


ANÁLISE ECONÔMICA, SOCIAL E AMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS DA ROTA BR-364–RIO MADEIRA

 <https://doi.org/10.56238/arev7n5-354>

Data de submissão: 25/04/2025

Data de publicação: 25/05/2025

Adriano Silva Ferreira

Mestrando em Engenharia Naval - Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: adriano.ferreira@ig.ufpa.br

Humberto de Paiva Junior

Doutor em Engenharia de Transportes - Universidade Federal ABC - CECS

E-mail: humberto.paiva@ufabc.edu.br

Maisa Sales Gama Tobias

Doutora em Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: isatobias1@gmail.com

Rita de Cássia Monteiro de Moraes

Doutora em Engenharia Civil - Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: moraes.rita@hotmail.com

Nélio Moura de Figueredo

Doutor em Recursos Naturais da Amazônia - Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: nelio@ufpa.br

Andrya Juliane Coelho Nunes

Graduando em Engenharia Naval - Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: andrya.nunes@itec.ufpa.br

RESUMO

Este artigo investiga as interrelações de indicadores econômicos, ambientais, sociais e de infraestrutura nos municípios situados ao longo da rota logística BR-364–Rio Madeira. A pesquisa emprega técnicas de análise multivariada, como a Análise de Componentes Principais (PCA) e análise de grupos, a partir do cenário base do PNL2035 de 2017. Os resultados revelam diferentes perfis de desenvolvimento econômico e seus efeitos sobre aspectos ambientais e sociais relacionados com a densidade de transporte de carga. A análise revelou grupos com padrões distintos de desenvolvimento, regiões de intensa transformação do espaço natural e problemas sociais comuns a todos os municípios sugerindo uma reflexão sobre a sustentabilidade do modelo econômico.

Palavras-chave: Soja. Desenvolvimento regional. Análise multivariada. BR-364. Rio Madeira. Rio Amazonas.

1 INTRODUÇÃO

A produção de soja no Brasil nos anos de 2024 e 2025 atingiu 167.369 milhões de toneladas em área plantada de 47.450 milhões de hectares, com produtividade de 3.527 kg/ha, garantindo-lhe o título de maior produtor mundial de soja (CONAB, 2025). Em termos de produção agrícola, o agronegócio teve papel fundamental no crescimento do País, respondendo, direta e indiretamente por parcela significativa do PIB brasileiro, além de ter apresentado crescimento superior ao dos demais segmentos econômicos em anos recentes. Conforme estudo da Conferência Nacional do Transporte – CNT, que analisa os entraves logísticos no escoamento de soja e milho (CNT, 2015), a performance do setor é resultado de contínuos investimentos em pesquisa e inovação, que proporcionaram ganhos de produtividade na produção agropecuária.

A região Centro-Oeste do Brasil se destaca pela produção de grãos desde a década de 1980 e, no início da década de 1990, tornou-se o maior produtor de soja do país, em especial o Estado de Mato Grosso, como principal centro de produção agrícola. A economia de Mato Grosso é sustentada por dois pilares: a pecuária e a agricultura. Apesar de possuir o maior rebanho bovino do país, com aproximadamente 34,2 milhões de animais, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE de 2022, a produção e exportação de grãos são as principais atividades econômicas do estado. Ainda, de acordo com dados recentes do IBGE (IBGE, 2022), o Mato Grosso foi responsável por aproximadamente 28% da produção nacional de soja em 2021. Essa expressiva produção tem gerado desafios significativos para o escoamento desse importante grão. A intensificação da produção de soja no Mato Grosso tem exigido a busca por soluções logísticas eficientes para o escoamento da safra. Segundo estudos realizados por (Costa; Soares-Filho; Nobrega, 2022) o aumento da produção de soja tem impactado a capacidade dos sistemas de transporte rodoviário e ferroviário no país, resultando em congestionamentos, custos elevados e dificuldades logísticas, criando desafios e impulsionando a busca por alternativas de escoamento mais eficientes (TOBIAS, 2024).

Llorca, Lima e Lopes (2018) citam que 80% da soja brasileira é escoada através das regiões Sul e Sudeste, tendo como principais portos exportadores Santos e Paranaguá. Entretanto, nota-se um crescimento de fluxo em portos mais ao Norte do Brasil (Rodrigues, 2018), com destaque para Vila do Conde, Itacoatiara, Miritituba (Itaituba), Santarém e Santana, evidenciados nos últimos anos como componentes do chamado Arco Norte. Até recentemente, pouco se questionava o potencial de exclusividade da movimentação portuária e escoamento da produção pelos portos das regiões Sul e Sudeste do Brasil, apesar da estimativa inicial, o gradual poder de atração da infraestrutura logística dos portos do Arco Norte tem prevalecido, assim os terminais portuários do Norte já são responsáveis pela metade dos despachos de grãos de soja para exterior.

