Luís, Canaã dos Carajás, Parauapebas	Muito Alto
Rodoviário	Cuiabá, Diamantino, Ipiranga do Norte, Itiquira, Lucas do Rio Verde, Nova Mutum, Pedra Preta, Rondonópolis, Santa Carmem, Sinop, Sorriso, Tapurah, Várzea Grande, Vera	Alto

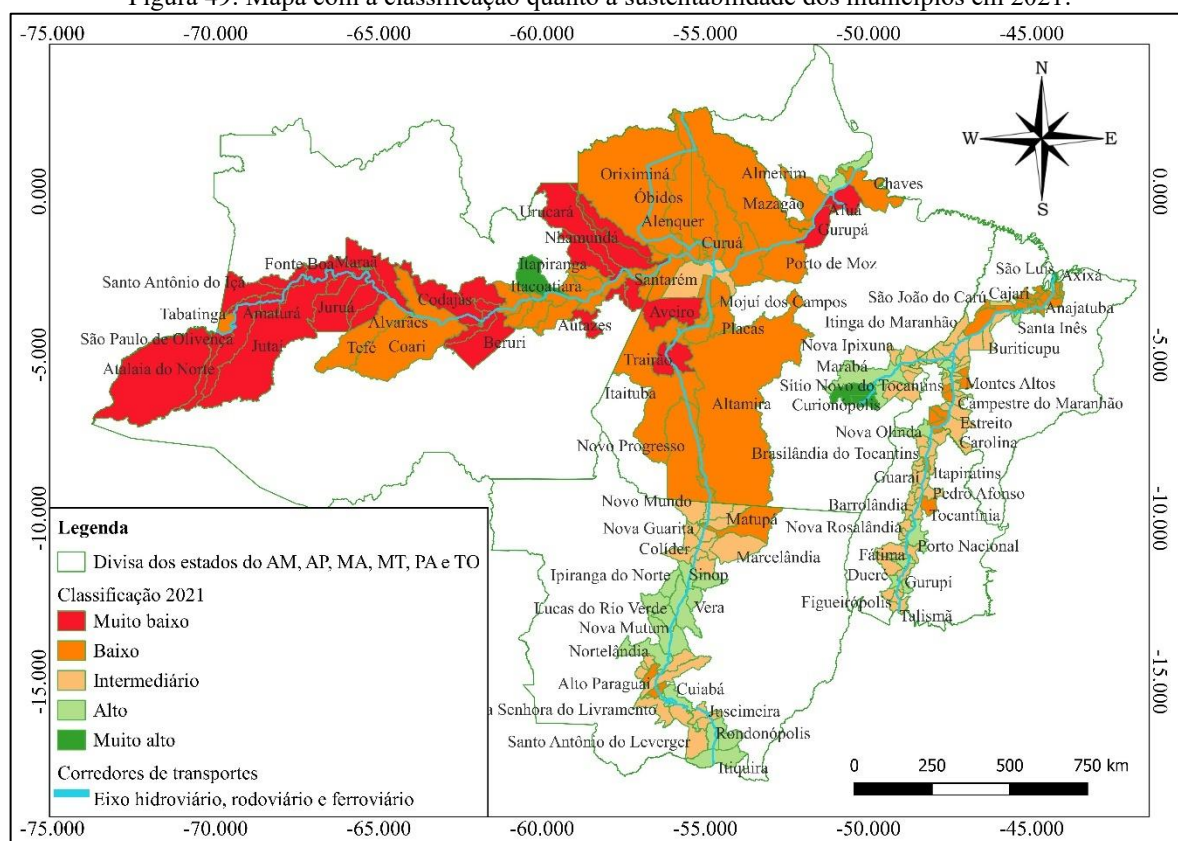
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A Figura 49 apresenta a classificação do ISMAM em 2021 para todos os corredores de transporte analisados. De modo geral, a análise espacial evidencia uma distribuição heterogênea dos níveis de sustentabilidade municipal, com padrões distintos entre os corredores rodoviário,

ferroviário e hidroviário. Destaca-se, em particular, o desempenho do corredor ferroviário, onde os tons de verde - representando as categorias “Alto” e “Muito alto” - são mais frequentes, sobretudo nas áreas situadas nos extremos das duas ferrovias, com destaque para o sudeste do estado do Pará.

Essa configuração espacial sugere que a infraestrutura ferroviária tem desempenhado um papel relevante na sustentação de dinâmicas socioeconômicas mais estáveis e articuladas em determinados trechos do território. No caso da ferrovia de Carajás, os resultados refletem, em grande medida, os efeitos econômicos da intensa atividade mineral no sudeste paraense, associada à presença de grandes projetos extrativistas e à integração logística voltada à exportação de commodities.

Figura 49: Mapa com a classificação quanto a sustentabilidade dos municípios em 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* QGIS, utilizando dados da pesquisa e a base cartográfica do IBGE (2023), 2025.

A presença de parte dos municípios classificados como “Intermediário” e “Alto” (63%) no corredor ferroviário sugere uma maior resiliência econômica e social nessa área, o que pode estar associado à sinergia entre diferentes modos de transporte. Fatores como a consolidação de polos logísticos, a diversificação das atividades produtivas e a maior conectividade com centros urbanos desenvolvidos desempenham um papel fundamental nesse cenário. No sudeste da Amazônia Legal, a infraestrutura de transporte é relativamente mais densa em comparação com

outras áreas da região, com destaque para a presença de rodovias estratégicas, como a BR-153, BR-316, BR-010, BR-226, BR-222, BR-235 e BR-230. A coexistência de diferentes infraestruturas de transporte pode facilitar o escoamento da produção nesses municípios estudados. Assim, o sucesso relativo do corredor ferroviário em termos de sustentabilidade pode ser, em grande parte, atribuído à sua articulação eficiente com outras infraestruturas de transporte e à capacidade de promover maior estabilidade socioeconômica nas regiões que atravessa.

Os três municípios com melhor classificação do ISMAM no corredor ferroviário em 2021 foram São Luís-MA, Canaã dos Carajás-PA e Parauapebas-PA. Esses municípios se destacam por indicadores socioeconômicos mais elevados, resultado da infraestrutura consolidada, da diversificação econômica e da maior conectividade com outros polos regionais. Em especial, Canaã dos Carajás apresentou um PIB per capita extraordinário de R\$ 894.806,28, o segundo maior do Brasil em 2021 (IBGE, 2022), impulsionado principalmente pela mineração, com a presença de grandes projetos extrativistas. A pujança econômica desse município contrasta fortemente com a realidade de outros municípios do corredor ferroviário, onde a dependência de setores menos dinâmicos limita o crescimento sustentável.

Para uma análise mais aprofundada, os dados desses municípios foram comparados com aqueles de pior classificação no corredor ferroviário, ou seja, Axixá-MA, Presidente Juscelino-MA e Maurilândia do Tocantins-TO, classificados como “Baixo”, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Valores das variáveis dos municípios destacados.

Município	PIB per capita	Área de floresta %	Área da Agropecuária %	IDHM
São Luís	R\$ 32.739,65	43,99	16,26	0,823
Canaã dos Carajás	R\$ 894.806,28	49,97	44,80	0,794
Parauapebas	R\$ 227.449,71	83,55	13,54	0,803
Axixá	R\$ 7.964,97	75,70	15,63	0,690
Presidente Juscelino	R\$ 6.530,55	69,54	24,41	0,623
Maurilândia do Tocantins	R\$ 16.112,55	80,99	17,15	0,679

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Nota-se que Canaã dos Carajás-PA e Parauapebas-PA possuem PIB per capita significativamente mais elevados do que Axixá-MA, Presidente Juscelino-MA e Maurilândia do Tocantins-TO. O caso de Canaã dos Carajás é particularmente notável e esse valor contrasta com os R\$ 6.530,55 de Presidente Juscelino-MA e os R\$ 7.964,97 de Axixá-MA, evidenciando um enorme desnível econômico entre os municípios de áreas tão próximas. Além disso, São Luís e Parauapebas também apresentam PIB per capita expressivamente superiores aos municípios classificados como “Baixo”, reforçando a correlação entre infraestrutura consolidada e desenvolvimento econômico.

A cobertura florestal e a participação da agropecuária na economia também apresentam padrões distintos entre os grupos de municípios. Em Axixá, Presidente Juscelino e Maurilândia do Tocantins, a porcentagem de área florestada ultrapassa 69%, enquanto nos municípios mais desenvolvidos, como São Luís-MA e Canaã dos Carajás, essa porcentagem é menor, sugerindo um nível mais avançado de conversão do solo para atividades produtivas. Por outro lado, a agropecuária tem um peso significativo em Canaã dos Carajás-PA (44,80%), demonstrando que, em algumas regiões, o setor primário pode coexistir com um alto desenvolvimento econômico. Já em Axixá-MA, a agropecuária representa apenas 15,63% da área do município, indicando que a economia local pode estar mais dependente de atividades menos dinâmicas.

A cartografia referente ao ano de 2021 evidencia padrões espaciais contrastantes entre os municípios localizados nos corredores hidroviário, rodoviário e ferroviário, no que se refere ao desempenho em sustentabilidade, conforme a classificação do ISMAM. No corredor hidroviário, observa-se o predomínio das categorias “Muito baixo” (27 municípios) e “Baixo” (30 municípios), com destaque para os municípios situados ao longo da calha do rio Solimões. Entre eles, figuram localidades como Atalaia do Norte (AM), São Sebastião do Uatumã (AM), São Paulo de Olivença (AM), Jutai (AM), Alvarães (AM), Afuá (PA), Faro (PA) e Gurupá (PA).

Embora alguns desses municípios tenham apresentado leve progresso - migrando da categoria “Muito baixo” para “Baixo” -, continuam entre os territórios com menor desempenho em termos de sustentabilidade. Essa persistência nos níveis inferiores do índice reflete a combinação de limitações estruturais históricas, dificuldades de conectividade logística, baixo dinamismo econômico e restrições no acesso a serviços públicos essenciais, como saúde, educação e saneamento. Tais condições reforçam a vulnerabilidade desses municípios frente aos desafios do desenvolvimento sustentável ao longo da hidrovía Solimões-Amazonas. Assim, nota-se que na análise de 2021, os corredores ferroviário e rodoviário seguiu revelando avanços importantes em comparação com os primeiros anos analisados. Municípios como São Luís, Canaã dos Carajás e Parauapebas aparecem entre os que mais se destacam positivamente em 2021, indicando que a presença da infraestrutura ferroviária, articulada a outros investimentos em desenvolvimento urbano e social, tem impulsionado progressivamente a sustentabilidade municipal. Além disso, observa-se que o número de municípios com classificação “Intermediária” e “Alta” no eixo ferroviário é maior do que nas décadas anteriores, refletindo ganhos estruturais e institucionais mais recentes.

O corredor rodoviário consolidou-se como o eixo com 77% dos municípios nas categorias “Intermediário” e “Alto”. Municípios como Cuiabá, Rondonópolis, Sorriso, Nova

Mutum, Lucas do Rio Verde e Sinop se destacam de forma recorrente com os escores mais elevados de sustentabilidade, o que confirma a consolidação de estruturas produtivas intensivas, maior presença de infraestrutura logística e oferta mais abrangente de serviços públicos. No entorno da BR-163, em especial, percebe-se uma concentração significativa de municípios com classificação elevada no território de Mato Grosso, o que aponta para o papel decisivo da conectividade rodoviária na articulação das dinâmicas socioeconômicas locais.

A análise comparativa entre os mapas de 1990 a 2021 evidencia que o avanço na sustentabilidade dos municípios amazônicos é desigual e diretamente condicionado à presença de infraestrutura e à capacidade institucional de cada território. Ao longo das três décadas analisadas, os corredores rodoviário e ferroviário mostraram certo grau de melhorias, enquanto o hidroviário permaneceu o mais vulnerável, apesar de alguns avanços pontuais. De modo geral, a região apresenta um cenário em transformação, com polos de sustentabilidade emergindo em regiões consolidadas economicamente, enquanto áreas periféricas e isoladas seguem exigindo maior atenção em políticas de desenvolvimento regional e integração territorial. A consolidação de padrões mais equilibrados de sustentabilidade na Amazônia dependerá da superação de assimetrias históricas e do fortalecimento da governança local orientada à inclusão social, conservação ambiental e modernização econômica. Conforme apontado nos estudos de Gonçalves (2021) “a sustentabilidade na Amazônia deve envolver o compromisso de governos, mercado e organizações, no sentido de proporcionar às populações locais protagonismo e qualidade de vida”.

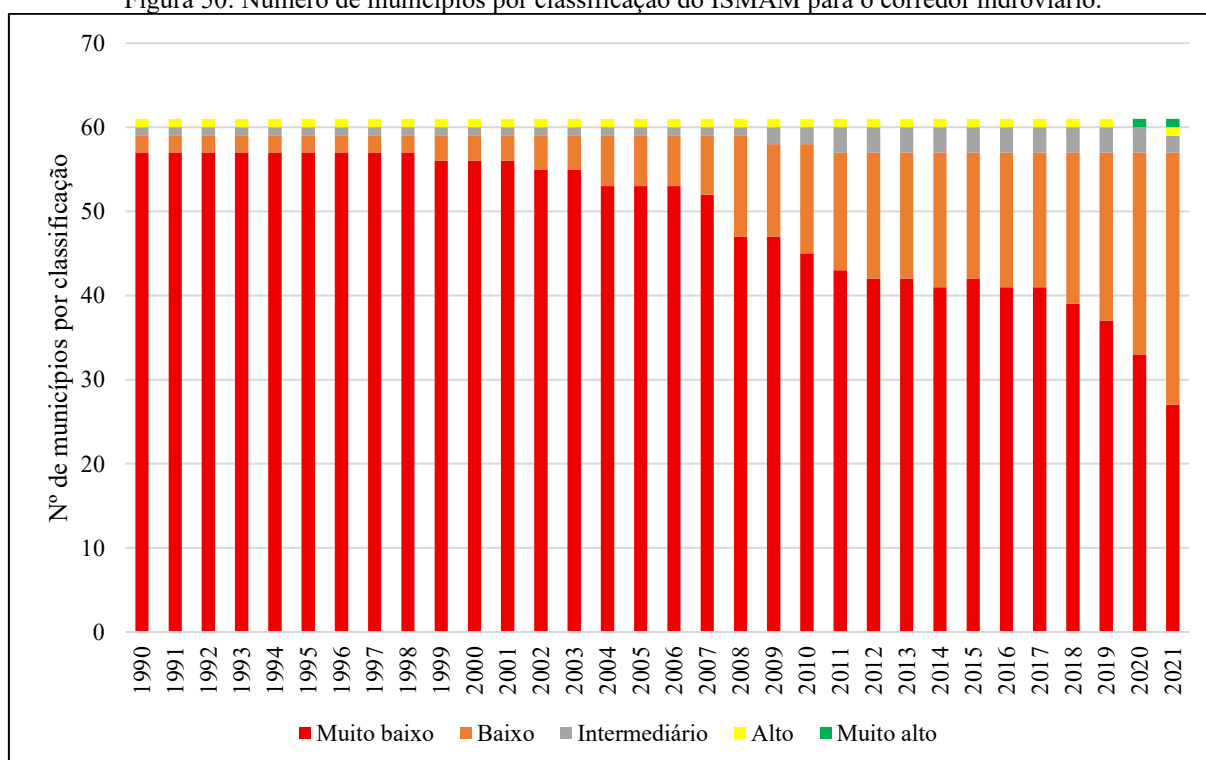
Além das análises gerais, foram feitas considerações específicas para cada corredor de transporte, permitindo uma compreensão mais detalhada das dinâmicas regionais. Essas análises, apresentadas nos tópicos a seguir, destacam as particularidades socioeconômicas e ambientais de cada corredor, evidenciando como fatores como infraestrutura, uso do solo e integração dos transportes influenciam os níveis de sustentabilidade dos municípios ao longo das últimas décadas.

5.4.6. ISMAM para o corredor hidroviário nas três décadas

Os dados do ISMAM referentes aos municípios do corredor hidroviário Solimões-Amazonas revelam um padrão persistente de baixo desempenho em sustentabilidade ao longo das últimas três décadas. Apenas dois municípios - Macapá (AP) e Manaus (AM) - alcançaram, respectivamente, as classificações de “Alto” e “Muito alto”, enquanto a ampla maioria permaneceu nas categorias “Baixo” ou “Muito baixo”, evidenciando a continuidade de um quadro de vulnerabilidade socioambiental e econômico na região.

Conforme ilustrado na Figura 50, o número de municípios classificados como “Muito baixo” manteve-se praticamente estável de 1990 até 2002, indicando pouca variação nos níveis mais críticos de sustentabilidade durante esse período. Apenas em 2021 essa categoria deixou de representar a maioria dos municípios, sugerindo um progresso modesto. A faixa “Intermediário” permaneceu inalterada ao longo do tempo, com apenas três municípios nessa classificação, enquanto as categorias superiores (“Alto” e “Muito alto”) mantiveram-se restritas a apenas um município cada. Esses resultados reforçam o diagnóstico de que, no contexto do corredor hidroviário, os avanços em sustentabilidade municipal têm sido lentos, pontuais e insuficientes para reverter o padrão histórico de desigualdades estruturais. Esses resultados indicam que, embora essa região apresente algumas das maiores áreas de floresta preservada da Amazônia, os desafios estruturais, sociais e econômicos impedem que os municípios alcancem um desenvolvimento verdadeiramente sustentável. O relatório do Banco Mundial (2023) destacou que dados de renda, empregos e IDH revelam que na maioria dos estados amazônicos, especialmente nas suas áreas mais remotas, a pobreza estagnou ou aumentou nos últimos anos, fato que vai de encontro aos achados desta Tese.

Figura 50: Número de municípios por classificação do ISMAM para o corredor hidroviário.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Excel, 2025.

A presença de apenas dois municípios nas categorias “Alto” e “Muito alto” em 2021 pode ser explicada pela fragilidade da economia local e pelas condições sociais. Como visto, o desenvolvimento sustentável depende da integração equilibrada entre os aspectos econômico,

social e ambiental. Embora a floresta amazônica forneça um capital natural inestimável, sua preservação isolada não garante melhoria na qualidade de vida das populações locais ou apresenta dinamismo econômico fraco. A maioria dos municípios dessa área depende de atividades extrativistas e da pesca de subsistência, com baixa diversificação produtiva e infraestrutura limitada, o que dificulta a geração de emprego e renda e reforça a persistência de baixos índices de desenvolvimento humano (IBGE, 2022; Banco Mundial, 2023). Além disso, a região é marcada por conflitos socioambientais relacionados à disputa por terra, recursos naturais e direitos territoriais (Banco Mundial, 2023).

Do ponto de vista social, a precariedade dos serviços públicos essenciais, como saúde, educação e saneamento básico, representa um obstáculo significativo para que esses municípios avancem rumo à sustentabilidade. A fragilidade do sistema de saúde na região tornou-se especialmente evidente durante a pandemia de COVID-19, quando o Amazonas foi um dos estados mais afetados do Brasil, enfrentando o colapso hospitalar devido à falta de leitos, oxigênio e infraestrutura adequada para atender à demanda emergencial (Silva *et al.*, 2022). Esse cenário reforça a vulnerabilidade social dos municípios amazônicos e de suas populações, conforme apontado por Becker (2005), evidenciando a necessidade de investimentos mais robustos para garantir um desenvolvimento sustentável e resiliente de forma mais homogênea.

Os dados do IBGE (2022) revelam elevadas taxa de pobreza e a dificuldade de acesso a serviços essenciais, os quais podem resultar em um quadro de exclusão social e vulnerabilidade econômica, que impede a transição para um modelo de desenvolvimento mais equilibrado. Além disso, a falta de integração entre a hidrovia e a infraestrutura de transporte rodoviário e ferroviário contribui para o isolamento dessas populações, dificultando o escoamento da produção e o acesso a mercados mais dinâmicos, como mostrado nos mapas do tópico de justificativa.

Apesar desses desafios, a preservação da floresta na região do corredor hidroviário representa uma oportunidade estratégica para a implementação de políticas públicas inovadoras, que conciliem conservação ambiental e inclusão social. Iniciativas baseadas na bioeconomia, no manejo sustentável dos recursos naturais e no fortalecimento das cadeias de produtos da sociobiodiversidade podem contribuir para reverter esse quadro. Segundo Araujo *et al.* (2024), que estudaram os produtos florestais não madeireiros, alguns desses produtos desempenham um papel essencial para a economia da região amazônica, promovendo a integração entre a conservação da biodiversidade e o avanço da bioeconomia.

No entanto, para que essas iniciativas sejam bem-sucedidas, é essencial garantir investimentos públicos e privados em educação, capacitação profissional e infraestrutura,

conforme apontado por Schmink *et al.*, (2018) no estudo sobre o município de São Félix do Xingu-PA. Essas medidas podem viabilizar a ascensão de municípios hoje classificados com níveis “Muito Baixo” e “Baixo” para categorias mais elevadas no ISMAM.

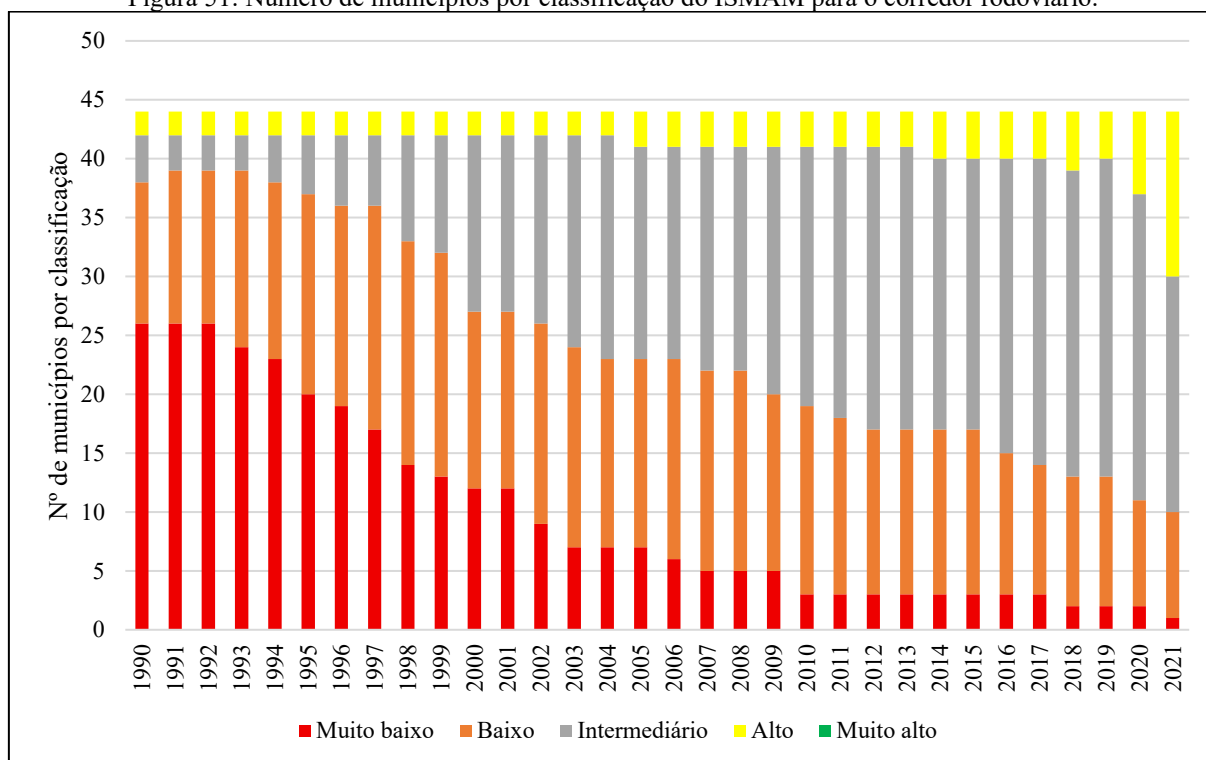
Portanto, os dados do ISMAM para o corredor hidroviário Solimões-Amazonas ressaltam a necessidade de uma abordagem integrada para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. O predomínio de municípios classificados em “Muito Baixo” e “Baixo” mostra que a conservação ambiental, embora fundamental, não pode ser dissociada de políticas voltadas para o fortalecimento da economia e da inclusão social. Assim, a aplicação da teoria dos três pilares no contexto amazônico deve considerar estratégias de desenvolvimento territorial que valorizem a floresta em pé, mas que também promovam melhorias concretas nas condições de vida da população local. Sem essa integração, os municípios do corredor hidroviário continuarão enfrentando limitações estruturais que dificultam sua evolução para um modelo sustentável de longo prazo.

5.4.7. ISMAM para o corredor rodoviário nas três décadas

Os municípios localizados ao longo da BR-163, no trecho amazônico, apresentam um perfil diferenciado em comparação aos demais corredores de transporte da região. A análise do ISMAM ao longo das últimas décadas indica que esses municípios mantêm uma proporção relativamente alta de localidades classificadas como “Intermediário” ou “Alto”, mesmo com menor cobertura florestal.

Entre 1990 e 2021, os níveis de sustentabilidade municipal em Mato Grosso apresentaram avanços significativos. Em 1990, apenas dois municípios - Cuiabá e Rondonópolis - registravam indicadores classificados como “Alto”. Esse número subiu discretamente para três em 2010, mas teve um salto expressivo em 2021, alcançando 14 municípios, conforme ilustrado na Figura 51. Paralelamente, observou-se uma redução consistente no número de municípios com classificação “Muito baixo”, que passou de 26 em 1990 para apenas 9 em 2021. Apesar desse progresso, os resultados não se distribuíram de forma homogênea pelo território. Regiões como o corredor hidroviário, por exemplo, enfrentam estagnação econômica, o que tem limitado os avanços em sustentabilidade. Esse cenário corrobora as análises de Monteiro Neto (2021), que ressalta como as dinâmicas territoriais e produtivas influenciam diretamente a capacidade de desenvolvimento sustentável em diferentes contextos regionais do país.

Figura 51: Número de municípios por classificação do ISMAM para o corredor rodoviário.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Excel, 2025.

Um dos principais fatores que podem explicar essa melhor classificação do ISMAM no corredor rodoviário é o grau de integração logística e econômica desses municípios. O trecho da BR-163 que atravessa o Mato Grosso e o Pará conecta algumas das principais áreas de produção agrícola do Brasil a portos estratégicos para exportação, como Miritituba (Distrito de Itaituba-PA) e Santarém-PA. Esse processo de integração tem impulsionado investimentos em infraestrutura, transporte e serviços, proporcionando maior dinamismo econômico e melhores condições para parte da população local. Municípios do Mato Grosso, em particular, apresentam elevados índices de desenvolvimento humano e econômico, refletindo o impacto da agropecuária moderna na geração de empregos e na arrecadação de impostos, conforme apontado também nos estudos de Lopes (2023), o que pode explicar a presença de uma proporção maior de municípios nas categorias “Intermediário” e “Alto” do ISMAM.

Embora a expansão da fronteira agrícola tenha contribuído para a perda de cobertura florestal em muitos desses municípios, os ganhos econômicos e a consequente melhoria de indicadores sociais parecem ter compensado parte dos impactos ambientais em termos de sustentabilidade. Conforme comentado, o desenvolvimento sustentável deve equilibrar as dimensões ambiental, social e econômica. No caso da BR-163, a força da economia agrícola tem sido importante para sustentar níveis mais elevados de bem-estar social, mesmo diante das pressões ambientais. Nas últimas décadas, observam-se mudanças heterogêneas em municípios

produtores de soja. Algumas ações, como a utilização do sistema de plantio direto, têm ajudado a mitigar os impactos negativos do desmatamento, ainda que de forma desigual entre os municípios (Toloi *et al.*, 2021).

Outro fator relevante é que a infraestrutura de transporte rodoviário, quando bem consolidada, facilita o acesso a mercados, serviços e oportunidades de diversificação econômica. Municípios mais bem conectados por rodovias e outras infraestruturas logísticas tendem a apresentar níveis mais elevados de desenvolvimento humano e econômico (Rodrigue, 2020).

No caso da BR-163, os investimentos em sua pavimentação ao longo das últimas duas décadas desempenharam um papel decisivo na dinamização econômica da região. A melhoria da infraestrutura viária facilitou o escoamento da produção, atraiu novos empreendimentos e impulsionou o fortalecimento da agroindústria, beneficiando municípios que antes enfrentavam isolamento econômico. Esse processo se reflete na expressiva redução do número de municípios classificados nos níveis “Muito baixo” e “Baixo” em termos de sustentabilidade: a soma dessas categorias caiu de 38 em 1990 para apenas 10 em 2021.

Vale destacar que a concessão do trecho da BR-163, entre Itiquira (MT) e Itaituba (PA), para a iniciativa privada pode ter gerado impactos positivos no desempenho socioeconômico dos municípios ao longo do corredor. Em 20 de março de 2014, a concessionária Rota do Oeste, da Odebrecht TransPort, assumiu a administração de 850,9 quilômetros da rodovia entre Itiquira e Sinop (MT), promovendo investimentos em infraestrutura, manutenção e segurança viária. Posteriormente, em 2021, o consórcio Via Brasil BR-163 venceu o leilão para operar o trecho de 1.009,52 quilômetros entre Sinop (MT) e o Porto de Miritituba (PA), com concessão válida até 2031 (ANTT, 2022).

A gestão privada dessa infraestrutura, por obrigações contratuais, tem potencial para melhorar a conectividade logística, reduzir custos de transporte e impulsionar a economia local, beneficiando principalmente os municípios atendidos desde 2014. Estudos indicam que rodovias concessionadas tendem a apresentar melhores condições de trafegabilidade, menor índice de acidentes e maior previsibilidade no escoamento da produção, o que favorece o desenvolvimento regional (Bianchi, 2022). No caso da BR-163, esses fatores podem ter contribuído para o fortalecimento da agropecuária e do comércio, setores principais da economia da região.

No entanto, é importante destacar que os efeitos positivos da integração logística e da agropecuária no ISMAM não se revelam homogêneos ao longo do corredor rodoviário. Enquanto municípios do Mato Grosso melhoraram em aspectos econômicos e sociais com a

presença da infraestrutura e da diversificação produtiva, localidades situadas no Pará (Altamira, Itaituba, Novo Progresso, Placas, Rurópolis e Trairão) ainda enfrentam desafios socioeconômicos significativos. Dados do IBGE revelam que o percentual da população, em 2010, com rendimento nominal mensal per capita de até meio salário-mínimo foi de: 45% em Altamira; 43,9% em Itaituba; 35,2% em Novo Progresso; 51,9% em Placas; 50,4% em Rurópolis e 45,4% em Trairão.

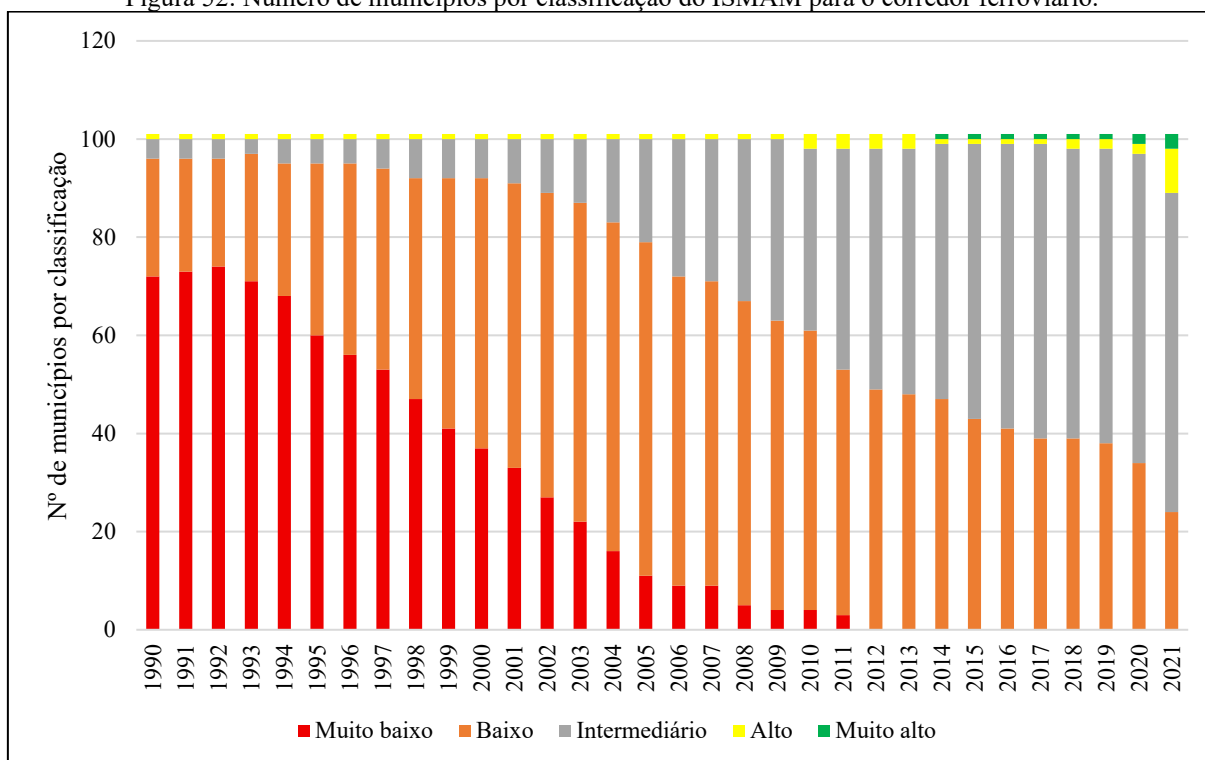
Dessa forma, a análise do ISMAM para o corredor rodoviário da BR-163 evidencia um aumento significativo no uso do solo para atividades agrícolas e ganhos econômicos e sociais obtidos ao longo das décadas, o que têm garantido uma classificação “Intermediária” e “Alta” para os municípios em termos de sustentabilidade. No entanto, a manutenção desse equilíbrio dependerá da capacidade de implementar modelos produtivos mais resilientes, que reduzam impactos ambientais e garantam a distribuição mais equitativa dos benefícios econômicos, visto que os municípios do trecho da rodovia em MT apresentam melhor desempenho econômico, principalmente o trecho que parte de Nova Mutum até Sinop, com grande expressão na produção de grãos, conforme apontado nas pesquisas de Viana (2021).

5.4.8. ISMAM para o corredor ferroviário nas três décadas

Os municípios localizados ao longo das ferrovias Norte-Sul e Carajás apresentam um padrão de sustentabilidade diferenciado em relação aos demais corredores de transporte da Amazônia. A análise histórica do ISMAM revela uma predominância de municípios classificados como “Intermediário” e uma redução contínua daqueles enquadrados na categoria “Muito baixo”, que chegou a zero em 2012.

Em 2010, apenas três municípios (Imperatriz, São Luís e Parauapebas) estavam classificados como “Alto”, e nenhum figurava na categoria “Muito alto”. No entanto, em 2021, esse número aumentou significativamente, com doze municípios alcançando os níveis superiores de sustentabilidade: três na categoria “Muito alto” (São Luís, Canaã dos Carajás e Parauapebas) e nove em “Alto” (Imperatriz, Santa Inês, Curionópolis, Marabá, Aliança do Tocantins, Araguaína, Cariri do Tocantins, Porto Nacional, Sucupira). Esses resultados, ilustrados na Figura 52, indicam um certo grau de resiliência socioeconômica e ambiental ao longo desse corredor ferroviário, refletindo os efeitos positivos de uma infraestrutura logística mais consolidada e de dinâmicas econômicas locais mais robustas.

Figura 52: Número de municípios por classificação do ISMAM para o corredor ferroviário.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Excel, 2025.

Esse padrão de grande número (64%) dos municípios na categoria “Intermediário” pode ser atribuído à robusta integração econômica proporcionada pelas ferrovias e outras infraestruturas, que facilitaram o escoamento da produção agropecuária e mineral, além de impulsionarem a industrialização e a urbanização em cidades estratégicas ao longo do traçado ferroviário. Além disso, os investimentos contínuos em infraestrutura, como o transporte ferroviário, podem desempenhar um papel decisivo na melhoria dos indicadores econômicos e ambientais, favorecendo o desenvolvimento regional e reduzindo desigualdades territoriais. Pesquisas de Branco *et al.* (2022), abordam que a implementação de novas ferrovias planejadas no território nacional poderia reduzir 17% do custo total de frete e 20% das emissões totais de CO₂.

Um fator importante para a relativa estabilidade dos municípios ferroviários é sua conexão com cadeias produtivas de alto valor agregado, como a mineração e a agropecuária. A Ferrovia Carajás, por exemplo, desempenha um papel central no escoamento da produção de minério de ferro da Vale, uma das maiores empresas globais do setor, além de realizar o transporte de passageiros entre Parauapebas-PA e São Luís-MA, com distância de viagem de aproximadamente 779 km. Enquanto, a Ferrovia Norte-Sul facilita o transporte de grãos e produtos agropecuários do Centro-Oeste para os portos do Maranhão com uma conexão com a ferrovia Carajás em Açailândia-MA. Essa integração com cadeias produtivas dinâmicas

impulsiona a economia regional, resultando em um número significativo de municípios na categoria “Intermediário” e consequente redução das categorias “Muito baixo” e “Baixo”.

Outro ponto relevante é que, embora esses municípios apresentem menor cobertura florestal devido à expansão agropecuária e industrial, a força da economia local tem contribuído para melhorias em indicadores sociais. Historicamente, muitos municípios do Maranhão, especialmente aqueles atravessados pela ferrovia, vinham registrando baixos índices de desenvolvimento humano e altos níveis de pobreza. No entanto, a infraestrutura ferroviária tem permitido uma maior integração entre municípios, facilitando o acesso a mercados, serviços públicos e oportunidades de emprego. Estudos como o de Oliveira (2019), destacam que a construção da Ferrovia Norte-Sul gerou impactos positivos no crescimento e desenvolvimento dos municípios afetados, especialmente no agronegócio, indústria, empregabilidade e PIB.

No caso do corredor ferroviário, observa-se que a força da economia regional e os investimentos em infraestrutura compensam, em parte, as limitações ambientais, garantindo uma sustentabilidade relativa. Embora a conversão de áreas naturais para pastagens e lavouras seja intensa, os benefícios econômicos e sociais advindos da ferrovia e de outras infraestruturas ajudam a mitigar a vulnerabilidade da população.

Além disso, os investimentos em infraestrutura ferroviária reduziram a dependência de outros modos de transporte, contribuindo para um modelo logístico mais eficiente e sustentável. O transporte ferroviário tem menor impacto ambiental por unidade de carga transportada em comparação com rodovias (Gabriele *et al.*, 2013), o que pode ter ajudado a evitar um maior comprometimento dos recursos naturais. Ao mesmo tempo, a ferrovia tem sido um catalisador de crescimento para municípios que antes estavam em situação de isolamento econômico (Oliveira, 2019). Essa melhoria pode ser observada na tendência de aumento de municípios na categoria “Intermediário”, com um salto de 37 em 2010 para 65 municípios nessa categoria em 2021.

Assim, a análise do ISMAM para o corredor ferroviário demonstra que, apesar da baixa cobertura florestal e da intensa atividade agropecuária, a forte integração logística e econômica proporcionada pelas ferrovias Norte-Sul e Carajás tem ajudado no equilíbrio sustentável nessa área. No entanto, para garantir a sustentabilidade de longo prazo, será necessário continuar investindo em políticas de inclusão social, diversificação econômica e conservação ambiental, garantindo que os benefícios do desenvolvimento sejam distribuídos de forma equitativa entre os municípios e entre os cidadãos.

Os resultados do ISMAM evidenciam uma dicotomia marcante entre os corredores de transporte analisados. Enquanto municípios situados ao longo do corredor hidroviário,

caracterizados por extensas áreas de floresta preservada, apresentam baixo grau de sustentabilidade, aqueles inseridos nos corredores rodoviário e ferroviário tendem a exibir melhor desempenho socioeconômico. Essa aparente contradição pode ser compreendida à luz da teoria do *Triple Bottom Line*, proposta por Elkington (1994), que enfatiza a necessidade de harmonia entre os pilares econômico, social e ambiental para se alcançar um modelo sustentável de desenvolvimento. A ausência desse equilíbrio em determinados municípios da Amazônia evidencia os desafios estruturais da região, nos quais a conservação ambiental não se traduz em progresso social e econômico.

5.4.9. Validação do ISMAM e a correlação com outros indicadores

A construção do ISMAM visou capturar, de forma integrada e relativa entre os municípios analisados, múltiplas dimensões da sustentabilidade municipal na Amazônia legal brasileira, incorporando variáveis econômicas, sociais, ambientais e de infraestrutura de transportes. Para avaliar sua aderência a outras métricas já consolidadas, realizou-se uma análise comparativa com os dados mais recentes entre os escores do ISMAM e dois indicadores compostos de ampla circulação: o Índice de Progresso Social (IPS), aplicável à Amazônia e o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC) do Instituto de Cidades Sustentáveis, aplicável ao Brasil como um todo. A abordagem metodológica adotada baseou-se no cálculo do coeficiente de correlação de Spearman, baseada na ordenação dos dados (ranks), não em seus valores absolutos. O teste é adequado às distribuições não normais detectadas nos testes de Shapiro-Wilk. Tal análise permite examinar o grau de associação monotônica entre os índices e verificar a convergência ou divergência de tendência entre os modelos teóricos que os fundamentam. Se os coeficientes de Spearman resultarem altos (positivos ou negativos), isso indica que seu índice se alinha, em termos de ordenamento das cidades, aos outros índices. Isso pode fortalecer a robustez e consistência da sua construção metodológica.