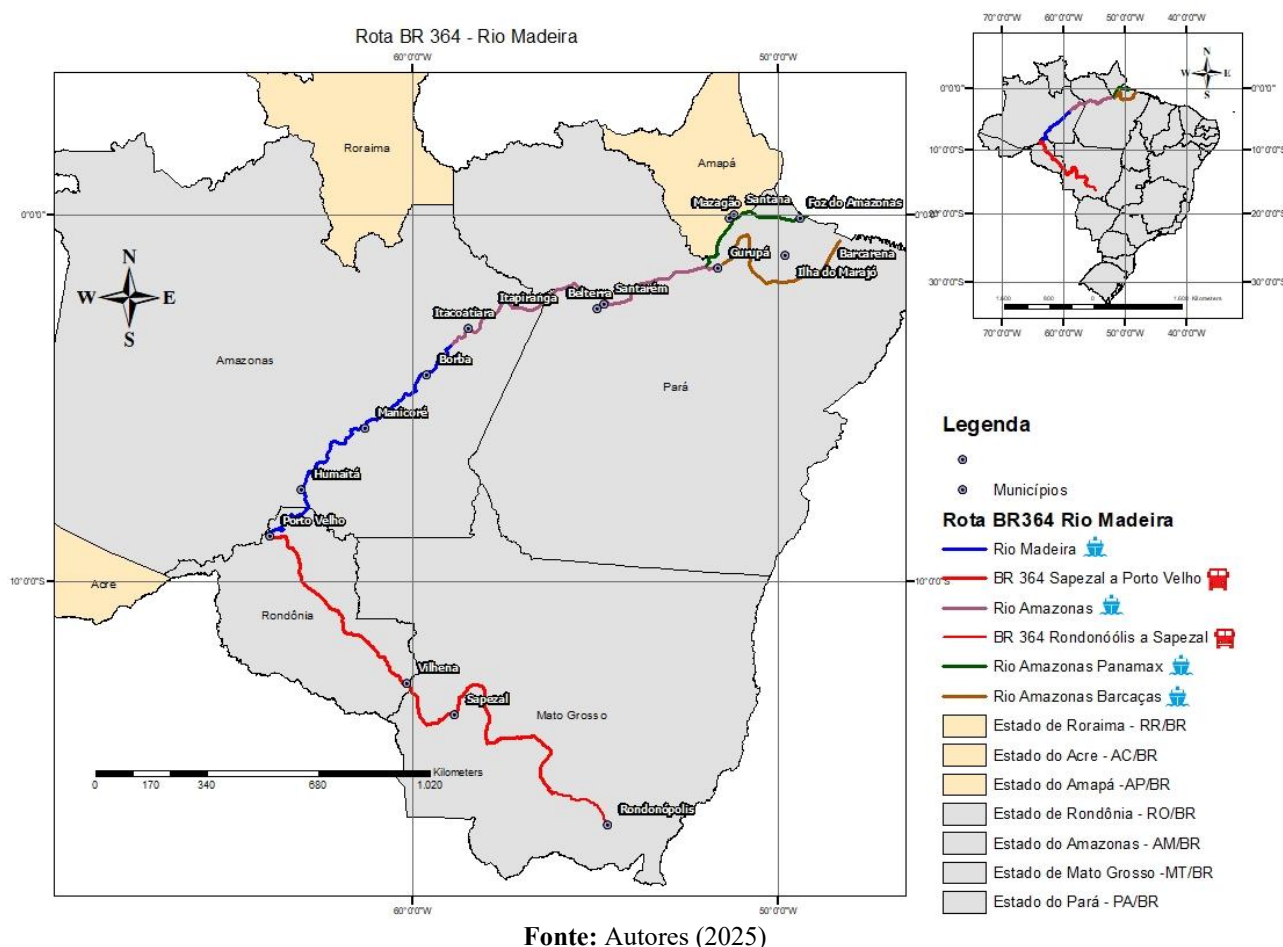
O estudo de Caixeta Filho, Costa e Arima (2019) evidenciou que a introdução do modal hidroviário de cargas combinado com o transporte ferroviário reduziria os custos em 44% e, no transporte rodoviário, 84%. Observou-se que em regiões onde a infraestrutura de transportes permitiu a exportação de grãos pelo Norte, dois fatores básicos foram responsáveis para redução de custos, referindo-se a ferrovia Carajás e a hidrovia do Rio Madeira, sendo a alternativa de combinação entre os diversos modais de transporte, à despeito da predominância do modal rodoviário, permitindo que os custos unitários de transporte fossem minimizados; ao mesmo tempo que, a redução da distância até os portos tradicionais ocorreria pelo fato da produção de soja estar se voltando cada vez mais em direção à região setentrional do Brasil.