Nesse contexto, para verificar a adequação da análise de correlação entre os indicadores ISMAM, IPS e IDSC, primeiramente aplicou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, cujos resultados estão sintetizados na Tabela 11. O teste revelou que apenas o IPS apresentou distribuição normal ($p\text{-valor} = 0,6901$), não sendo possível rejeitar a hipótese nula de normalidade. Por outro lado, tanto o ISMAM ($p < 2,2\text{e-}16$), quanto o IDSC ($p = 1,189\text{e-}05$) apresentaram $p\text{-valores}$ inferiores ao nível de significância de 0,05, indicando violação da suposição de normalidade. Diante disso, optou-se pela utilização da correlação de Spearman

nas análises comparativas, por se tratar de uma abordagem não paramétrica robusta às violações de normalidade.

Tabela 11: Valores do teste de normalidade de Shapiro-Wilk

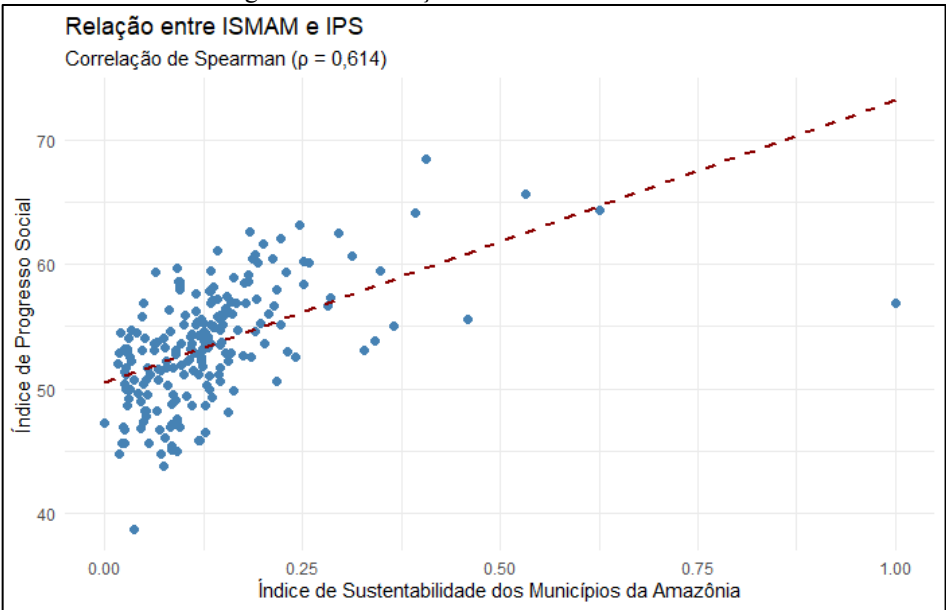
Indicadores	W	p-value
ISMAM	0.72644	< 2.2e-16
IPS	0.99473	= 0.6901
IDSC	0.95911	= 1.189e-05

Fonte 1: Elaborado pelo autor, 2025.

Portanto, os resultados do teste de Shapiro-Wilk indicam que, para dois índices analisados, os p-valores obtidos foram inferiores a 0,05, o que permite rejeitar a hipótese nula de normalidade dos dados. Segundo Marôco (2018), p-valores abaixo desse limiar sugerem que a distribuição dos dados se desvia da normal, o que é comum em estudos com indicadores socioeconômicos e ambientais de áreas geográficas heterogêneas, como a Amazônia Legal.

Com base nos resultados do teste de normalidade, foram aplicadas as correlações entre os três índices. A correlação entre o ISMAM e o IPS foi de $\rho = 0,614$, indicando uma associação positiva moderada a forte. O teste comprova que existe uma correlação entre os dois índices, ou seja, quando um é alto o outro também tende a ser alto. A Figura 53 ilustra graficamente essa relação, revelando uma tendência crescente na distribuição dos pontos, embora com dispersão notável em faixas específicas do ISMAM, o que pode ser atribuído as diferenças conceituais entre os índices. O ISMAM incorpora variáveis relacionadas ao histórico de desmatamento, à estrutura produtiva e à conectividade por modos de transporte, aspectos ausentes no IPS, que foca exclusivamente em indicadores de resultado social e ambiental, calculados com dados recentes.

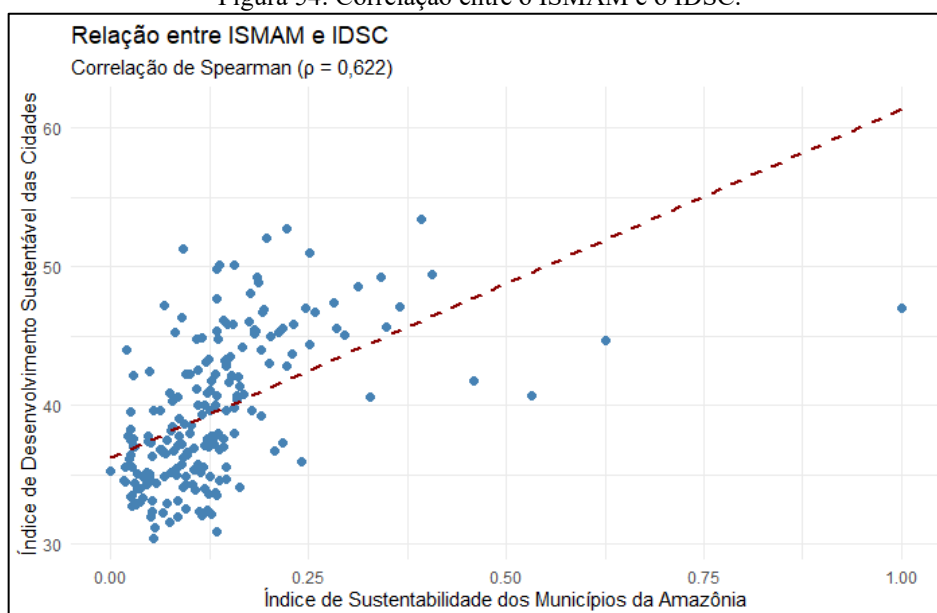
Figura 53: Correlação entre o ISMAM e o IPS.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Rstudio, 2025.

A análise entre o ISMAM e o IDSC apresentou correlação de $\rho = 0,622$, valor próximo ao observado com o IPS. A Figura 54 ilustra essa relação, cuja dispersão é visualmente mais acentuada em municípios com baixos escores no ISMAM, o que indica maior sensibilidade do IDSC a aspectos sociais e ambientais recentes. O IDSC, assim como o IPS, não considera dimensões econômicas estruturantes nem variáveis associadas à conectividade territorial ou à trajetória histórica de desenvolvimento. A diferença metodológica central reside no fato de o ISMAM ser um índice construído com base em dados contínuos de longo prazo (1990-2021), enquanto o IDSC concentra-se em um recorte sincrônico. Essa diferença temporal reforça o caráter complementar do ISMAM como ferramenta analítica e diagnóstica voltada à formulação de políticas públicas adaptadas à realidade dos municípios amazônicos.

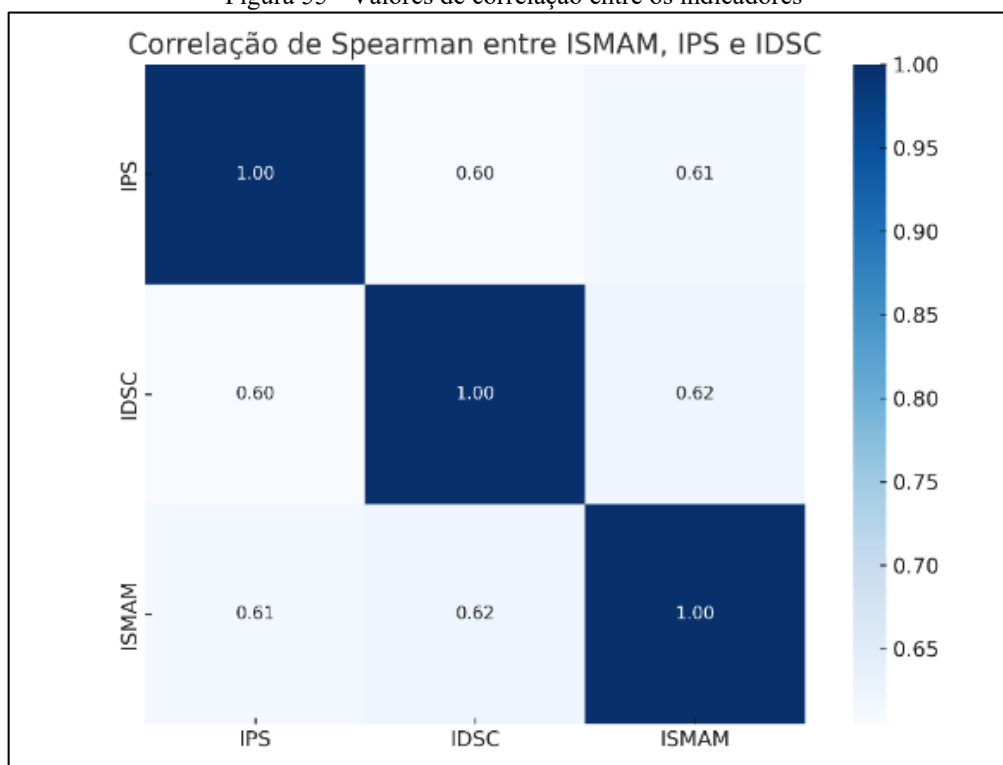
Figura 54: Correlação entre o ISMAM e o IDSC.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Rstudio, 2025.

Por fim, a correlação observada entre o IPS e o IDSC foi de $\rho = 0,605$, também significativa e consistente. Esse resultado reflete a proximidade metodológica entre os dois índices, ambos sustentados majoritariamente por variáveis sociais e ambientais. A magnitude da correlação sugere que há diferenças em suas composições, fontes de dados ou estratégias de normalização. Apesar da diferença metodológica os índices apresentam uma correlação positiva significativa. Ainda assim, essa relação confirma que ambos operam dentro de paradigmas analíticos convergentes, voltados ao monitoramento de condições atuais de bem-estar e sustentabilidade urbana. Ressalta-se que esta análise não se trata de buscar uma equivalência entre índices, mas de buscar uma correção entre eles. A Figura 55 sintetiza visualmente as correlações entre os três índices analisados, facilitando a comparação entre eles.

Figura 55 - Valores de correlação entre os indicadores



Fonte 2: Elaborado pelo autor com auxílio do *software* Rstudio, 2025.

5.5. Síntese Analítica dos Achados Empíricos

Após a revisão da literatura e aplicação dos métodos, nota-se que os resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) e do Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM) evidenciam padrões distintos de desenvolvimento nos municípios atravessados pelos corredores de transporte da Amazônia Legal. A dinâmica do uso do solo, os níveis de integração regional e os impactos ambientais e sociais diferem entre os corredores rodoviário, ferroviário e hidroviário, apontando para desafios e oportunidades na formulação de políticas de transportes sustentáveis. Conforme Athukorala; Narayanan (2018), os corredores de transporte funcionam como vetores de integração econômica e territorial, mas também intensificam processos de degradação ambiental e desigualdades sociais.

O corredor rodoviário apresentou os maiores níveis de desenvolvimento econômico, sobretudo no Mato Grosso, onde a integração logística impulsionou o agronegócio, conforme também apontado por Fearnside, 2017 e Lopes, 2023. No entanto, há um custo ambiental expressivo, refletido na conversão de florestas em pastagens e monoculturas (Soares-Filho *et al.*, 2010). Por outro lado, o corredor hidroviário, apesar de atravessar áreas com extensas coberturas florestais, apresentam os piores indicadores sociais e econômicos, conforme

apontado nos estudos de Verburg *et al.*, (2014), evidenciando que a presença de vegetação nativa não é, por si só, um indicador de sustentabilidade.

A análise dos corredores ferroviários revela um padrão intermediário, com expressiva presença de municípios que passaram da classificação “Baixo” para o “Intermediário”, principalmente a partir de 2011. Isso pode ser explicado pelo grau de integração entre os municípios e a diversificação econômica associada às ferrovias Norte-Sul e Carajás. Houve uma melhora significativa do desempenho dos municípios do sudeste do Pará. Pesquisas de Moia *et al.* (2024), destaca que Parauapebas-PA apresenta maiores índices de bem-estar socioambiental local devido à mineração. Desde o ano 2000, as taxas de impacto para a população atendida com água foram de 3%, esgotamento sanitário de 7%, e coleta de lixo de 3% (Moia *et al.*, 2024). Contudo, a expansão desse modo de transporte também está atrelada a impactos ambientais e sociais significativos, como a pressão sobre terras indígenas e populações tradicionais (Bebbington *et al.*, 2018; Soares-Filho *et al.*, 2019; Araujo *et al.*, 2023).

Conforme apontam as análises de Nogueira Silva *et al.* (2023), a expansão do agronegócio na região Norte do Brasil tem impulsionado significativamente a economia regional, ampliando sua relevância no cenário agroexportador nacional. No entanto, esse crescimento econômico não tem se traduzido, de forma proporcional, em melhorias nas condições de vida da população local. Em municípios com os maiores rebanhos bovinos e maiores volumes de produção de soja, como Marabá e Altamira, persistem elevados níveis de vulnerabilidade social, especialmente entre os inscritos no Cadastro Único (CadÚnico). Assim, os autores afirmam que o acesso precário à educação e aos serviços de saneamento básico continua sendo uma realidade para uma parcela expressiva da população, evidenciando as contradições entre o dinamismo econômico e a persistência de desigualdades estruturais na região.

Os padrões identificados nessa pesquisa reforçam a necessidade de uma nova política voltada à Amazônia, que integre as dimensões ambiental, econômica e social. A partir da metodologia proposta e análise de resultados, nota-se que o desenvolvimento sustentável dos municípios da Amazônia não pode ser baseado apenas na conservação ambiental ou no crescimento econômico isolado, mas deve buscar o equilíbrio entre esses fatores, garantindo qualidade de vida para as populações locais.

O ISMAM, construído a partir da ACP, buscou captar padrões inter-relacionados e fornecer uma métrica objetiva para avaliar a sustentabilidade regional. A abordagem de Ostrom sobre *Commons* e sobre sistemas socioecológicos reforçam a importância de incorporar a variabilidade espacial e institucional nos modelos analíticos, destacando que políticas de

governança eficazes devem levar em conta as características específicas de cada contexto local, ou seja, deve-se propor de estratégias adaptativas para a gestão sustentável no contexto amazônico, algo que foi alinhando na proposta metodológica deste estudo.

As evidências deste estudo indicam que políticas públicas voltadas à Amazônia não podem ser padronizadas ou fragmentadas. Elas devem integrar infraestrutura, conservação ambiental, acesso a serviços essenciais e geração de oportunidades econômicas sustentáveis. Isso exige investimentos coordenados, fortalecendo capacidades institucionais locais, promovendo inovação tecnológica para cadeias produtivas sustentáveis (como a bioeconomia) e assegurando mecanismos de participação social ativa nos processos de decisão. A inclusão de diretrizes como essas em futuros programas e planos territoriais pode contribuir para reverter desigualdades históricas e construir caminhos de desenvolvimento que conciliem crescimento, justiça social e conservação ambiental.

Em síntese, os resultados da ACP e do ISMAM contribuem para o debate sobre o presente e o futuro da Amazônia ao demonstrar que a sustentabilidade exige abordagens diferenciadas para cada tipo de corredor e municípios. A formulação de novas políticas precisa considerar as especificidades locais e garantir que o desenvolvimento ocorra de forma inclusiva e ambientalmente responsável (Bebbington *et al.*, 2018). Assim, a integração entre infraestrutura, governança, conservação ambiental e comunidades locais é fundamental para garantir um futuro sustentável para a região.

Dessa forma, ao propor um índice próprio (ISMAM) e evidenciar a heterogeneidade dos impactos territoriais dos corredores logísticos, esta Tese contribui com subsídios concretos para a formulação de políticas públicas mais integradas e sensíveis às realidades locais. A sustentabilidade da Amazônia exige mais do que conservação ou crescimento: exige justiça territorial, equidade no acesso a oportunidades e respeito à diversidade social, ambiental e cultural da região.

Como etapa final da construção desta Tese, foi elaborada uma nuvem de palavras (Figura 56) a partir do texto integral do trabalho, com o objetivo de ilustrar visualmente os principais temas abordados. Nessa representação, o tamanho de cada palavra é proporcional à sua frequência no documento, permitindo identificar os termos mais recorrentes.

Figura 56: Nuvem de palavras



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio do aplicativo *WordClouds*, 2025.

Destacam-se, em maior evidência, palavras como “Amazônia”, “corredores”, “municípios”, “desenvolvimento”, “transporte” e “sustentável”, o que reforça a centralidade das infraestruturas viárias e seus impactos socioeconômicos e ambientais na análise realizada. Além disso, a presença de termos como “dados”, “variáveis”, “análise”, “correlação” e “componentes” reflete a abordagem metodológica adotada, baseada em modelagem espacial e estatística multivariada. Essa visualização contribui para reafirmar a coerência temática da pesquisa, conectando os achados empíricos à análise bibliométrica e evidenciando a integração entre economia, sociedade e meio ambiente no contexto amazônico.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa permitiram uma análise comparativa sobre o impacto dos corredores de transporte no desenvolvimento sustentável de um grupo de 206 municípios da Amazônia nas últimas décadas. Utilizando a Análise de Componentes Principais (ACP) e a partir dela, o Índice de Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia (ISMAM) foi possível identificar padrões dinâmicos nas trajetórias de desenvolvimento dos municípios atravessados pelos corredores hidroviário (Solimões-Amazonas), ferroviários (Carajás e Norte-Sul) e rodoviário (Cuiabá-Santarém). Os achados apontam que diferentes corredores apresentam impactos distintos, evidenciando que fatores como integração logística, infraestrutura adequada e equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental são fundamentais para a promoção da sustentabilidade na região.

Para garantir tal sustentabilidade, se faz necessário que a tríade econômica, social e ambiental esteja em sintonia. Dessa forma, a promoção do desenvolvimento sustentável para a Amazônia perpassa pela redução das desigualdades intra e inter-regionais, cujos reflexos recaem na melhoria dos indicadores e consequentemente, na qualidade de vida das comunidades. Mesmo sendo contemplada pela sua imensa riqueza natural, a Amazônia Legal é também caracterizada por apresentar cronicamente baixos índices nos indicadores de desenvolvimento econômico e social, principalmente nos municípios atravessados pela Hidrovia Solimões-Amazonas.

Outra questão relevante está atrelada a decisões políticas. A descontinuidade nos planos e programas governamentais exerce um impacto significativo sobre os projetos elaborados para a Amazônia, repercutindo nas esferas social, ambiental e econômica da região. Essa falta de continuidade gera uma série de consequências negativas. No âmbito social, por exemplo, a falta de conclusão de projetos, como a manutenção das hidrovias, conclusão da BR-163 e trecho norte da ferrovia Norte-Sul, pode resultar em uma infraestrutura inadequada, afetando a eficiência dos corredores econômicos o acesso a serviços básicos como saúde e educação para as comunidades locais. Além disso, pode gerar incertezas e instabilidade socioeconômica, dificultando o planejamento de longo prazo para as populações amazônicas.

A compreensão da dinâmica econômica, social e ambiental da Amazônia se faz necessário e os estudos podem servir de aporte para atingir os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, proposto pela ONU em 2015. Para isso, é necessário planejar estratégias que considerem as riquezas naturais da região, a população residente e a biodiversidade, focando na sustentabilidade econômica, social e ambiental de forma conjunta. É necessário considerar também a finalidade de grandes projetos para a Amazônia, considerando a floresta e os rios

como partes integrantes da própria engenharia, visto que a região tem por vocação natural o transporte fluvial. E o transporte hidroviário tem grande capacidade de contribuir para o alcance dos ODS em termos de capacidade de carga e emissão de poluentes.

Em contraste, os municípios situados ao longo do principal corredor hidroviário da Amazônia apresentaram as classificações mais baixas no ISMAM, com predominância de territórios enquadrados nos níveis “Muito baixo” e “Baixo” de sustentabilidade. Essa realidade pode estar relacionada à inação do poder público na promoção de políticas estruturantes voltadas à região. Embora esses municípios possuam extensas áreas de floresta preservada, os indicadores socioeconômicos insatisfatórios demonstram que a conservação ambiental, isoladamente, não assegura o desenvolvimento sustentável. Na prática, a ausência de infraestrutura, o acesso precário a serviços essenciais e a baixa dinamização econômica comprometem a melhoria das condições de vida das populações locais.

O corredor rodoviário, BR-163, mostrou uma tendência de melhora nos índices de desenvolvimento, com um aumento progressivo de municípios classificados como “Intermediário” e “Alto”. Essa dinâmica pode ser atribuída à forte integração logística e à expansão da agropecuária, que tem impulsionado a economia local. Entretanto, o modelo de crescimento associado à rodovia também resultou em pressão ambiental significativa, com desmatamento extensivo e consequente perda de biodiversidade. Dessa forma, ainda que os avanços econômicos e sociais sejam evidentes, a sustentabilidade de longo prazo desses territórios depende de políticas que conciliem produção e conservação ambiental.

O corredor ferroviário, composto pelas ferrovias Norte-Sul e Carajás, apresentou uma tendência positiva ao longo das décadas, com a maioria dos municípios classificados como “Intermediário”, principalmente nos anos mais recentes. Esse padrão pode ser atribuído ao alto grau de integração territorial e ao modelo de desenvolvimento associado à mineração no sudeste do Pará, bem como à expansão da fronteira agrícola na região conhecida como MATOPIBA, acrônimo formado pelas siglas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. A presença dessas ferrovias tem desempenhado um papel importante no transporte de pessoas pela Ferrovia dos Carajás e na logística de escoamento da produção de grãos e minérios, promovendo uma infraestrutura de transportes mais eficiente e conectada a mercados nacionais e internacionais.

No entanto, apesar desses avanços do corredor ferroviário, desafios significativos permanecem, especialmente no que se refere à distribuição equitativa dos benefícios econômicos. A atividade mineral, por exemplo, gera riqueza expressiva, mas também pode acentuar desigualdades sociais, tornando as economias locais excessivamente dependentes desse setor. Além disso, os impactos socioambientais da mineração e da expansão agrícola

precisam ser gerenciados para evitar degradação ambiental a longo prazo e garantir que as comunidades locais se beneficiem do desenvolvimento regional de maneira sustentável.

Os resultados obtidos fornecem subsídios importantes para o planejamento de novas políticas públicas voltadas para a Amazônia. O avanço da infraestrutura de transportes deve ser acompanhado de estratégias que minimizem impactos socioambientais e promovam um desenvolvimento mais equitativo. No caso do corredor hidroviário, é necessário investir em educação, saúde e geração de empregos para fortalecer o desenvolvimento social dessas comunidades. Já nos corredores rodoviário e ferroviário, é essencial garantir um planejamento territorial que evite a degradação ambiental e a concentração de riquezas em poucos setores.

Diante do exposto, salienta-se que o trabalho atingiu o objetivo principal ao analisar os impactos multidimensionais dos corredores de transporte (rodoviário, ferroviário e hidroviário) no desenvolvimento sustentável da Amazônia Legal, identificando diferentes sinergias e conflitos decorrentes da implantação dessas infraestruturas e fornecendo subsídios para políticas de planejamento territorial e de transportes de um grupo de municípios com dados de 1990 a 2021.

Em relação a pergunta condutora desta Tese, “em que medida, diferentes corredores de transportes da Amazônia têm impactado no desenvolvimento sustentável da região ao longo das últimas décadas?” Pode-se afirmar que as infraestruturas analisadas têm impactado o desenvolvimento sustentável da região de forma desigual ao longo do tempo, refletindo padrões contrastantes entre os modos hidroviário, rodoviário e ferroviário. Os resultados das análises descritivas, testes estatísticos, aplicação da ACP e organização do ISMAM demonstram certo grau de desequilíbrio entre os municípios da Amazônia Legal, conforme levantado na hipótese desta pesquisa onde afirmou-se que “a presença de corredores de transporte na Amazônia Legal tem promovido dinâmicas contrastantes de desenvolvimento em nível local, sugerindo que seus impactos variam conforme o modo de transporte, grau de integração territorial e diversidade econômica”

Esses resultados evidenciam que a presença de infraestrutura de transporte por si só não garante o desenvolvimento sustentável, sendo necessário um planejamento territorial que equilibre crescimento econômico, equidade social e conservação ambiental. Enquanto os corredores rodoviário e ferroviário impulsionam o desenvolvimento econômico e social, mas pressionam os recursos naturais, os municípios do corredor hidroviário, apesar da menor conversão de áreas florestais, enfrentam desafios estruturais e baixos índices de qualidade de vida. Assim, as sinergias e os conflitos entre os três pilares da sustentabilidade variam conforme o tipo de corredor, exigindo estratégias diferenciadas de gestão. Políticas públicas voltadas à

governança territorial, incentivos à economia sustentável (bioeconomia) e mecanismos de compensação ambiental podem contribuir para um modelo de infraestrutura de transportes mais equilibrado e alinhado aos princípios do desenvolvimento sustentável na Amazônia.

Assim, a pesquisa demonstra que os corredores de transporte têm desempenhado papel elementar na configuração das dinâmicas territoriais da Amazônia. A diferença de impactos entre os corredores reforça a necessidade de políticas diferenciadas, adaptadas às realidades locais. Os próximos passos envolvem aprofundar essa análise, considerando variáveis adicionais e explorando novas metodologias que possam contribuir ainda mais para a compreensão das relações entre infraestrutura, desenvolvimento e sustentabilidade na região amazônica.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se expandir a aplicação da metodologia adotada para toda a Amazônia Legal, a fim de compreender as dinâmicas do desenvolvimento sustentável em diferentes contextos municipais. Estudos posteriores podem aprofundar a ACP e o ISMAM por meio da incorporação de novas variáveis, da utilização de modelagens dinâmicas e da integração com outras bases de dados. Tais avanços permitirão monitorar com maior precisão os processos associados ao desenvolvimento sustentável na região. Além disso, análises estatísticas complementares, como testes de regressão e comparações entre diferentes modalidades de infraestrutura de transportes na Amazônia brasileira, podem oferecer novos insights e fortalecer a base empírica sobre os impactos territoriais dessas redes.

REFERÊNCIAS

- AARHAUG, Jørgen; GUNDERSEN, Frants. Infrastructure investments to promote sustainable regions. *Transportation research procedia*, v. 26, p. 187–195, 2017.
- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, v. 2, n. 4, p. 433–459, 2010.
- ABRAMOVAY, Ricardo. *Infraestrutura para o desenvolvimento sustentável da Amazônia*. São Paulo: Editora Elefante, 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). ANAC aplica restrição operacional ao aeródromo de Parintins, no Amazonas. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2024/anac-aplica-restricao-operacional-ao-aerodromo-de-parintins-no-amazonas>. Acesso em: 11 abr. 2025.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Disponível em: <<https://www.gov.br/antag/pt-br>>. Acesso em: 11 maio 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). ANTT e Via Brasil assinam contrato de concessão da BR-163/230/MT/PA. Brasília: ANTT, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/antt-e-via-brasil-assinam-contrato-de-concessao-da-br-163-230-mt-pa>. Acesso em: 6 maio 2023.
- AKSNES, D. W., LANGFELDT, L., & WOUTERS, P. Citations, citation indicators, and research quality: An overview of basic concepts and theories. *Sage Open*, v. 9, n. 1, p. 2158244019829575, 2019.
- ALONSO, W.; REY, S. J. Space and economics: a (gentle) introduction to Thünen's model. In: *Handbook of Regional Science*. Berlin: Springer, 2012. p. 125–143.
- ALVES, Erisvaldo de Oliveira. *Desenvolvimento regional no sudeste do Pará: uma fronteira de expansão no centro norte do Brasil*. 2019. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.
- ANDRADE, Mauricio Oliveira. *Efeitos da melhoria da mobilidade rodoviária sobre a economia local e regional: O caso da duplicação da BR-232/PE*. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFPE. 2012.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association - LISA. *Geographical Analysis*, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- ARAGÃO, Joaquim José Guilherme de et al. Potencial dos corredores econômicos para viabilização de investimento em infraestrutura viária: estudo dos eixos nacionais de integração e desenvolvimento (ENID) e da iniciativa de integração da infraestrutura regional sul-

americana (IIRSA). *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional - G&DR*, Taubaté, SP, v. 18, n. 3, p. 398-412, set./dez. 2022. ISSN 1809-239X.

ARAUJO, Emmanoella Costa Guaraná et al. Bioeconomy in the Amazon: Lessons and gaps from thirty years of non-timber forest products research. *Journal of Environmental Management*, v. 370, p. 122420, 2024.

ARAUJO, Rafael Carlquist Rabelo de; ASSUNÇÃO, Juliano; BRAGANÇA, Arthur Amorim. The effects of transportation infrastructure on deforestation in the Amazon: a general equilibrium approach. Washington, D.C.: World Bank, 2023. (Policy Research Working Paper, n. 10415). Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/39728>. Acesso em: 12 fev. 2025.

ASHER, Sam; GARG, Teevrat; NOVOSAD, Paul. O impacto ecológico da infraestrutura de transporte. *The Economic Journal*, v. 130, n. 629, p. 1173-1199, 2020.

ATHUKORALA, Prema-Chandra; NARAYANAN, Suresh. Economic corridors and regional development: the Malaysian experience. *World Development*, v. 106, p. 1-14, 2018.

ATKINSON, Giles et al. *Measuring sustainable development: macroeconomics and the environment*. 1997.

BADIU, Denisa L. et al. Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities' sustainability goals? Romania as a case study. *Ecological Indicators*, v. 70, p. 53-66, 2016.

BAJWOLUK, T.; LANGER, P. Impact of the “Krakow East–Bochnia” Road Transport Corridor on the Form of the Functio-Spatial Structure and Its Economic Activity. *Sustainability*, v. 14, 2022.

BALTAGI, Badi Hani. *Econometric analysis of panel data*. Chichester: John Wiley & Sons, 2008.

BANCO MUNDIAL. *Relatório sobre o desenvolvimento mundial 2022: finanças para uma recuperação equitativa*. Washington, DC: Banco Mundial, 2022. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2022>. Acesso em: 04 mar. 2025.

Banister, D., & Hickman, R. *Transport, climate change and the city*. Routledge, 2013.

BANISTER, David; BERECHMAN, Yossi. Transport investment and the promotion of economic growth. *Journal of transport geography*, v. 9, n. 3, p. 209-218, 2001.

BAO, L. et al. Development of socially sustainable transport research: A bibliometric and visualization analysis. *Travel Behaviour and Society*, v. 30, p. 60-73, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.08.012>.

BARBER, Christopher P. et al. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological conservation*, v. 177, p. 203-209, 2014.

BARLOW, Jos et al. The critical importance of considering fire in REDD+ programs. *Biological Conservation*, v. 154, p. 1-8, 2012. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.034>

BARRERA-ROLDÁN, Adrián; SALDIVAR-VALDÉS, Américo. Proposal and application of a Sustainable Development Index. *Ecological Indicators*, v. 2, n. 3, p. 251-256, 2002.

BEBBINGTON, A. J. et al. Resource extraction and infrastructure threaten forest cover and community rights. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115, n. 52, p. 13164–13173, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1812505115>.

BEBBINGTON, J. Sustainable development: a review of the international development, business and accounting literature. In: *ACCOUNTING FORUM*. London: Taylor & Francis, 2001. p. 128–157.

BECKER, B. K. *Amazônia: geopolítica na virada do III milênio*. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10047>. Acesso em: 31 jul. 2025.

BERG, C. N.; DEICHMANN, U.; LIU, Y.; SELOD, H. Transport policies and development. Washington, DC: The World Bank Group, 2015. (Policy Research Working Paper, 7366).

BHATTACHARYA, K.; SARKAR, D.; CHATURVEDI, S. Application of factor analysis and structure equation modelling for evaluation of key performance indicators for development of sustainable transportation infrastructure. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, v. 104, n. 4, p. 791–806, 2023.

BIANCHI, A. G. Impactos econômicos e sociais de uma concessão rodoviária. 2022. 90 f. Dissertação (Mestrado Profissional em MPE) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2022.

BOOYSEN, F. An overview and evaluation of composite indices of development. *Social Indicators Research*, v. 59, p. 115–170, 2002.

BORGES, A. M.; DOURADO, A. B. F.; ANDRADE, M. O.; ARAGÃO, J. J. G. Regional development and transport infrastructure in the Brazilian Amazon region: a literature review on governmental plans for the Transamazon Highway. *Transportation Research*

Procedia, v. 82, p. 2262–2275, 2025. ISSN 2352-1465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.12.185>.

BRAGA, T. M. et al. Índices de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar. *Nova Economia*, v. 14, n. 3, p. 11-33, 2004.

BRANCO, J. E. H. et al. Evaluation of the economic and environmental impacts from the addition of new railways to the Brazilian's transportation network: an application of a network equilibrium model. *Transport Policy*, v. 124, p. 61–69, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.03.011>.

BRANDÃO, D. O.; ARIEIRA, J.; NOBRE, C. A. Impactos das mudanças climáticas na sociobioeconomia da Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 38, n. 112, p. 249–270, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.202438112.014>.

BRASIL. Casa Civil da Presidência da República. *Novo PAC - Programa de Aceleração do Crescimento*. Brasília, 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2023/agosto/governo-lanca-novo-pac-com-previsao-de-investimentos-de-r-1-7-trilhao-ate-2026>. Acesso em: 20 abr. 2025.

BRASIL. Decreto nº 11.632, de 11 de agosto de 2023. Institui o Novo Programa de Aceleração do Crescimento – Novo PAC. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 14 ago. 2023.

BRASIL. Decreto nº 11.632, de 11 de agosto de 2023. Institui o Novo Programa de Aceleração do Crescimento - Novo PAC. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 14 ago. 2023.

BRASIL. Decreto nº 11.962, de 22 de março de 2024. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Regional. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 22 mar. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D11962.htm. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRASIL. Decreto-Lei nº 1.106, de 16 de junho de 1970. Cria o Programa de Integração Nacional.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. *Líder nacional na produção agrícola, Mato Grosso tem seis dos dez municípios que mais geraram riqueza nesse segmento no ano passado*. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/composicao/sfa/mato-grosso/noticias/lider-nacional-na-producao-agricola-mato-grosso-tem-seis-dos-dez-municipios-que-mais-geraram-riqueza-nesse-segmento-no-ano-passado>. Acesso em: 13 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Amazônia Legal ganha comitê estratégico coordenado pela Sudam para acelerar investimentos. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/amazonia-legal-ganha-comite-estrategico-coordenado-pela-sudam-para-acelerar-investimentos>. Acesso em: 21 abr. 2025. (Brasil, 2025)

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. *MIDR investirá mais de R\$ 17 bilhões em projetos de bioeconomia, infraestrutura e obras hídricas na Amazônia Legal*. 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202403/ministerio-da-integracao-e-desenvolvimento-regional-investira-mais-de-r-17-bilhoes-em-projetos-de-bioeconomia-infraestrutura-e-obras-hidricas-na-amazonia-legal>. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Sistema Federal de Viação. Brasília, DF: Ministério dos Transportes, [2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/rodovias-federais/sistema-federal-de-viacao>. Acesso em: 31 jul. 2025.

BRASIL. Plataforma Novo PAC. *Informações por estado e eixos temáticos*. Brasília, 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/novopac>. Acesso em: 20 abr. 2025.

BRASIL. Presidência da República. *Plano Amazônia Sustentável: diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Brasileira*. Brasília: MMA, 2008. Brasília: PNUMA/OTCA, 2008.

BURNHAM, J. F. Scopus database: a review. *Biomed Digital Library*, v. 3, n. 1, p. 1, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1742-5581-3-1>.

CARDOSO JR., José Celso. *A reinvenção do planejamento governamental no Brasil*. Brasília: IPEA, 2009.

CARLIER, Julien; MORAN, James. Landscape typology and ecological connectivity assessment to inform Greenway design. *Science of the Total Environment*, v. 651, p. 3241-3252, 2019.

CAVIGGIOLI, Federico; UGHETTO, Elisa. A bibliometric analysis of the research dealing with the impact of additive manufacturing on industry, business, and society. *International Journal of Production Economics*, v. 208, p. 254-268, 2019.

CHATFIELD, Chris. *Statistics for technology: a course in applied statistics*. 4th ed. London: Routledge, 2018.

CHEIN, Flávia; PROCÓPIO, Igor Vieira. As cidades na Amazônia Legal: diagnóstico, desafios e oportunidades para urbanização sustentável. 2021. Disponível em:

<https://amazonia2030.org.br/as-cidades-na-amazonia-legal-diagnostico-desafios-e-oportunidades-para-urbanizacao-sustentavel/>. Acesso em: 14 maio 2025.

CHEN, Chia-Lin; VICKERMAN, Roger. Can transport infrastructure change regions' economic fortunes? Some evidence from Europe and China. In: *Transitions in Regional Economic Development*. Routledge, 2018. p. 257-286.

CHEN, Jian; et al. Research on geographical environment unit division based on the method of natural breaks (Jenks). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XL-4/W3, p. 47–50, 2013. Disponível em: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-4-W3/47/2013/>. Acesso em: 4 jun. 2025.

CHUPIN, Alexander; et al. Sustainable financing for transport infrastructure: an integral approach for the Russian Federation. *Sustainability*, Basel, v. 16, n. 8, p. 3108, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/8/3108>. Acesso em: 31 jan. 2025.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). *Nosso futuro comum*. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2023). *Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2022/23*. Brasília: CONAB. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>

CONOVER, W. J. *Practical nonparametric statistics*. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

CÔRTEZ, Julia Corrêa; D'ANTONA, Álvaro de Oliveira; OJIMA, Ricardo. Urbanização extensiva e reconfiguração rural na Amazônia: uma proposta teórico-metodológica baseada em indicadores demográficos e espaciais. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 22, p. e202015, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202015>.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. 5. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2017.

CRISTO, Laís de Andrade; SANTOS, Marco Aurélio; MATLABA, Valente José. Socioeconomic and environmental vulnerability index in the Brazilian Amazon: the case of the Carajás Railroad. *The Extractive Industries and Society*, v. 11, p. 101128, 2022.

DA SILVA, Viviane Vidal; DA COSTA SILVA, Ricardo Gilson; LIMA, Luis Augusto Pereira. A estruturação da fronteira agrícola no sul do estado do Amazonas. *Geographia Opportuno Tempore*, v. 5, n. 1, p. 67–82, 2019.

DAI, Xiaomin; LIU, Menghan; LIN, Qiang. Research on optimization strategies of regional cross-border transportation networks: implications for the construction of cross-border transport corridors in Xinjiang. *Sustainability*, v. 16, n. 13, p. 5337, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16135337>.

DANI, A.; PEREIRA, C. A. Z.; PARENTE, M. L.; SANTOS, N. M. de P. Impactos socioambientais da mineração e espacialização de indicadores de desenvolvimento humano (IDHM) na microrregião de Parauapebas (PA). *Revista GeoAmazônia*, v. 10, n. 19, p. 141–158, 2022.

DANISH; ZHANG, B.; WANG, B. *Toward achieving environmental sustainability target in Organization for Economic Cooperation and Development countries: The role of real income, research and development, and transport infrastructure. Sustainable Development*, v. 28, n. 1, p. 83–90, 2020.

DE ARROXELAS GALVÃO, O. J. *Desenvolvimento dos transportes e integração regional no Brasil: uma perspectiva histórica. Planejamento e Políticas Públicas*, n. 13, 1996.

DE MAESSCHALCK, R.; JOUAN-RIMBAUD, D.; MASSART, D. L. *The Mahalanobis distance. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 50, n. 1, p. 1–18, 2000. DOI: 10.1016/S0169-7439(99)00047-7.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br>. Acesso em: 11 maio 2023.

DOMINGUES, S. C. O. et al. *Dinâmica do arco do desmatamento: fronteiras agrícolas. Scientific Electronic Archives*, v. 13, n. 8, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://scientificelectronicarchives.org/index.php/SEA/article/download/1035/pdf/3565>. Acesso em: 22 jun. 2025.

ECKERSTEN, S.; GUNNARSSON-ÖSTLING, U.; BALFORS, B. *Inclusion and exclusion of environmental aspects in early-stage planning of transport infrastructure projects: A Swedish case study. International Journal of Sustainable Transportation*, v. 17, n. 4, p. 369–381, 2023.

ELKINGTON, J. *25 years ago I coined the phrase ‘Triple Bottom Line.’ Here’s why it’s time to rethink it. Harvard Business Review*, 25 jun. 2018. Disponível em: <https://hbr.org/2018/06/25-years-ago-i-coined-the-phrase-triple-bottom-line-heres-why-im-giving-up-on-it>. Acesso em: 10 out. 2024.

ELKINGTON, J.; ROWLANDS, I. H. *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. Alternatives Journal*, v. 25, n. 4, p. 42, 1999.

ELLEGAARD, O.; WALLIN, J. A. *The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact?* *Scientometrics*, v. 105, p. 1809–1831, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>.

FEARNSIDE, P. M. *Amazon forest maintenance as a source of environmental services*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 80, p. 101–114, 2015.

FEARNSIDE, P. M. *Deforestation of the Brazilian Amazon*. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.102>. Acesso em: 16 maio 2025.