A expansão da soja na região Centro-Oeste trouxe impactos econômicos e sociais em que municípios que começaram a cultivar a soja conseguiram um desenvolvimento humano mais alto do que aqueles que não cultivaram a soja (Cattelan; Dall'Agnol, 2018). Segundo Souza (2021), a importância econômica da soja se concentra num mercado global em expansão e além de tornar as zonas produtoras mais competitivas, como Sapezal e Vilhena dos estados de Mato Grosso e Rondônia, respectivamente. Do ponto de vista logístico, há uma ligação dessas zonas produtoras permitindo o escoamento da soja para Porto Velho no estado de Rondônia (RO) até os portos de Itacoatiara do estado do Amazonas (AM) e de Barcarena do estado do Pará (PA), através do rio Madeira e, finalmente, para o mercado exterior.

A BR-364 constitui-se numa das principais rotas logísticas para o escoamento agrícola do Mato Grosso, sendo uma rodovia federal que corta o Brasil de leste a oeste, ligando estados como Rondônia, Acre, Mato Grosso e Goiás, e juntamente com o Rio Madeira, a partir de Porto Velho, no Estado de Rondônia, forma uma rota de escoamento da soja do estado do Mato Grosso para exportação (Caldeira; Lopes; Gasques, 2023) Assim, a rota BR-364–Rio Madeira, tendo como percurso de partida o porto de Porto Velho, onde ocorre o transbordo de cargas para embarcações, seguem em direção ao porto de Itacoatiara (AM) e ao porto de Santarém (PA), facilitando o acesso ao mercado internacional com saída para o Oceano Atlântico (Figura 1).

Admite-se que, o sistema de transporte é um elemento estratégico para promover avanços sociais e econômicos, pois amplia o acesso da população a direitos básicos, como saúde, educação e trabalho, além de impulsionar a circulação de bens e serviços. Quando bem planejado, a infraestrutura de mobilidade contribui para reduzir desigualdades regionais, favorecer a coesão social e estimular o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a logística se destaca como um componente essencial para a integração territorial, ao conectar áreas produtoras e consumidoras e facilitar o escoamento da produção local, especialmente em regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos.

Figura 1: Rota de Escoamento de soja BR364-Rio Madeira.



Ademais, o desenvolvimento das atividades econômicas está fortemente associado à existência e à qualidade das redes de transporte, que desempenham um papel essencial na articulação dos territórios. Ao facilitar o fluxo de pessoas, produtos e informações, essas redes contribuem para fortalecer polos produtivos e intensificar a integração entre diferentes regiões. Contudo, seus efeitos não são uniformes: enquanto determinadas áreas passam a concentrar investimentos e oportunidades, outras permanecem marginalizadas, o que pode ampliar as disparidades espaciais. Segundo Lima e Rodrigues (2022), a ampliação da malha de transportes influencia diretamente a organização do espaço, alterando padrões de ocupação e uso do solo, além de gerar impactos ambientais, o que reforça a necessidade de políticas públicas que aliem desenvolvimento econômico, justiça territorial e sustentabilidade.

Portanto, a questão norteadora deste trabalho se constitui em responder qual é o perfil de comportamento dos indicadores econômicos, sociais, ambientais e de infraestrutura dos municípios situados ao longo da rota de exportação de soja BR-364–Rio Madeira. Sabe-se que a ocupação da Amazônia e do Cerrado pela soja tem estado associada a desafios ambientais, como desmatamento,

uso intensivo de recursos hídricos, perda de biodiversidade e emissões de carbono (Flach *et al.*, 2021). Compreender esses perfis de comportamento é essencial para propor estratégias de produção mais sustentáveis e políticas de mitigação de danos. Embora o agronegócio gere crescimento econômico, nem sempre os benefícios são distribuídos de forma equitativa. Ademais, a expansão da soja pode gerar conflitos territoriais com comunidades tradicionais, pequenos agricultores e povos indígenas, devido à pressão por terras e mudanças no uso do solo. Portanto, a pesquisa se justificou pela necessidade de compreender a relação entre a produção de soja na Amazônia com o crescimento econômico, sustentabilidade ambiental e inclusão social. Ao gerar conhecimento sobre essa dinâmica, o estudo pode subsidiar uma gestão territorial mais eficiente e a promoção de um desenvolvimento regional que não comprometa o futuro das comunidades e do meio ambiente.

Diante do exposto, a pesquisa partiu da revisão de literatura sobre a expansão agrícola da soja no Centro-Oeste do Brasil, o que permitiu a coleta e formação de um banco de dados sobre as diversas variáveis envolvidas, seguida do uso de técnicas estatísticas de análise multivariada, mais especificamente, a Análise de Componentes Principais e a Análise de Agrupamentos, de variáveis socioambientais e econômicas dos respectivos municípios. Por fim, tem-se os resultados e discussão para o estudo de caso e as conclusões do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura está concentrada sobre o surgimento e crescimento da exportação de soja e efeitos sobre o território dos municípios da rota BR 364- Rio Madeira, identificando-se as infraestruturas existentes. Na sequência, tem-se a apresentação das técnicas estatísticas que serviram de fundamentação teórica da modelagem utilizada.