FEARNSIDE, P. M. *Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências*. *Destrução e Conservação da Floresta Amazônica*, v. 1, p. 7–19, 2005.

FEARNSIDE, P. M. *Destrução e conservação da floresta amazônica*. Manaus: Editora do INPA, 2022.

FERREIRA, J. et al. *Brazil's environmental leadership at risk*. *Science*, v. 346, n. 6210, p. 706–707, 2014.

FIELD, A. *Discovering statistics using SPSS*. 2. ed. London: Sage, 2005.

FIELD, Andy. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. London: Sage Publications Limited, 2024.

FIELD, Andy; FIELD, Zoe; MILES, Jeremy. *Discovering statistics using R*. London: Sage Publications, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto et al. *Precisamos falar sobre métodos quantitativos em Ciência Política*. *Revista Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social*, n. 11, p. 21–39, 2016.

FISTUNG, F. D.; FISTUNG, O. B.; POPESCU, T. *Transport infrastructure influences on the regional development*. *Acta Universitatis Danubius. Œconomica*, v. 9, n. 6, p. 184–194, 2013.

FRANCO, Caetano Lucas Borges. *Proteção ambiental de base comunitária em duas áreas protegidas da Amazônia brasileira*. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão de Áreas Protegidas na Amazônia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Programa de Pós-Graduação em Gestão de Áreas Protegidas na Amazônia (PPG-MPGAP), Manaus, 2020.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). *COP30 em Belém: a preparação de Pará para receber evento histórico da ONU*. *FGV Notícias*, 2024. Disponível em: <https://portal.fgv.br/noticia/cop30-em-belem-preparacao-de-para-para-receber-evento-historico-da-onu>. Acesso em: 25 jan. 2025.

GABRIELE, Pedrita Dantas et al. Comparação internacional da eficiência ambiental dos modos de transporte rodoviário e ferroviário. *Journal of Transport Literature*, v. 7, p. 212–229, 2013.

GARNELO, Luiza; FEARNSSIDE, Philip Martin; FERRANTE, Lucas. Amazônia: entre devastação, violência e fios de esperança. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 39, p. e00152723, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311XPT152723>.

GARVIN, D. A. *Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND CARTOGRAPHY. Data classification. 2023. Disponível em: <https://slcc.pressbooks.pub/gis>. Acesso em: 12 mar. 2024.

GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 2010.

GIULIANO, Genevieve; HANSON, Susan (ed.). *The geography of urban transportation*. New York: Guilford Publications, 2017.

GODFREY, L.; TODD, C. Defining thresholds for freshwater sustainability indicators within the context of South African water resource management. In: *Practice, Cases*. Cape Town, South Africa, 2001.

GOMES, M. A. F. et al. Transparência ambiental: da disponibilidade ao acesso à informação. *Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia*, v. 12, n. 1, p. 1–15, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pci/a/fhQJmJnWggZWynGxSXYd9Qw/>. Acesso em: 6 maio 2024.

GOODCHILD, Michael. Twenty years of progress: GIScience in 2010. *Journal of Spatial Information Science*, n. 1, p. 3–20, 2010.

GRAESSER, Jordan; et al. Cropland/pastureland dynamics and the slowdown of deforestation in Latin America. *Environmental Research Letters*, v. 10, n. 3, p. 034017, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/3/034017>. Acesso em: 16 maio 2025.

GRANO, Giovanni; et al. How high will it be? Using machine learning models to predict branch coverage in automated testing. In: *IEEE WORKSHOP ON MACHINE LEARNING TECHNIQUES FOR SOFTWARE QUALITY EVALUATION (MaLTesQuE)*, 2018, [local não informado]. Anais [...]. Piscataway: IEEE, 2018. p. 19–24.

GUAN, H.; ZHANG, J.; ZHU, X. Research on labor market institutional environment and labor agglomeration – Analysis based on dynamic spatial panel data. *Frontiers in Sociology*, v. 6, p. 738134, 2021. DOI: 10.3389/fsoc.2021.738134. PMID: 34692818; PMCID: PMC8531718.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. *Econometria básica*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. *Multivariate data analysis*. 7th ed. Harlow: Pearson, 2014.

HAIR, Joseph F.; et al. *Análise multivariada de dados*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HANUSCH, Marek. Equilíbrio delicado para a Amazônia Legal Brasileira: um memorando econômico. *Desenvolvimento Internacional em Destaque*. Washington, DC: Banco Mundial, 2023. DOI: 10.1596. Licença: Creative Commons Attribution CC BY, v. 3.

HARRIS, N.; LEWIS, A. Transportation corridors as a development strategy: an analysis of the new economic geography. *Journal of Transport Geography*, v. 63, p. 191–199, 2017.

HOEFLE, Scott William. A fronteira agrícola na Amazônia do século XXI: identidade regional, sistema agrícola, ética ambiental e modo de vida rural. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 62, n. 1, p. 13–50, 2017.

HUANG, J. H.; et al. A historical review and bibliometric analysis of research on weak measurement research over the past decades based on Biblioshiny. *arXiv preprint*, arXiv:2108.11375, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2108.11375>. Acesso em: 16 maio 2025.

ICS – INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS; SUSTAINABLE DEVELOPMENT SOLUTIONS NETWORK (SDSN). *Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR)*. São Paulo: ICS; SDSN, 2021. Disponível em: <https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/>. Acesso em: 1 maio 2025.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Monitoramento do desmatamento da Amazônia Legal por satélite: PRODES 2023*. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 15 maio 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 30 out. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE LOGÍSTICA (IBL). *Estudo técnico referente à Rodovia Federal BR-163*. 2021. Disponível em: <https://ibl.org.br/wp-content/uploads/2021/05/Estudo-Tecnico-da-Rodovia-BR-163.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (Ipea). O que é Amazônia Legal. *Desafios do Desenvolvimento*, n. 44, 2008. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?id=2154%3Acatid%3D28&option=com_content. Acesso em: 11 maio 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Estudo do INPE indica que o rio Amazonas é 140 km mais extenso que o Nilo. *Notícias INPE*, 1 jul. 2008. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1501. Acesso em: 14 ago. 2024.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES (ICLEI); INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE (IDRC); UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *The Local Agenda 21 Planning Guide: an introduction to sustainable development planning*. Toronto, ON: ICLEI; Ottawa: IDRC; Nairobi: UNEP, 1996. ISBN 0-88936-801-5.

JACKSON, J. E. *A user's guide to principal components*. Hoboken, NJ: Wiley, 1991.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. *Applied multivariate statistical analysis*. 6th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2002.

JOLLIFFE, I. T. *Principal component analysis for special types of data*. New York: Springer, 2002.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, v. 379, n. 2191, 2021.

JOLLIFFE, Ian T.; CADIMA, Jorge. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 374, n. 2065, p. 20150202, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>. Acesso em: 14 maio 2025.

KABASHKIN, Igor; SANSYZBAYEVA, Zura. Methodological framework for sustainable transport corridor modeling using Petri Nets. *Sustainability*, v. 16, n. 2, p. 489, 2024.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. *factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses*. R package version 1.0.7, 2020.

KAWAMOTO, E. *Análise de sistema de transportes*. 2. ed. rev. e aum. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2002.

KOPCZEWSKA, Katarzyna. *Estatística espacial aplicada e econometria: análise de dados em R*. Londres: Routledge, 2020.

KRUGMAN, Paul. Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, Chicago, v. 99, p. 483-499, 1991.

KUMAR, Prashant; IMAM, Boulent. Footprints of air pollution and changing environment on the sustainability of built infrastructure. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 444, p. 85-101, 2013.

LACERDA, Klintia Costa; SITUBA, Nágila dos Santos. Transporte Fluvial e Aéreo na Amazônia Legal: um estudo de caso no Município de Eirunepé-Amazonas. *Geografia (Londrina)*, Londrina, v. 29, n. 2, p. 51-67, 2020.

LAKHMINARAYANAN, S.; NAIR, Shalini R.; CHANDRASEKAR, P. Economic growth and spatial analysis in transport corridors: a preliminary review. *Journal of Applied Engineering Sciences*, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 117-124, 2024.

LAURANCE, William F.; SAYER, Jeffrey; CASSMAN, Kenneth G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology & Evolution*, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 107-116, 2014.

LAURINO, Bianca. Evolucionismo social e diversidade cultural. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: <https://ensinosociologia.fflch.usp.br/sites/ensinosociologia.fflch.usp.br/files/inline-files/Bianca%20Laurino%20-%20Evolucionismo-%20Texto%20te%C3%B3rico.pdf>. Acesso em: 6 maio 2024.

LAWN, Philip A. A theoretical foundation to support the Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW), Genuine Progress Indicator (GPI), and other related indexes. *Ecological Economics*, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 105-118, 2003.

LI, Xiaomei et al. Analysis of spatial-temporal distribution of notifiable respiratory infectious diseases in Shandong Province, China during 2005–2014. *BMC Public Health*, London, v. 21, n. 1, p. 1597, 2021.

LIMA NETO, Oswaldo; BRASILEIRO, Anísio; SANTOS, Enilson. *Transportes no Brasil: história e reflexões*. Brasília: GEIPOT; Ministério dos Transportes, 2001.

LONGLEY, Paul A. et al. *Geographic information science and systems*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

LOPES, Elisangela Pereira. *Desenho da cadeia do agronegócio e análise da sua completude como ferramentas para assegurar arrecadação fiscal*. 2023. xviii, 226 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Brasília, 2023.

LUO, Yiyi; LI, Lingchao; CHENG, Baodong. The impact of economic growth on forest fragmentation: a case study of Beijing-Tianjin-Hebei Region in China. *Journal of Nanjing Forestry University*, [S.l.], v. 48, n. 1, p. 227, 2024.

MACCALLUM, R. C. et al. Sample size in factor analysis. *Psychological Methods*, Washington, DC, v. 4, n. 1, p. 84, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1037/1082-989X.4.1.84>.

MÅNSDOTTER, A. et al. Towards capability-adjusted life years in public health and social welfare: results from a Swedish survey on ranking capabilities. *PLoS ONE*, San Francisco, v. 15, n. 12, e0242699, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242699>. PMID: 33259528; PMCID: PMC7707509.

MAPBIOMAS. *Projeto MapBiomas – Coleção 2 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/fogo>. Acesso em: 11 maio 2023.

MAPBIOMAS. *Projeto MapBiomas – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura>. Acesso em: 11 maio 2023.

MAPBIOMAS. *Projeto MapBiomas – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/desmatamento>. Acesso em: 11 maio 2023.

MARGULIS, Sergio. *Causes of deforestation of the Brazilian Amazon*. Washington: World Bank Publications, 2004.

MARÔCO, J. *Análise estatística com o SPSS Statistics*. 7. ed. Pêro Pinheiro: ReportNumber, 2018.

MARSON, Michel Deliberali. O Plano de Metas e a estrutura empresarial e financeira da indústria de máquinas e equipamentos no Brasil: Dedini e Romi, 1955-1961. *Economia e Sociedade*, Campinas, Unicamp. IE., v. 27, n. 2, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-3533.2017v27n2art11>. Acesso em: 31 jul. 2025.

MAZZIOTTA, Matteo; PARETO, Adriano. Synthesis of indicators: The composite indicators approach. In: _____. *Complexity in society: From indicators construction to their synthesis*. p. 159-191, 2017.

MEADOWS, Donella H. et al. *Indicators and information systems for sustainable development*. Hartland: Sustainability Institute, 1998.

MEDEIROS, Luana Faria. Dinâmicas territoriais e produção do espaço no município de Canaã dos Carajás antes e depois da chegada da mineração. *Boletim Amazônico de Geografia*, v. 3, n. 5, p. 112-130, 2017.

MINGOTI, Sueli Aparecida. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)*. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso em: 31 jul. 2025.

MOIA, Gabriel Costa Maciel; MATLABA, Valente José; DOS SANTOS, Jorge Filipe. Evaluation of the impact of mining royalties on socio-environmental indicators in Parauapebas, Pará, the Eastern Amazon. *The Extractive Industries and Society*, v. 19, p. 101512, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101512>.

MONTEIRO NETO, Aristides; SILVA, Raphael de Oliveira; SEVERIAN, Danilo (orgs.). *Brasil, Brasis: reconfigurações territoriais da indústria no século XXI*. Brasília: Ipea, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10683>. Acesso em: 23 jun. 2025.

MORTON, D. C. et al. Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. *Global Change Biology*, v. 14, n. 10, p. 2262-2275, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01652.x>.

NÆSS, Petter; VOGEL, Nina. Sustainable urban development and the multi-level transition perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 4, p. 36-50, 2012.

NEPSTAD, Daniel C. et al. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 363, n. 1498, p. 1737-1746, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0036>. Acesso em: 16 maio 2025.

NEPSTAD, Daniel C.; STICKLER, Claudia M.; ALMEIDA, Oriana T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. *Conservation Biology*, v. 20, n. 6, p. 1595-1603, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00510.x>. Acesso em: 25 fev. 2025.

NEPSTAD, Daniel et al. *Avança Brasil: os custos ambientais para a Amazônia*. 1. ed. Belém: Gráfica e Editora Alves, 2000.

NOBRE, Carlos A. et al. *Nova economia da Amazônia*. São Paulo: WRI Brasil, 2023. Relatório. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/nova-economia-da-amazonia>. DOI: <https://doi.org/10.46830/wrirpt.22.00034>. Acesso em: 31 jul. 2025.

OLIVEIRA, Lourdes Antônia da Silva. *Ferrovias Norte-Sul e os impactos econômicos dos terminais multimodais nos municípios do tramo norte*. 2021. 109 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Gestão e Negócios, Goiânia, 2021.

OSTROM, Elinor. *A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems*. *Science*, v. 325, n. 5939, p. 419-422, 2009.

OSTROM, Elinor. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

PALLANT, J. *SPSS survival manual*. Maidenhead: Open University Press, 2007.

PALLANT, Julie. *SPSS survival manual: a step by step guide to data analysis using SPSS for Windows*. 3. ed. Maidenhead: Open University Press, 2007.

PARR, John B. Exploring the urban system of von Thünen's isolated state. *Papers in Regional Science*, v. 94, n. 1, p. 161-176, 2015. ISSN 1056-8190. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pirs.12057>. Acesso em: 25 fev. 2024.

PASTRE, R. Plano de desenvolvimento regional BR-163 sustentável: avaliação das repercussões das ações estratégicas em infraestrutura sobre o Norte do Mato Grosso. *Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho*, v. 7, p. 5-34, 2018.

PEBESMA, E. Simple features for R: standardized support for spatial vector data. *The R Journal*, v. 10, n. 1, p. 439-446, 2018.

PEGO FILHO, B. et al. A rede de transportes do Brasil e o planejamento regional. *Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium*, v. 5, p. 1-19, 2014.

PEREIRA, Dayan Rios. *Alianças e desenvolvimento de políticas para o desenvolvimento local: imbricações na mineração de alumínio em Oriximiná-PA*. 2012. 367 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém, 2012. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido.

PNUMA; OTCA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente; Organização do Tratado de Cooperação Amazônica.

POMPERMAYER, Fabiano Mezaadre; CAMPOS NETO, Carlos Álvares da Silva; DE PAULA, Jean Marlo Pepino. Hidrovias no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade. *Texto para Discussão* (Ipea), 2014.

PREFEITURA DE MANAUS. Áreas protegidas. Disponível em: <https://www.manaus.am.gov.br/semmas/areas-protegidas>. Acesso em: 12 mar. 2025.

PREGNOLATO, Maria et al. The impact of flooding on road transport: a depth-disruption function. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 55, p. 67-81, 2017.

RAWORTH, Kate; ROSS, Florian. *Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist* (2017). *Regional and Business Studies*, v. 11, n. 2, p. 81-86, 2019.

RENCER, Alvin C.; SCHIMEK, M. G. Methods of multivariate analysis. *Computational Statistics*, v. 12, n. 4, p. 422-422, 1997.

REZENDE CAMPOS, Flávia; PEREIRA DE ALMEIDA MOTA, Bruna; FERREIRA DOS REIS, Matheus. A Ferrovia Norte-Sul e sua influência no desempenho econômico dos municípios goianos. *Desenvolvimento em Questão*, v. 21, n. 59, p. e13112, 2023. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/13112>. Acesso em: 16 jan. 2025. DOI: 10.21527/2237-6453.2023.59.13112.

RICHARDSON, R. J. *Pesquisa social: métodos e técnicas*. São Paulo: Atlas, 1999.

ROCHA NETO, João Mendes da. Sobre expectativas e frustrações: uma interpretação da governança do Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia. *Revista Tempo do Mundo*, Brasília, n. 27, p. 273–304, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/13339>. Acesso em: 8 maio 2025.

ROCHA, Vinícius Machado et al. Impacts of land cover and greenhouse gas (GHG) concentration changes on the hydrological cycle in Amazon Basin: a regional climate model study. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 15, n. 10, p. 47-81, jul./dez. 2014. ISSN 1980-055X (impresso); 2237-8642 (eletrônico).

RODRIGUE, J. P.; NOTTEBOOM, T.; PALLIS, T. Transportation and the geographical and functional integration of global production networks. *Journal of Transport Geography*, v. 88, p. 102852, 2020.

RODRIGUE, J.-P. *The geography of transport systems*. 5. ed. Nova Iorque: Routledge, 2020.

RODRIGUES, Jondison Cardoso; RODRIGUES, Jovenildo Cardoso; CASTRO, Edna Maria Ramos de. Transporte hidroviário, portos e terminais interiores na Amazônia Brasileira: uma análise sobre seus papéis na política pública territorial. *Geo UERJ*, v. 1, n. 25, p. 115–137, 2014. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/8197>. Acesso em: 22 mar. 2025. DOI: 10.12957/geouerj.2014.8197.

RODRÍGUEZ-POSE, A. Do institutions matter for regional development? *Regional Studies*, v. 47, n. 7, p. 1034-1047, 2013.

ROSIK, P.; WOJCIK, J. Transport infrastructure and regional development: a survey of literature on wider economic and spatial impacts. *Sustainability*, v. 15, n. 1, p. 548, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010548>.

ROXAS JR, Nicanor R. et al. Infrastructure impacts calculator: an infrastructure assessment tool using co-benefit approach. *Geomate Journal*, v. 24, n. 105, p. 101-108, 2023.

RYGZYNOV, Tumun Sh. et al. Efficiency of transport infrastructure in Asian Russia, China, Mongolia, and Kazakhstan in the context of creating new trans-Eurasian transport corridors. *Sustainability*, v. 15, n. 12, p. 9714, 2023.

SACHS, Ignacy et al. Estratégias de transição para o século XXI: para pensar o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Brasiliense, 1993. p. 29–56.

SACHS, J. D. *The age of sustainable development*. New York: Columbia University Press, 2015.

SAFDAR, Sadia; KHAN, Azra; ANDLIB, Zubaria. Impact of good governance and natural resource rent on economic and environmental sustainability: an empirical analysis for South Asian economies. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 55, p. 82948–82965, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21401-9>.

SANT'ANNA, J. A. *Rede básica de transportes da Amazônia*. Brasília: Ipea, 1998. (Texto para Discussão, n. 562). ISSN 1415-4765.

SANTOS JR., Wilson R.; PROENÇA, Anderson D. A. A infraestrutura rodoviária e a urbanização regional contemporânea no território paulista: o caso do corredor urbano Campinas-Sorocaba, Brasil. *EURE (Santiago)*, v. 46, n. 138, p. 235–256, 2020. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612020000200235. Acesso em: 23 jun. 2025.

SANTOS, A. L. dos. *Infraestrutura portuária e desenvolvimento na Amazônia: um estudo de caso sobre Parintins-AM*. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2014. Disponível em: <https://ppcs.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2014/alessandra.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

SANTOS, Maria Rosa Prata dos. *Zona Franca de Manaus e reforma tributária: uma análise acerca da importância da manutenção dos incentivos fiscais sobre a região amazônica e as novas perspectivas da PEC 132/2023*. [S. l.]: [s. n.], 2024. Trabalho não publicado.

SCHMINK, Marianne et al. From contested to ‘green’ frontiers in the Amazon? A long-term analysis of São Félix do Xingu, Brazil. *The Journal of Peasant Studies*, v. 46, n. 2, p. 377–399, 2019.

SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3–4, p. 591–611, 1965. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>.

SHEN, Shuohua; LI, Hongchang; LI, Mingzhen. Transportation infrastructure and digital economy: evidence from Chinese cities. *Sustainability*, v. 15, n. 22, p. 16024, 2023.

SILVA, C. F. A. et al. The drivers of illegal mining on Indigenous Lands in the Brazilian Amazon. *The Extractive Industries and Society*, v. 16, p. 101354, 2023.

SILVA, Carlos Fabricio Assunção; ANDRADE, Mauricio; SANTOS, Alex Mota; MELO, Silas. Road network and deforestation of indigenous lands in the Brazilian Amazon. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 119, p. 103–123, 2023.

SILVA, Gerson Medeiros da; OLIVEIRA JUNIOR, José Nilo de; DINIZ, Marcelo Bentes. Condicionantes socioeconômicos e ambientais dos clubes de convergência da renda na Amazônia Legal: 1985 a 2007. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, v. 41, p. 841–874, 2011.

SILVA, Maria Dolores Lima da et al. A Amazônia e o desenvolvimento: aspectos da trajetória das políticas públicas na região. *Revista de Estudios Brasileños*, [S. l.], 2020.

SILVA, Michele Lins Aracaty; BARBOSA LUCAS, Mauro Mauricio; PINTO, Leonardo Marcelo dos Reis Braule. As vulnerabilidades socioeconômicas do estado do Amazonas agravadas pela 2ª onda da pandemia de Covid-19. *Informe GEPEC*, v. 26, n. 1, p. 127–145, 2022.

SIMON, Marcelo Fragomeni; GARAGORRY, Fernando Luis. The expansion of agriculture in the Brazilian Amazon. *Environmental Conservation*, v. 32, n. 3, p. 203–212, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892905002201>.

SINGH, Rajesh Kumar et al. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, v. 15, n. 1, p. 281–299, 2009.

SOARES-FILHO, Britaldo et al. Cracking Brazil's forest code. *Science*, v. 344, n. 6182, p. 363–380, 2014.

SOARES-FILHO, Britaldo S. et al. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, v. 440, n. 7083, p. 520–523, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature04389>. Acesso em: 16 maio 2025.

SOLIGO, Valdecir. Indicadores: conceito e complexidade do mensurar em estudos de fenômenos sociais. *Estudos em Avaliação Educacional*, p. 12–25, 2012.

SPAISER, V.; RANGANATHAN, S.; MANN, R. P.; SUMPTER, D. J. The dynamics of democracy, development and cultural values. *PLoS ONE*, v. 9, n. 6, p. e97856, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097856>.

SUDAM – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. *Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia – PRDA 2024–2027*. Belém: SUDAM, 2023.

Disponível em: <https://www.gov.br/sudam/pt-br/assuntos/planos-de-desenvolvimento/PRDA2427.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2025.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. *Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia (PRDA): 2020–2023*. 1. ed. amp. Belém: SUDAM, 2020.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. *Using multivariate statistics*. 5. ed. Boston: Allyn and Bacon, 2007.

THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning and Control*, v. 27, n. 5, p. 408–420, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464>.

TIMMERMAN, M. E.; LORENZO-SEVA, U. Dimensionality assessment of ordered polytomous items with parallel analysis. *Psychological Methods*, v. 16, n. 2, p. 209–220, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1037/a0023353>.

TOLOI, Marley Nunes Vituri *et al.* Development indicators and soybean production in Brazil. *Agriculture*, v. 11, n. 11, p. 1164, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11111164>.

TOSUN, J.; STEGER, M. B. Sustainable transport and infrastructure: A systematic review of the literature. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 25, p. 146–158, 2013.

TUFTE, Edward R.; GRAVES-MORRIS, Peter R. *The visual display of quantitative information*. Cheshire, CT: Graphics Press, 1983.

UNITED NATIONS. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. 2015.

VALE S.A. *A Vale em Parauapebas*. Parauapebas, 2016. 80 p. Disponível em: http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/environmental-social/iniciativas-sociais-para/Documents/Relatorio_Vale_em_Parauapebas_2016.pdf. Acesso em: 26 nov. 2024.

VALE. *Negócios*. 2022. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/business/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 9 fev. 2024.

VASCONCELLOS, E. A. *Políticas de transporte no Brasil: a construção da mobilidade excludente*. Barueri, SP: Manole, 2013.

VÁZQUEZ BARQUERO, A. *Endogenous development: networking, innovation, institutions, and cities*. London: Routledge, 2002.

VERBURG, P. H. et al. Land system science and sustainable development of the earth system: a global land project perspective. *Anthropocene*, v. 12, p. 29–41, 2015.

VIANA, A. I. D. *BR 163 Cuiabá-Santarém: do Projeto de Integração Nacional aos desafios do desenvolvimento regional*. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2021.

VICKERMAN, R. Transport infrastructure and regional economic growth: new evidence. *Transport Policy*, v. 90, p. 1-6, 2020.

WANG, L. et al. The impacts of transportation infrastructure on sustainable development: emerging trends and challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 6, p. 1172, 2018.

WANG, Z.; ZHAO, X. Emerging trends in transport sustainability: a bibliometric analysis of publications from 2010 to 2020. *Sustainability*, v. 12, n. 5, p. 1-17, 2020.

WARHURST, A. Sustainability indicators and sustainability performance management. *Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD) Project Report*, v. 43, p. 129, 2002.

WCED – WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. *Our common future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WEISS, D. J. et al. A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature*, v. 553, n. 7688, p. 333-336, 2018.

WICKHAM, H. et al. *dplyr: a grammar of data manipulation*. R package version 1.1.2, 2023.

WICKHAM, H. et al. Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, v. 4, n. 43, p. 1686, 2019.

WICKHAM, H. *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer-Verlag, 2016.

WICKHAM, H.; SIEVERT, C. *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer, 2009.

WILM, M. et al. *Índice de Progresso Social Brasil 2024: qualidade de vida nos 5.570 municípios do Brasil*. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon, 2024. Disponível em: <https://imazon.org.br/ips/>. Acesso em: 1 maio 2025.

WOLD, S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. Principal component analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 2, n. 1-3, p. 37-52, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(87\)80084-9](https://doi.org/10.1016/0169-7439(87)80084-9).

WOOLDRIDGE, J. M. *Introdução à econometria: uma abordagem moderna*. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introdução à econometria: uma abordagem moderna*. São Paulo: Cengage Learning, 2006.

XU, C.; YU, D.; YANG, H.; YU, S. 20 years of economic corridors development: a bibliometric analysis. *Journal of Applied Economics*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15140326.2021.1880246>. Acesso em: [inserir data de acesso, se aplicável].

YIN, R. K. *Case study research and applications: design and methods*. Thousand Oaks: Sage Publications, 2017.

YOUNG, C. E. F.; FAUSTO, J. R. B. Valoração de recursos naturais como instrumento de análise da expansão da fronteira agrícola na Amazônia. *Texto para Discussão – IPEA*, 1997.

ZAR, J. H. *Biostatistical analysis*. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005.

ZHANG, L.; LIU, J. Bibliometric analysis of global research on transport infrastructure. *Journal of Transport Geography*, v. 68, p. 116-124, 2018.

ZHU, J.; HUA, W. Visualizing the knowledge domain of sustainable development research between 1987 and 2015: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, v. 110, n. 2, p. 893-914, 2017.

APÊNDICE A - CLASSIFICAÇÃO DOS MUNICÍPIOS (1990, 2000, 2010 E 2021)

Corredor	Município	UF	Geocódigo	Ano	Classificação-ISMAM
hidro	Itaubal	AP	1600253	1990	Muito baixo
hidro	Itaubal	AP	1600253	2000	Muito baixo
hidro	Itaubal	AP	1600253	2010	Baixo
hidro	Itaubal	AP	1600253	2021	Baixo
hidro	Macapá	AP	1600303	1990	Intermediário
hidro	Macapá	AP	1600303	2000	Intermediário
hidro	Macapá	AP	1600303	2010	Intermediário
hidro	Macapá	AP	1600303	2021	Alto
hidro	Mazagão	AP	1600402	1990	Muito baixo
hidro	Mazagão	AP	1600402	2000	Muito baixo
hidro	Mazagão	AP	1600402	2010	Muito baixo
hidro	Mazagão	AP	1600402	2021	Baixo
hidro	Santana	AP	1600600	1990	Baixo
hidro	Santana	AP	1600600	2000	Baixo
hidro	Santana	AP	1600600	2010	Intermediário
hidro	Santana	AP	1600600	2021	Intermediário
hidro	Vitória do Jari	AP	1600808	1990	Muito baixo
hidro	Vitória do Jari	AP	1600808	2000	Muito baixo
hidro	Vitória do Jari	AP	1600808	2010	Muito baixo
hidro	Vitória do Jari	AP	1600808	2021	Baixo
hidro	Alvarães	AM	1300029	1990	Muito baixo
hidro	Alvarães	AM	1300029	2000	Muito baixo
hidro	Alvarães	AM	1300029	2010	Muito baixo
hidro	Alvarães	AM	1300029	2021	Muito baixo
hidro	Amaturá	AM	1300060	1990	Muito baixo
hidro	Amaturá	AM	1300060	2000	Muito baixo
hidro	Amaturá	AM	1300060	2010	Muito baixo
hidro	Amaturá	AM	1300060	2021	Muito baixo
hidro	Anamã	AM	1300086	1990	Muito baixo
hidro	Anamã	AM	1300086	2000	Muito baixo
hidro	Anamã	AM	1300086	2010	Muito baixo
hidro	Anamã	AM	1300086	2021	Muito baixo
hidro	Anori	AM	1300102	1990	Muito baixo
hidro	Anori	AM	1300102	2000	Muito baixo
hidro	Anori	AM	1300102	2010	Muito baixo
hidro	Anori	AM	1300102	2021	Muito baixo
hidro	Atalaia do Norte	AM	1300201	1990	Muito baixo
hidro	Atalaia do Norte	AM	1300201	2000	Muito baixo
hidro	Atalaia do Norte	AM	1300201	2010	Muito baixo
hidro	Atalaia do Norte	AM	1300201	2021	Muito baixo
hidro	Autazes	AM	1300300	1990	Muito baixo
hidro	Autazes	AM	1300300	2000	Muito baixo

hidro	Autazes	AM	1300300	2010	Muito baixo
hidro	Autazes	AM	1300300	2021	Baixo
hidro	Barreirinha	AM	1300508	1990	Muito baixo
hidro	Barreirinha	AM	1300508	2000	Muito baixo
hidro	Barreirinha	AM	1300508	2010	Muito baixo
hidro	Barreirinha	AM	1300508	2021	Muito baixo
hidro	Benjamin Constant	AM	1300607	1990	Muito baixo
hidro	Benjamin Constant	AM	1300607	2000	Muito baixo
hidro	Benjamin Constant	AM	1300607	2010	Muito baixo
hidro	Benjamin Constant	AM	1300607	2021	Muito baixo
hidro	Beruri	AM	1300631	1990	Muito baixo
hidro	Beruri	AM	1300631	2000	Muito baixo
hidro	Beruri	AM	1300631	2010	Muito baixo
hidro	Beruri	AM	1300631	2021	Muito baixo
hidro	Boa Vista do Ramos	AM	1300680	1990	Muito baixo
hidro	Boa Vista do Ramos	AM	1300680	2000	Muito baixo
hidro	Boa Vista do Ramos	AM	1300680	2010	Muito baixo
hidro	Boa Vista do Ramos	AM	1300680	2021	Muito baixo
hidro	Caapiranga	AM	1300839	1990	Muito baixo
hidro	Caapiranga	AM	1300839	2000	Muito baixo
hidro	Caapiranga	AM	1300839	2010	Muito baixo
hidro	Caapiranga	AM	1300839	2021	Muito baixo
hidro	Careiro	AM	1301100	1990	Muito baixo
hidro	Careiro	AM	1301100	2000	Muito baixo
hidro	Careiro	AM	1301100	2010	Muito baixo
hidro	Careiro	AM	1301100	2021	Baixo
hidro	Careiro da Várzea	AM	1301159	1990	Muito baixo
hidro	Careiro da Várzea	AM	1301159	2000	Muito baixo
hidro	Careiro da Várzea	AM	1301159	2010	Baixo
hidro	Careiro da Várzea	AM	1301159	2021	Baixo
hidro	Coari	AM	1301209	1990	Muito baixo
hidro	Coari	AM	1301209	2000	Muito baixo
hidro	Coari	AM	1301209	2010	Baixo
hidro	Coari	AM	1301209	2021	Baixo
hidro	Codajás	AM	1301308	1990	Muito baixo
hidro	Codajás	AM	1301308	2000	Muito baixo
hidro	Codajás	AM	1301308	2010	Muito baixo
hidro	Codajás	AM	1301308	2021	Muito baixo
hidro	Fonte Boa	AM	1301605	1990	Muito baixo
hidro	Fonte Boa	AM	1301605	2000	Muito baixo
hidro	Fonte Boa	AM	1301605	2010	Muito baixo
hidro	Fonte Boa	AM	1301605	2021	Muito baixo
hidro	Irاندوبا	AM	1301852	1990	Muito baixo
hidro	Irاندوبا	AM	1301852	2000	Muito baixo
hidro	Irاندوبا	AM	1301852	2010	Baixo

hidro	Irاندوبا	AM	1301852	2021	Baixo
hidro	Itacoatiara	AM	1301902	1990	Muito baixo
hidro	Itacoatiara	AM	1301902	2000	Muito baixo
hidro	Itacoatiara	AM	1301902	2010	Baixo
hidro	Itacoatiara	AM	1301902	2021	Baixo
hidro	Itapiranga	AM	1302009	1990	Muito baixo
hidro	Itapiranga	AM	1302009	2000	Muito baixo
hidro	Itapiranga	AM	1302009	2010	Muito baixo
hidro	Itapiranga	AM	1302009	2021	Baixo
hidro	Juruá	AM	1302207	1990	Muito baixo
hidro	Juruá	AM	1302207	2000	Muito baixo
hidro	Juruá	AM	1302207	2010	Muito baixo
hidro	Juruá	AM	1302207	2021	Muito baixo
hidro	Jutaí	AM	1302306	1990	Muito baixo
hidro	Jutaí	AM	1302306	2000	Muito baixo
hidro	Jutaí	AM	1302306	2010	Muito baixo
hidro	Jutaí	AM	1302306	2021	Muito baixo
hidro	Manacapuru	AM	1302504	1990	Muito baixo
hidro	Manacapuru	AM	1302504	2000	Muito baixo
hidro	Manacapuru	AM	1302504	2010	Baixo
hidro	Manacapuru	AM	1302504	2021	Baixo
hidro	Manaquiri	AM	1302553	1990	Muito baixo
hidro	Manaquiri	AM	1302553	2000	Muito baixo
hidro	Manaquiri	AM	1302553	2010	Muito baixo
hidro	Manaquiri	AM	1302553	2021	Baixo
hidro	Manaus	AM	1302603	1990	Alto
hidro	Manaus	AM	1302603	2000	Alto
hidro	Manaus	AM	1302603	2010	Alto
hidro	Manaus	AM	1302603	2021	Muito alto
hidro	Maraã	AM	1302801	1990	Muito baixo
hidro	Maraã	AM	1302801	2000	Muito baixo
hidro	Maraã	AM	1302801	2010	Muito baixo
hidro	Maraã	AM	1302801	2021	Muito baixo
hidro	Nhamundá	AM	1303007	1990	Muito baixo
hidro	Nhamundá	AM	1303007	2000	Muito baixo
hidro	Nhamundá	AM	1303007	2010	Muito baixo
hidro	Nhamundá	AM	1303007	2021	Muito baixo
hidro	Nova Olinda do Norte	AM	1303106	1990	Muito baixo
hidro	Nova Olinda do Norte	AM	1303106	2000	Muito baixo
hidro	Nova Olinda do Norte	AM	1303106	2010	Muito baixo
hidro	Nova Olinda do Norte	AM	1303106	2021	Muito baixo
hidro	Parintins	AM	1303403	1990	Muito baixo
hidro	Parintins	AM	1303403	2000	Baixo
hidro	Parintins	AM	1303403	2010	Baixo
hidro	Parintins	AM	1303403	2021	Baixo

hidro	Santo Antônio do Içá	AM	1303700	1990	Muito baixo
hidro	Santo Antônio do Içá	AM	1303700	2000	Muito baixo
hidro	Santo Antônio do Içá	AM	1303700	2010	Muito baixo
hidro	Santo Antônio do Içá	AM	1303700	2021	Muito baixo
hidro	São Paulo de Olivença	AM	1303908	1990	Muito baixo
hidro	São Paulo de Olivença	AM	1303908	2000	Muito baixo
hidro	São Paulo de Olivença	AM	1303908	2010	Muito baixo
hidro	São Paulo de Olivença	AM	1303908	2021	Muito baixo
hidro	São Sebastião do Uatumã	AM	1303957	1990	Muito baixo
hidro	São Sebastião do Uatumã	AM	1303957	2000	Muito baixo
hidro	São Sebastião do Uatumã	AM	1303957	2010	Muito baixo
hidro	São Sebastião do Uatumã	AM	1303957	2021	Muito baixo
hidro	Silves	AM	1304005	1990	Muito baixo
hidro	Silves	AM	1304005	2000	Muito baixo
hidro	Silves	AM	1304005	2010	Muito baixo
hidro	Silves	AM	1304005	2021	Baixo
hidro	Tabatinga	AM	1304062	1990	Muito baixo
hidro	Tabatinga	AM	1304062	2000	Muito baixo
hidro	Tabatinga	AM	1304062	2010	Muito baixo
hidro	Tabatinga	AM	1304062	2021	Baixo
hidro	Tefé	AM	1304203	1990	Muito baixo
hidro	Tefé	AM	1304203	2000	Muito baixo
hidro	Tefé	AM	1304203	2010	Muito baixo
hidro	Tefé	AM	1304203	2021	Baixo
hidro	Tonantins	AM	1304237	1990	Muito baixo
hidro	Tonantins	AM	1304237	2000	Muito baixo
hidro	Tonantins	AM	1304237	2010	Muito baixo
hidro	Tonantins	AM	1304237	2021	Muito baixo
hidro	Uarini	AM	1304260	1990	Muito baixo
hidro	Uarini	AM	1304260	2000	Muito baixo
hidro	Uarini	AM	1304260	2010	Muito baixo
hidro	Uarini	AM	1304260	2021	Muito baixo
hidro	Urucará	AM	1304302	1990	Muito baixo
hidro	Urucará	AM	1304302	2000	Muito baixo
hidro	Urucará	AM	1304302	2010	Muito baixo
hidro	Urucará	AM	1304302	2021	Muito baixo
hidro	Urucurituba	AM	1304401	1990	Muito baixo
hidro	Urucurituba	AM	1304401	2000	Muito baixo
hidro	Urucurituba	AM	1304401	2010	Baixo
hidro	Urucurituba	AM	1304401	2021	Baixo
hidro	Afuá	PA	1500305	1990	Muito baixo
hidro	Afuá	PA	1500305	2000	Muito baixo
hidro	Afuá	PA	1500305	2010	Muito baixo
hidro	Afuá	PA	1500305	2021	Muito baixo
hidro	Alenquer	PA	1500404	1990	Muito baixo

hidro	Alenquer	PA	1500404	2000	Muito baixo
hidro	Alenquer	PA	1500404	2010	Muito baixo
hidro	Alenquer	PA	1500404	2021	Baixo
hidro	Almeirim	PA	1500503	1990	Muito baixo
hidro	Almeirim	PA	1500503	2000	Muito baixo
hidro	Almeirim	PA	1500503	2010	Muito baixo
hidro	Almeirim	PA	1500503	2021	Baixo
hidro	Aveiro	PA	1501006	1990	Muito baixo
hidro	Aveiro	PA	1501006	2000	Muito baixo
hidro	Aveiro	PA	1501006	2010	Muito baixo
hidro	Aveiro	PA	1501006	2021	Muito baixo
hidro	Belterra	PA	1501451	1990	Muito baixo
hidro	Belterra	PA	1501451	2000	Muito baixo
hidro	Belterra	PA	1501451	2010	Muito baixo
hidro	Belterra	PA	1501451	2021	Baixo
hidro	Chaves	PA	1502509	1990	Muito baixo
hidro	Chaves	PA	1502509	2000	Muito baixo
hidro	Chaves	PA	1502509	2010	Muito baixo
hidro	Chaves	PA	1502509	2021	Baixo
hidro	Curuá	PA	1502855	1990	Muito baixo
hidro	Curuá	PA	1502855	2000	Muito baixo
hidro	Curuá	PA	1502855	2010	Baixo
hidro	Curuá	PA	1502855	2021	Baixo
hidro	Faro	PA	1503002	1990	Muito baixo
hidro	Faro	PA	1503002	2000	Muito baixo
hidro	Faro	PA	1503002	2010	Muito baixo
hidro	Faro	PA	1503002	2021	Muito baixo
hidro	Gurupá	PA	1503101	1990	Muito baixo
hidro	Gurupá	PA	1503101	2000	Muito baixo
hidro	Gurupá	PA	1503101	2010	Muito baixo
hidro	Gurupá	PA	1503101	2021	Muito baixo
hidro	Juruti	PA	1503903	1990	Muito baixo
hidro	Juruti	PA	1503903	2000	Muito baixo
hidro	Juruti	PA	1503903	2010	Muito baixo
hidro	Juruti	PA	1503903	2021	Baixo
hidro	Mojuí dos Campos	PA	1504752	1990	Muito baixo
hidro	Mojuí dos Campos	PA	1504752	2000	Muito baixo
hidro	Mojuí dos Campos	PA	1504752	2010	Muito baixo
hidro	Mojuí dos Campos	PA	1504752	2021	Baixo
hidro	Monte Alegre	PA	1504802	1990	Muito baixo
hidro	Monte Alegre	PA	1504802	2000	Muito baixo
hidro	Monte Alegre	PA	1504802	2010	Baixo
hidro	Monte Alegre	PA	1504802	2021	Baixo
hidro	Óbidos	PA	1505106	1990	Muito baixo
hidro	Óbidos	PA	1505106	2000	Muito baixo

hidro	Óbidos	PA	1505106	2010	Muito baixo
hidro	Óbidos	PA	1505106	2021	Baixo
hidro	Oriximiná	PA	1505304	1990	Muito baixo
hidro	Oriximiná	PA	1505304	2000	Muito baixo
hidro	Oriximiná	PA	1505304	2010	Baixo
hidro	Oriximiná	PA	1505304	2021	Baixo
hidro	Porto de Moz	PA	1505908	1990	Muito baixo
hidro	Porto de Moz	PA	1505908	2000	Muito baixo
hidro	Porto de Moz	PA	1505908	2010	Muito baixo
hidro	Porto de Moz	PA	1505908	2021	Baixo
hidro	Prainha	PA	1506005	1990	Muito baixo
hidro	Prainha	PA	1506005	2000	Muito baixo
hidro	Prainha	PA	1506005	2010	Muito baixo
hidro	Prainha	PA	1506005	2021	Baixo
hidro	Santarém	PA	1506807	1990	Baixo
hidro	Santarém	PA	1506807	2000	Baixo
hidro	Santarém	PA	1506807	2010	Baixo
hidro	Santarém	PA	1506807	2021	Intermediário
hidro	Terra Santa	PA	1507979	1990	Muito baixo
hidro	Terra Santa	PA	1507979	2000	Muito baixo
hidro	Terra Santa	PA	1507979	2010	Baixo
hidro	Terra Santa	PA	1507979	2021	Baixo
rodo	Acorizal	MT	5100102	1990	Muito baixo
rodo	Acorizal	MT	5100102	2000	Muito baixo
rodo	Acorizal	MT	5100102	2010	Baixo
rodo	Acorizal	MT	5100102	2021	Baixo
rodo	Alto Paraguai	MT	5100508	1990	Muito baixo
rodo	Alto Paraguai	MT	5100508	2000	Baixo
rodo	Alto Paraguai	MT	5100508	2010	Baixo
rodo	Alto Paraguai	MT	5100508	2021	Baixo
rodo	Arenápolis	MT	5101308	1990	Baixo
rodo	Arenápolis	MT	5101308	2000	Intermediário
rodo	Arenápolis	MT	5101308	2010	Intermediário
rodo	Arenápolis	MT	5101308	2021	Intermediário
rodo	Cláudia	MT	5103056	1990	Muito baixo
rodo	Cláudia	MT	5103056	2000	Baixo
rodo	Cláudia	MT	5103056	2010	Baixo
rodo	Cláudia	MT	5103056	2021	Intermediário
rodo	Colíder	MT	5103205	1990	Baixo
rodo	Colíder	MT	5103205	2000	Intermediário
rodo	Colíder	MT	5103205	2010	Intermediário
rodo	Colíder	MT	5103205	2021	Intermediário
rodo	Cuiabá	MT	5103403	1990	Alto
rodo	Cuiabá	MT	5103403	2000	Alto
rodo	Cuiabá	MT	5103403	2010	Alto

rodo	Cuiabá	MT	5103403	2021	Alto
rodo	Denise	MT	5103452	1990	Baixo
rodo	Denise	MT	5103452	2000	Intermediário
rodo	Denise	MT	5103452	2010	Intermediário
rodo	Denise	MT	5103452	2021	Intermediário
rodo	Diamantino	MT	5103502	1990	Baixo
rodo	Diamantino	MT	5103502	2000	Intermediário
rodo	Diamantino	MT	5103502	2010	Intermediário
rodo	Diamantino	MT	5103502	2021	Alto
rodo	Guarantã do Norte	MT	5104104	1990	Muito baixo
rodo	Guarantã do Norte	MT	5104104	2000	Baixo
rodo	Guarantã do Norte	MT	5104104	2010	Intermediário
rodo	Guarantã do Norte	MT	5104104	2021	Intermediário
rodo	Ipiranga do Norte	MT	5104526	1990	Muito baixo
rodo	Ipiranga do Norte	MT	5104526	2000	Intermediário
rodo	Ipiranga do Norte	MT	5104526	2010	Intermediário
rodo	Ipiranga do Norte	MT	5104526	2021	Alto
rodo	Itaúba	MT	5104559	1990	Muito baixo
rodo	Itaúba	MT	5104559	2000	Muito baixo
rodo	Itaúba	MT	5104559	2010	Baixo
rodo	Itaúba	MT	5104559	2021	Intermediário
rodo	Itiquira	MT	5104609	1990	Intermediário
rodo	Itiquira	MT	5104609	2000	Intermediário
rodo	Itiquira	MT	5104609	2010	Intermediário
rodo	Itiquira	MT	5104609	2021	Alto
rodo	Jaciara	MT	5104807	1990	Baixo
rodo	Jaciara	MT	5104807	2000	Intermediário
rodo	Jaciara	MT	5104807	2010	Intermediário
rodo	Jaciara	MT	5104807	2021	Intermediário
rodo	Jangada	MT	5104906	1990	Muito baixo
rodo	Jangada	MT	5104906	2000	Baixo
rodo	Jangada	MT	5104906	2010	Baixo
rodo	Jangada	MT	5104906	2021	Baixo
rodo	Juscimeira	MT	5105200	1990	Baixo
rodo	Juscimeira	MT	5105200	2000	Intermediário
rodo	Juscimeira	MT	5105200	2010	Intermediário
rodo	Juscimeira	MT	5105200	2021	Intermediário
rodo	Lucas do Rio Verde	MT	5105259	1990	Intermediário
rodo	Lucas do Rio Verde	MT	5105259	2000	Intermediário
rodo	Lucas do Rio Verde	MT	5105259	2010	Intermediário
rodo	Lucas do Rio Verde	MT	5105259	2021	Alto
rodo	Marcelândia	MT	5105580	1990	Muito baixo
rodo	Marcelândia	MT	5105580	2000	Muito baixo
rodo	Marcelândia	MT	5105580	2010	Baixo
rodo	Marcelândia	MT	5105580	2021	Intermediário

rodo	Matupá	MT	5105606	1990	Muito baixo
rodo	Matupá	MT	5105606	2000	Baixo
rodo	Matupá	MT	5105606	2010	Intermediário
rodo	Matupá	MT	5105606	2021	Intermediário
rodo	Nobres	MT	5105903	1990	Muito baixo
rodo	Nobres	MT	5105903	2000	Baixo
rodo	Nobres	MT	5105903	2010	Intermediário
rodo	Nobres	MT	5105903	2021	Intermediário
rodo	Nortelândia	MT	5106000	1990	Baixo
rodo	Nortelândia	MT	5106000	2000	Baixo
rodo	Nortelândia	MT	5106000	2010	Baixo
rodo	Nortelândia	MT	5106000	2021	Intermediário
rodo	Nossa Senhora do Livramento	MT	5106109	1990	Muito baixo
rodo	Nossa Senhora do Livramento	MT	5106109	2000	Baixo
rodo	Nossa Senhora do Livramento	MT	5106109	2010	Baixo
rodo	Nossa Senhora do Livramento	MT	5106109	2021	Intermediário
rodo	Nova Guarita	MT	5108808	1990	Muito baixo
rodo	Nova Guarita	MT	5108808	2000	Baixo
rodo	Nova Guarita	MT	5108808	2010	Intermediário
rodo	Nova Guarita	MT	5108808	2021	Intermediário
rodo	Nova Mutum	MT	5106224	1990	Baixo
rodo	Nova Mutum	MT	5106224	2000	Intermediário
rodo	Nova Mutum	MT	5106224	2010	Intermediário
rodo	Nova Mutum	MT	5106224	2021	Alto
rodo	Nova Santa Helena	MT	5106190	1990	Muito baixo
rodo	Nova Santa Helena	MT	5106190	2000	Baixo
rodo	Nova Santa Helena	MT	5106190	2010	Intermediário
rodo	Nova Santa Helena	MT	5106190	2021	Intermediário
rodo	Novo Mundo	MT	5106265	1990	Muito baixo
rodo	Novo Mundo	MT	5106265	2000	Muito baixo
rodo	Novo Mundo	MT	5106265	2010	Baixo
rodo	Novo Mundo	MT	5106265	2021	Intermediário
rodo	Pedra Preta	MT	5106372	1990	Intermediário
rodo	Pedra Preta	MT	5106372	2000	Intermediário
rodo	Pedra Preta	MT	5106372	2010	Intermediário
rodo	Pedra Preta	MT	5106372	2021	Alto
rodo	Peixoto de Azevedo	MT	5106422	1990	Muito baixo
rodo	Peixoto de Azevedo	MT	5106422	2000	Muito baixo
rodo	Peixoto de Azevedo	MT	5106422	2010	Baixo
rodo	Peixoto de Azevedo	MT	5106422	2021	Baixo
rodo	Rondonópolis	MT	5107602	1990	Alto
rodo	Rondonópolis	MT	5107602	2000	Alto
rodo	Rondonópolis	MT	5107602	2010	Alto
rodo	Rondonópolis	MT	5107602	2021	Alto
rodo	Rosário Oeste	MT	5107701	1990	Muito baixo

rodo	Rosário Oeste	MT	5107701	2000	Baixo
rodo	Rosário Oeste	MT	5107701	2010	Baixo
rodo	Rosário Oeste	MT	5107701	2021	Intermediário
rodo	Santa Carmem	MT	5107248	1990	Muito baixo
rodo	Santa Carmem	MT	5107248	2000	Muito baixo
rodo	Santa Carmem	MT	5107248	2010	Baixo
rodo	Santa Carmem	MT	5107248	2021	Alto
rodo	Santo Antônio do Leverger	MT	5107800	1990	Baixo
rodo	Santo Antônio do Leverger	MT	5107800	2000	Baixo
rodo	Santo Antônio do Leverger	MT	5107800	2010	Baixo
rodo	Santo Antônio do Leverger	MT	5107800	2021	Intermediário
rodo	São Pedro da Cipa	MT	5107404	1990	Baixo
rodo	São Pedro da Cipa	MT	5107404	2000	Intermediário
rodo	São Pedro da Cipa	MT	5107404	2010	Intermediário
rodo	São Pedro da Cipa	MT	5107404	2021	Intermediário
rodo	Sinop	MT	5107909	1990	Baixo
rodo	Sinop	MT	5107909	2000	Intermediário
rodo	Sinop	MT	5107909	2010	Intermediário
rodo	Sinop	MT	5107909	2021	Alto
rodo	Sorriso	MT	5107925	1990	Baixo
rodo	Sorriso	MT	5107925	2000	Intermediário
rodo	Sorriso	MT	5107925	2010	Intermediário
rodo	Sorriso	MT	5107925	2021	Alto
rodo	Tapurah	MT	5108006	1990	Muito baixo
rodo	Tapurah	MT	5108006	2000	Baixo
rodo	Tapurah	MT	5108006	2010	Intermediário
rodo	Tapurah	MT	5108006	2021	Alto
rodo	Terra Nova do Norte	MT	5108055	1990	Muito baixo
rodo	Terra Nova do Norte	MT	5108055	2000	Baixo
rodo	Terra Nova do Norte	MT	5108055	2010	Intermediário
rodo	Terra Nova do Norte	MT	5108055	2021	Intermediário
rodo	Várzea Grande	MT	5108402	1990	Intermediário
rodo	Várzea Grande	MT	5108402	2000	Intermediário
rodo	Várzea Grande	MT	5108402	2010	Alto
rodo	Várzea Grande	MT	5108402	2021	Alto
rodo	Vera	MT	5108501	1990	Muito baixo
rodo	Vera	MT	5108501	2000	Baixo
rodo	Vera	MT	5108501	2010	Intermediário
rodo	Vera	MT	5108501	2021	Alto
rodo	Altamira	PA	1500602	1990	Muito baixo
rodo	Altamira	PA	1500602	2000	Muito baixo
rodo	Altamira	PA	1500602	2010	Baixo
rodo	Altamira	PA	1500602	2021	Baixo
rodo	Itaituba	PA	1503606	1990	Muito baixo
rodo	Itaituba	PA	1503606	2000	Muito baixo

rodo	Itaituba	PA	1503606	2010	Baixo
rodo	Itaituba	PA	1503606	2021	Baixo
rodo	Novo Progresso	PA	1505031	1990	Muito baixo
rodo	Novo Progresso	PA	1505031	2000	Muito baixo
rodo	Novo Progresso	PA	1505031	2010	Baixo
rodo	Novo Progresso	PA	1505031	2021	Baixo
rodo	Placas	PA	1505650	1990	Muito baixo
rodo	Placas	PA	1505650	2000	Muito baixo
rodo	Placas	PA	1505650	2010	Muito baixo
rodo	Placas	PA	1505650	2021	Baixo
rodo	Rurópolis	PA	1506195	1990	Muito baixo
rodo	Rurópolis	PA	1506195	2000	Muito baixo
rodo	Rurópolis	PA	1506195	2010	Muito baixo
rodo	Rurópolis	PA	1506195	2021	Baixo
rodo	Trairão	PA	1508050	1990	Muito baixo
rodo	Trairão	PA	1508050	2000	Muito baixo
rodo	Trairão	PA	1508050	2010	Muito baixo
rodo	Trairão	PA	1508050	2021	Muito baixo
ferro	Açailândia	MA	2100055	1990	Baixo
ferro	Açailândia	MA	2100055	2000	Intermediário
ferro	Açailândia	MA	2100055	2010	Intermediário
ferro	Açailândia	MA	2100055	2021	Intermediário
ferro	Alto Alegre do Pindaré	MA	2100477	1990	Baixo
ferro	Alto Alegre do Pindaré	MA	2100477	2000	Baixo
ferro	Alto Alegre do Pindaré	MA	2100477	2010	Baixo
ferro	Alto Alegre do Pindaré	MA	2100477	2021	Intermediário
ferro	Anajatuba	MA	2100709	1990	Muito baixo
ferro	Anajatuba	MA	2100709	2000	Muito baixo
ferro	Anajatuba	MA	2100709	2010	Baixo
ferro	Anajatuba	MA	2100709	2021	Baixo
ferro	Arari	MA	2101004	1990	Muito baixo
ferro	Arari	MA	2101004	2000	Muito baixo
ferro	Arari	MA	2101004	2010	Baixo
ferro	Arari	MA	2101004	2021	Baixo
ferro	Axixá	MA	2101103	1990	Muito baixo
ferro	Axixá	MA	2101103	2000	Muito baixo
ferro	Axixá	MA	2101103	2010	Baixo
ferro	Axixá	MA	2101103	2021	Baixo
ferro	Bacabeira	MA	2101251	1990	Muito baixo
ferro	Bacabeira	MA	2101251	2000	Baixo
ferro	Bacabeira	MA	2101251	2010	Baixo
ferro	Bacabeira	MA	2101251	2021	Intermediário
ferro	Bom Jardim	MA	2102002	1990	Muito baixo
ferro	Bom Jardim	MA	2102002	2000	Muito baixo
ferro	Bom Jardim	MA	2102002	2010	Baixo

ferro	Bom Jardim	MA	2102002	2021	Baixo
ferro	Bom Jesus das Selvas	MA	2102036	1990	Muito baixo
ferro	Bom Jesus das Selvas	MA	2102036	2000	Muito baixo
ferro	Bom Jesus das Selvas	MA	2102036	2010	Baixo
ferro	Bom Jesus das Selvas	MA	2102036	2021	Intermediário
ferro	Buriticupu	MA	2102325	1990	Muito baixo
ferro	Buriticupu	MA	2102325	2000	Muito baixo
ferro	Buriticupu	MA	2102325	2010	Baixo
ferro	Buriticupu	MA	2102325	2021	Intermediário
ferro	Buritirana	MA	2102358	1990	Muito baixo
ferro	Buritirana	MA	2102358	2000	Muito baixo
ferro	Buritirana	MA	2102358	2010	Baixo
ferro	Buritirana	MA	2102358	2021	Baixo
ferro	Cajari	MA	2102507	1990	Muito baixo
ferro	Cajari	MA	2102507	2000	Muito baixo
ferro	Cajari	MA	2102507	2010	Muito baixo
ferro	Cajari	MA	2102507	2021	Baixo
ferro	Campestre do Maranhão	MA	2102556	1990	Muito baixo
ferro	Campestre do Maranhão	MA	2102556	2000	Baixo
ferro	Campestre do Maranhão	MA	2102556	2010	Baixo
ferro	Campestre do Maranhão	MA	2102556	2021	Intermediário
ferro	Carolina	MA	2102804	1990	Muito baixo
ferro	Carolina	MA	2102804	2000	Baixo
ferro	Carolina	MA	2102804	2010	Baixo
ferro	Carolina	MA	2102804	2021	Intermediário
ferro	Cidelândia	MA	2103257	1990	Muito baixo
ferro	Cidelândia	MA	2103257	2000	Baixo
ferro	Cidelândia	MA	2103257	2010	Baixo
ferro	Cidelândia	MA	2103257	2021	Intermediário
ferro	Davinópolis	MA	2103752	1990	Muito baixo
ferro	Davinópolis	MA	2103752	2000	Baixo
ferro	Davinópolis	MA	2103752	2010	Baixo
ferro	Davinópolis	MA	2103752	2021	Intermediário
ferro	Estreito	MA	2104057	1990	Muito baixo
ferro	Estreito	MA	2104057	2000	Baixo
ferro	Estreito	MA	2104057	2010	Baixo
ferro	Estreito	MA	2104057	2021	Intermediário
ferro	Governador Edison Lobão	MA	2104552	1990	Muito baixo
ferro	Governador Edison Lobão	MA	2104552	2000	Baixo
ferro	Governador Edison Lobão	MA	2104552	2010	Baixo
ferro	Governador Edison Lobão	MA	2104552	2021	Intermediário
ferro	Governador Newton Bello	MA	2104651	1990	Muito baixo
ferro	Governador Newton Bello	MA	2104651	2000	Baixo
ferro	Governador Newton Bello	MA	2104651	2010	Baixo
ferro	Governador Newton Bello	MA	2104651	2021	Intermediário

ferro	Igarapé do Meio	MA	2105153	1990	Muito baixo
ferro	Igarapé do Meio	MA	2105153	2000	Muito baixo
ferro	Igarapé do Meio	MA	2105153	2010	Baixo
ferro	Igarapé do Meio	MA	2105153	2021	Intermediário
ferro	Imperatriz	MA	2105302	1990	Intermediário
ferro	Imperatriz	MA	2105302	2000	Intermediário
ferro	Imperatriz	MA	2105302	2010	Alto
ferro	Imperatriz	MA	2105302	2021	Alto
ferro	Itapecuru Mirim	MA	2105401	1990	Muito baixo
ferro	Itapecuru Mirim	MA	2105401	2000	Muito baixo
ferro	Itapecuru Mirim	MA	2105401	2010	Baixo
ferro	Itapecuru Mirim	MA	2105401	2021	Baixo
ferro	Itinga do Maranhão	MA	2105427	1990	Muito baixo
ferro	Itinga do Maranhão	MA	2105427	2000	Baixo
ferro	Itinga do Maranhão	MA	2105427	2010	Baixo
ferro	Itinga do Maranhão	MA	2105427	2021	Intermediário
ferro	João Lisboa	MA	2105500	1990	Muito baixo
ferro	João Lisboa	MA	2105500	2000	Baixo
ferro	João Lisboa	MA	2105500	2010	Intermediário
ferro	João Lisboa	MA	2105500	2021	Intermediário
ferro	Miranda do Norte	MA	2106755	1990	Muito baixo
ferro	Miranda do Norte	MA	2106755	2000	Baixo
ferro	Miranda do Norte	MA	2106755	2010	Baixo
ferro	Miranda do Norte	MA	2106755	2021	Intermediário
ferro	Monção	MA	2106904	1990	Muito baixo
ferro	Monção	MA	2106904	2000	Muito baixo
ferro	Monção	MA	2106904	2010	Baixo
ferro	Monção	MA	2106904	2021	Baixo
ferro	Montes Altos	MA	2107001	1990	Muito baixo
ferro	Montes Altos	MA	2107001	2000	Muito baixo
ferro	Montes Altos	MA	2107001	2010	Baixo
ferro	Montes Altos	MA	2107001	2021	Baixo
ferro	Penalva	MA	2108306	1990	Muito baixo
ferro	Penalva	MA	2108306	2000	Muito baixo
ferro	Penalva	MA	2108306	2010	Baixo
ferro	Penalva	MA	2108306	2021	Baixo
ferro	Pindaré-Mirim	MA	2108504	1990	Baixo
ferro	Pindaré-Mirim	MA	2108504	2000	Baixo
ferro	Pindaré-Mirim	MA	2108504	2010	Intermediário
ferro	Pindaré-Mirim	MA	2108504	2021	Intermediário
ferro	Porto Franco	MA	2109007	1990	Muito baixo
ferro	Porto Franco	MA	2109007	2000	Baixo
ferro	Porto Franco	MA	2109007	2010	Intermediário
ferro	Porto Franco	MA	2109007	2021	Intermediário
ferro	Presidente Juscelino	MA	2109205	1990	Muito baixo

ferro	Presidente Juscelino	MA	2109205	2000	Muito baixo
ferro	Presidente Juscelino	MA	2109205	2010	Muito baixo
ferro	Presidente Juscelino	MA	2109205	2021	Baixo
ferro	Ribamar Fiquene	MA	2109551	1990	Muito baixo
ferro	Ribamar Fiquene	MA	2109551	2000	Baixo
ferro	Ribamar Fiquene	MA	2109551	2010	Baixo
ferro	Ribamar Fiquene	MA	2109551	2021	Intermediário
ferro	Rosário	MA	2109601	1990	Muito baixo
ferro	Rosário	MA	2109601	2000	Muito baixo
ferro	Rosário	MA	2109601	2010	Muito baixo
ferro	Rosário	MA	2109601	2021	Baixo
ferro	Santa Inês	MA	2109908	1990	Intermediário
ferro	Santa Inês	MA	2109908	2000	Intermediário
ferro	Santa Inês	MA	2109908	2010	Intermediário
ferro	Santa Inês	MA	2109908	2021	Alto
ferro	Santa Rita	MA	2110203	1990	Muito baixo
ferro	Santa Rita	MA	2110203	2000	Muito baixo
ferro	Santa Rita	MA	2110203	2010	Baixo
ferro	Santa Rita	MA	2110203	2021	Baixo
ferro	São Francisco do Brejão	MA	2110856	1990	Muito baixo
ferro	São Francisco do Brejão	MA	2110856	2000	Baixo
ferro	São Francisco do Brejão	MA	2110856	2010	Intermediário
ferro	São Francisco do Brejão	MA	2110856	2021	Intermediário
ferro	São João Batista	MA	2111003	1990	Muito baixo
ferro	São João Batista	MA	2111003	2000	Muito baixo
ferro	São João Batista	MA	2111003	2010	Baixo
ferro	São João Batista	MA	2111003	2021	Baixo
ferro	São João do Carú	MA	2111029	1990	Muito baixo
ferro	São João do Carú	MA	2111029	2000	Muito baixo
ferro	São João do Carú	MA	2111029	2010	Baixo
ferro	São João do Carú	MA	2111029	2021	Baixo
ferro	São Luís	MA	2111300	1990	Alto
ferro	São Luís	MA	2111300	2000	Alto
ferro	São Luís	MA	2111300	2010	Alto
ferro	São Luís	MA	2111300	2021	Muito alto
ferro	São Pedro da Água Branca	MA	2111532	1990	Muito baixo
ferro	São Pedro da Água Branca	MA	2111532	2000	Baixo
ferro	São Pedro da Água Branca	MA	2111532	2010	Intermediário
ferro	São Pedro da Água Branca	MA	2111532	2021	Intermediário
ferro	Senador La Rocque	MA	2111763	1990	Muito baixo
ferro	Senador La Rocque	MA	2111763	2000	Baixo
ferro	Senador La Rocque	MA	2111763	2010	Intermediário
ferro	Senador La Rocque	MA	2111763	2021	Intermediário
ferro	Tufilândia	MA	2112274	1990	Muito baixo
ferro	Tufilândia	MA	2112274	2000	Baixo

ferro	Tufilândia	MA	2112274	2010	Baixo
ferro	Tufilândia	MA	2112274	2021	Intermediário
ferro	Viana	MA	2112803	1990	Muito baixo
ferro	Viana	MA	2112803	2000	Muito baixo
ferro	Viana	MA	2112803	2010	Baixo
ferro	Viana	MA	2112803	2021	Baixo
ferro	Vila Nova dos Martírios	MA	2112852	1990	Muito baixo
ferro	Vila Nova dos Martírios	MA	2112852	2000	Baixo
ferro	Vila Nova dos Martírios	MA	2112852	2010	Intermediário
ferro	Vila Nova dos Martírios	MA	2112852	2021	Intermediário
ferro	Vitória do Mearim	MA	2112902	1990	Muito baixo
ferro	Vitória do Mearim	MA	2112902	2000	Muito baixo
ferro	Vitória do Mearim	MA	2112902	2010	Baixo
ferro	Vitória do Mearim	MA	2112902	2021	Baixo
ferro	Abel Figueiredo	PA	1500131	1990	Baixo
ferro	Abel Figueiredo	PA	1500131	2000	Baixo
ferro	Abel Figueiredo	PA	1500131	2010	Intermediário
ferro	Abel Figueiredo	PA	1500131	2021	Intermediário
ferro	Bom Jesus do Tocantins	PA	1501576	1990	Muito baixo
ferro	Bom Jesus do Tocantins	PA	1501576	2000	Baixo
ferro	Bom Jesus do Tocantins	PA	1501576	2010	Baixo
ferro	Bom Jesus do Tocantins	PA	1501576	2021	Intermediário
ferro	Canaã dos Carajás	PA	1502152	1990	Muito baixo
ferro	Canaã dos Carajás	PA	1502152	2000	Baixo
ferro	Canaã dos Carajás	PA	1502152	2010	Intermediário
ferro	Canaã dos Carajás	PA	1502152	2021	Muito alto
ferro	Curionópolis	PA	1502772	1990	Baixo
ferro	Curionópolis	PA	1502772	2000	Baixo
ferro	Curionópolis	PA	1502772	2010	Intermediário
ferro	Curionópolis	PA	1502772	2021	Alto
ferro	Eldorado do Carajás	PA	1502954	1990	Muito baixo
ferro	Eldorado do Carajás	PA	1502954	2000	Baixo
ferro	Eldorado do Carajás	PA	1502954	2010	Intermediário
ferro	Eldorado do Carajás	PA	1502954	2021	Intermediário
ferro	Marabá	PA	1504208	1990	Baixo
ferro	Marabá	PA	1504208	2000	Baixo
ferro	Marabá	PA	1504208	2010	Intermediário
ferro	Marabá	PA	1504208	2021	Alto
ferro	Nova Ipixuna	PA	1504976	1990	Muito baixo
ferro	Nova Ipixuna	PA	1504976	2000	Baixo
ferro	Nova Ipixuna	PA	1504976	2010	Baixo
ferro	Nova Ipixuna	PA	1504976	2021	Intermediário
ferro	Parauapebas	PA	1505536	1990	Muito baixo
ferro	Parauapebas	PA	1505536	2000	Baixo
ferro	Parauapebas	PA	1505536	2010	Alto

ferro	Parauapebas	PA	1505536	2021	Muito alto
ferro	São Domingos do Araguaia	PA	1507151	1990	Muito baixo
ferro	São Domingos do Araguaia	PA	1507151	2000	Baixo
ferro	São Domingos do Araguaia	PA	1507151	2010	Intermediário
ferro	São Domingos do Araguaia	PA	1507151	2021	Intermediário
ferro	São Geraldo do Araguaia	PA	1507458	1990	Muito baixo
ferro	São Geraldo do Araguaia	PA	1507458	2000	Baixo
ferro	São Geraldo do Araguaia	PA	1507458	2010	Intermediário
ferro	São Geraldo do Araguaia	PA	1507458	2021	Intermediário
ferro	São João do Araguaia	PA	1507508	1990	Muito baixo
ferro	São João do Araguaia	PA	1507508	2000	Muito baixo
ferro	São João do Araguaia	PA	1507508	2010	Baixo
ferro	São João do Araguaia	PA	1507508	2021	Intermediário
ferro	Aguiarnópolis	TO	1700301	1990	Muito baixo
ferro	Aguiarnópolis	TO	1700301	2000	Baixo
ferro	Aguiarnópolis	TO	1700301	2010	Intermediário
ferro	Aguiarnópolis	TO	1700301	2021	Intermediário
ferro	Aliança do Tocantins	TO	1700350	1990	Baixo
ferro	Aliança do Tocantins	TO	1700350	2000	Baixo
ferro	Aliança do Tocantins	TO	1700350	2010	Intermediário
ferro	Aliança do Tocantins	TO	1700350	2021	Alto
ferro	Alvorada	TO	1700707	1990	Baixo
ferro	Alvorada	TO	1700707	2000	Intermediário
ferro	Alvorada	TO	1700707	2010	Intermediário
ferro	Alvorada	TO	1700707	2021	Intermediário
ferro	Araguaína	TO	1702109	1990	Baixo
ferro	Araguaína	TO	1702109	2000	Intermediário
ferro	Araguaína	TO	1702109	2010	Intermediário
ferro	Araguaína	TO	1702109	2021	Alto
ferro	Babaçulândia	TO	1703008	1990	Muito baixo
ferro	Babaçulândia	TO	1703008	2000	Muito baixo
ferro	Babaçulândia	TO	1703008	2010	Baixo
ferro	Babaçulândia	TO	1703008	2021	Baixo
ferro	Barrolândia	TO	1703107	1990	Baixo
ferro	Barrolândia	TO	1703107	2000	Baixo
ferro	Barrolândia	TO	1703107	2010	Intermediário
ferro	Barrolândia	TO	1703107	2021	Intermediário
ferro	Brasilândia do Tocantins	TO	1703602	1990	Muito baixo
ferro	Brasilândia do Tocantins	TO	1703602	2000	Baixo
ferro	Brasilândia do Tocantins	TO	1703602	2010	Baixo
ferro	Brasilândia do Tocantins	TO	1703602	2021	Intermediário
ferro	Brejinho de Nazaré	TO	1703701	1990	Baixo
ferro	Brejinho de Nazaré	TO	1703701	2000	Baixo
ferro	Brejinho de Nazaré	TO	1703701	2010	Baixo
ferro	Brejinho de Nazaré	TO	1703701	2021	Intermediário

ferro	Cariri do Tocantins	TO	1703867	1990	Baixo
ferro	Cariri do Tocantins	TO	1703867	2000	Baixo
ferro	Cariri do Tocantins	TO	1703867	2010	Intermediário
ferro	Cariri do Tocantins	TO	1703867	2021	Alto
ferro	Crixás do Tocantins	TO	1706258	1990	Muito baixo
ferro	Crixás do Tocantins	TO	1706258	2000	Baixo
ferro	Crixás do Tocantins	TO	1706258	2010	Baixo
ferro	Crixás do Tocantins	TO	1706258	2021	Intermediário
ferro	Darcinópolis	TO	1706506	1990	Muito baixo
ferro	Darcinópolis	TO	1706506	2000	Muito baixo
ferro	Darcinópolis	TO	1706506	2010	Baixo
ferro	Darcinópolis	TO	1706506	2021	Baixo
ferro	Dueré	TO	1707306	1990	Muito baixo
ferro	Dueré	TO	1707306	2000	Baixo
ferro	Dueré	TO	1707306	2010	Baixo
ferro	Dueré	TO	1707306	2021	Intermediário
ferro	Esperantina	TO	1707405	1990	Muito baixo
ferro	Esperantina	TO	1707405	2000	Baixo
ferro	Esperantina	TO	1707405	2010	Intermediário
ferro	Esperantina	TO	1707405	2021	Intermediário
ferro	Fátima	TO	1707553	1990	Baixo
ferro	Fátima	TO	1707553	2000	Baixo
ferro	Fátima	TO	1707553	2010	Baixo
ferro	Fátima	TO	1707553	2021	Intermediário
ferro	Figueirópolis	TO	1707652	1990	Baixo
ferro	Figueirópolis	TO	1707652	2000	Baixo
ferro	Figueirópolis	TO	1707652	2010	Intermediário
ferro	Figueirópolis	TO	1707652	2021	Intermediário
ferro	Filadélfia	TO	1707702	1990	Muito baixo
ferro	Filadélfia	TO	1707702	2000	Muito baixo
ferro	Filadélfia	TO	1707702	2010	Baixo
ferro	Filadélfia	TO	1707702	2021	Intermediário
ferro	Guaraí	TO	1709302	1990	Baixo
ferro	Guaraí	TO	1709302	2000	Baixo
ferro	Guaraí	TO	1709302	2010	Intermediário
ferro	Guaraí	TO	1709302	2021	Intermediário
ferro	Gurupi	TO	1709500	1990	Intermediário
ferro	Gurupi	TO	1709500	2000	Intermediário
ferro	Gurupi	TO	1709500	2010	Intermediário
ferro	Gurupi	TO	1709500	2021	Intermediário
ferro	Itaguatins	TO	1710706	1990	Muito baixo
ferro	Itaguatins	TO	1710706	2000	Muito baixo
ferro	Itaguatins	TO	1710706	2010	Baixo
ferro	Itaguatins	TO	1710706	2021	Intermediário
ferro	Itapiratins	TO	1710904	1990	Muito baixo

ferro	Itapiratins	TO	1710904	2000	Muito baixo
ferro	Itapiratins	TO	1710904	2010	Baixo
ferro	Itapiratins	TO	1710904	2021	Intermediário
ferro	Maurilândia do Tocantins	TO	1712801	1990	Muito baixo
ferro	Maurilândia do Tocantins	TO	1712801	2000	Muito baixo
ferro	Maurilândia do Tocantins	TO	1712801	2010	Muito baixo
ferro	Maurilândia do Tocantins	TO	1712801	2021	Baixo
ferro	Miracema do Tocantins	TO	1713205	1990	Baixo
ferro	Miracema do Tocantins	TO	1713205	2000	Baixo
ferro	Miracema do Tocantins	TO	1713205	2010	Intermediário
ferro	Miracema do Tocantins	TO	1713205	2021	Intermediário
ferro	Miranorte	TO	1713304	1990	Baixo
ferro	Miranorte	TO	1713304	2000	Baixo
ferro	Miranorte	TO	1713304	2010	Intermediário
ferro	Miranorte	TO	1713304	2021	Intermediário
ferro	Nova Olinda	TO	1714880	1990	Muito baixo
ferro	Nova Olinda	TO	1714880	2000	Baixo
ferro	Nova Olinda	TO	1714880	2010	Baixo
ferro	Nova Olinda	TO	1714880	2021	Intermediário
ferro	Nova Rosalândia	TO	1715002	1990	Baixo
ferro	Nova Rosalândia	TO	1715002	2000	Baixo
ferro	Nova Rosalândia	TO	1715002	2010	Intermediário
ferro	Nova Rosalândia	TO	1715002	2021	Intermediário
ferro	Oliveira de Fátima	TO	1715507	1990	Baixo
ferro	Oliveira de Fátima	TO	1715507	2000	Baixo
ferro	Oliveira de Fátima	TO	1715507	2010	Intermediário
ferro	Oliveira de Fátima	TO	1715507	2021	Intermediário
ferro	Palmeirante	TO	1715705	1990	Muito baixo
ferro	Palmeirante	TO	1715705	2000	Muito baixo
ferro	Palmeirante	TO	1715705	2010	Baixo
ferro	Palmeirante	TO	1715705	2021	Intermediário
ferro	Palmeiras do Tocantins	TO	1713809	1990	Muito baixo
ferro	Palmeiras do Tocantins	TO	1713809	2000	Muito baixo
ferro	Palmeiras do Tocantins	TO	1713809	2010	Baixo
ferro	Palmeiras do Tocantins	TO	1713809	2021	Intermediário
ferro	Paraíso do Tocantins	TO	1716109	1990	Intermediário
ferro	Paraíso do Tocantins	TO	1716109	2000	Intermediário
ferro	Paraíso do Tocantins	TO	1716109	2010	Intermediário
ferro	Paraíso do Tocantins	TO	1716109	2021	Intermediário
ferro	Pedro Afonso	TO	1716505	1990	Baixo
ferro	Pedro Afonso	TO	1716505	2000	Baixo
ferro	Pedro Afonso	TO	1716505	2010	Baixo
ferro	Pedro Afonso	TO	1716505	2021	Intermediário
ferro	Porto Nacional	TO	1718204	1990	Baixo
ferro	Porto Nacional	TO	1718204	2000	Intermediário

ferro	Porto Nacional	TO	1718204	2010	Intermediário
ferro	Porto Nacional	TO	1718204	2021	Alto
ferro	Presidente Kennedy	TO	1718402	1990	Muito baixo
ferro	Presidente Kennedy	TO	1718402	2000	Muito baixo
ferro	Presidente Kennedy	TO	1718402	2010	Baixo
ferro	Presidente Kennedy	TO	1718402	2021	Intermediário
ferro	Pugmil	TO	1718451	1990	Baixo
ferro	Pugmil	TO	1718451	2000	Baixo
ferro	Pugmil	TO	1718451	2010	Intermediário
ferro	Pugmil	TO	1718451	2021	Intermediário
ferro	Rio dos Bois	TO	1718709	1990	Muito baixo
ferro	Rio dos Bois	TO	1718709	2000	Muito baixo
ferro	Rio dos Bois	TO	1718709	2010	Baixo
ferro	Rio dos Bois	TO	1718709	2021	Intermediário
ferro	Santa Rita do Tocantins	TO	1718899	1990	Muito baixo
ferro	Santa Rita do Tocantins	TO	1718899	2000	Muito baixo
ferro	Santa Rita do Tocantins	TO	1718899	2010	Baixo
ferro	Santa Rita do Tocantins	TO	1718899	2021	Intermediário
ferro	São Miguel do Tocantins	TO	1720200	1990	Muito baixo
ferro	São Miguel do Tocantins	TO	1720200	2000	Baixo
ferro	São Miguel do Tocantins	TO	1720200	2010	Baixo
ferro	São Miguel do Tocantins	TO	1720200	2021	Intermediário
ferro	São Sebastião do Tocantins	TO	1720309	1990	Muito baixo
ferro	São Sebastião do Tocantins	TO	1720309	2000	Baixo
ferro	São Sebastião do Tocantins	TO	1720309	2010	Intermediário
ferro	São Sebastião do Tocantins	TO	1720309	2021	Intermediário
ferro	Sítio Novo do Tocantins	TO	1720804	1990	Muito baixo
ferro	Sítio Novo do Tocantins	TO	1720804	2000	Baixo
ferro	Sítio Novo do Tocantins	TO	1720804	2010	Intermediário
ferro	Sítio Novo do Tocantins	TO	1720804	2021	Intermediário
ferro	Sucupira	TO	1720853	1990	Muito baixo
ferro	Sucupira	TO	1720853	2000	Baixo
ferro	Sucupira	TO	1720853	2010	Baixo
ferro	Sucupira	TO	1720853	2021	Alto
ferro	Tabocão	TO	1708254	1990	Baixo
ferro	Tabocão	TO	1708254	2000	Baixo
ferro	Tabocão	TO	1708254	2010	Intermediário
ferro	Tabocão	TO	1708254	2021	Intermediário
ferro	Talismã	TO	1720978	1990	Baixo
ferro	Talismã	TO	1720978	2000	Baixo
ferro	Talismã	TO	1720978	2010	Intermediário
ferro	Talismã	TO	1720978	2021	Intermediário
ferro	Tocantínia	TO	1721109	1990	Muito baixo
ferro	Tocantínia	TO	1721109	2000	Muito baixo
ferro	Tocantínia	TO	1721109	2010	Baixo

ferro	Tocantínia	TO	1721109	2021	Baixo
ferro	Tocantinópolis	TO	1721208	1990	Muito baixo
ferro	Tocantinópolis	TO	1721208	2000	Muito baixo
ferro	Tocantinópolis	TO	1721208	2010	Baixo
ferro	Tocantinópolis	TO	1721208	2021	Baixo
ferro	Tupirama	TO	1721257	1990	Muito baixo
ferro	Tupirama	TO	1721257	2000	Muito baixo
ferro	Tupirama	TO	1721257	2010	Baixo
ferro	Tupirama	TO	1721257	2021	Intermediário
ferro	Tupiratins	TO	1721307	1990	Muito baixo
ferro	Tupiratins	TO	1721307	2000	Muito baixo
ferro	Tupiratins	TO	1721307	2010	Baixo
ferro	Tupiratins	TO	1721307	2021	Baixo
ferro	Wanderlândia	TO	1722081	1990	Muito baixo
ferro	Wanderlândia	TO	1722081	2000	Muito baixo
ferro	Wanderlândia	TO	1722081	2010	Baixo
ferro	Wanderlândia	TO	1722081	2021	Baixo