2.1 O CONTEXTO DA EXPORTAÇÃO DE SOJA E SUA REPERCUSSÃO TERRITORIAL NA ROTA BR 364-RIO MADEIRA

A soja no Mato Grosso surgiu em 1950 nas áreas de campo e cerrado até no momento ocupado pela pecuária, sendo sua expansão vinda do sul do Brasil e depois continuando pelo corredor BR 364- Rio Madeira (Melo *et al.*, 2023). A busca de novas rotas para o escoamento de seus grãos para o mercado internacional vem ocasionando diversos estudos (Akabane *et al.*, 2023; Chaniabateet *al.*, 2023; Ikram; Sadki, 2024), que evidenciam a importância de infraestruturas logísticas adequadas para garantir crescimento econômico regional e desenvolvimento sustentável, mediante cenários estratégicos de conexão do agronegócio brasileiro ao atendimento de uma demanda mundial. Há de ressaltar que realmente a exportação de soja no agronegócio representa em 31,5% da produção

nacional de soja, e que o Brasil representado pelo estado do Mato Grosso, se destaca em 2º produtor mundial de soja (Landau et al., 2020; Vieira Filho, 2024).

Em se tratando da rota BR364-Rio Madeira, o fluxo de exportação de soja tem sido relacionado à diversos impactos sobre o território dos municípios lindeiros, que segundo Spear *et al.* (2024) está ligado à intensificação da navegação, tais como alterações na qualidade da água, afetando a biodiversidade aquática e prejudicando comunidades ribeirinhas que dependem da pesca para sua subsistência. Outro impacto ambiental é o tráfego constante de embarcações de grande porte pode interferir no regime dos rios, provocando erosão das margens, assoreamento e modificação dos ciclos naturais das cheias, o que compromete a navegabilidade tradicional das populações locais e a segurança das habitações próximas às margens (Mcconchile; Toleman, 2003). Por outro lado, outros estudos mostraram investimentos significativos nesses municípios fruto de políticas de infraestrutura influenciando o acesso a oportunidades de emprego, educação e serviços básicos (Chein *et al.*, 2021; Kaiser; Barstow, 2022;).

A infraestrutura logística do corredor apresentado na figura 1 tem como descrição:

- i) A BR-364 tem 4.325 km de extensão, sendo que inicia km 115 em adentrando o estado Mato Grosso sentido leste-oeste, passando a ser considerada parte da rota a partir do município Rondonópolis até Porto Velho;
- ii) O rio Madeira representa a segunda maior sub-bacia da bacia Amazônica com uma área aproximadamente de 1.370.000 km² com 23% do total da bacia Amazônica. O rio apresenta chuvas regulares, sua profundidade é de 8,2 m, no período de águas altas, entre janeiro e junho, e atinge o mínimo de 2,8 m do rigor da estiagem, entre setembro e outubro.
- iii) O porto de Porto Velho localizado às margens do rio Madeira é um ponto estratégico nesse corredor, permitindo o transbordo de cargas para embarcações que seguem em direção ao porto de Itacoatiara (AM);
- iv) O porto de Santarém (PA) localizado na Ponta do Salé, na cidade de Santarém, no Estado do Pará, às margens do rio Tapajós, aproximadamente 3 km antes de sua junção com o rio Amazonas e a uma distância fluvial de 876 km da capital, Belém;
- v) O acesso ao mercado internacional possui a saída para o oceano Atlântico a qual seu destino será a China.

2.2 AS TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTIVARIADA

Segundo Zeltermann (2022), a análise de componentes principais (PCA) consiste em determinar combinações lineares de variáveis que capturam a maior variação possível nos dados. O primeiro

componente principal corresponde à direção com a maior variabilidade. O segundo componente é definido de forma a maximizar a variabilidade restante, desde que seja ortogonal ao primeiro. O terceiro componente, por sua vez, é independente dos dois anteriores e segue o mesmo princípio, e assim sucessivamente para os demais componentes. Em síntese, esse método permite condensar um grande conjunto de variáveis em um número reduzido de combinações lineares, preservando a maior parte da variação original presente nos dados.

Para Zeltermann (2022), análise de componentes principais pode ser representada por p diferentes combinações lineares de n variáveis sendo escrita logo abaixo:

$$\begin{aligned} p_1 &= W_{11}n_1 + W_{12}n_2 + \dots + W_{1r}n_r \\ p_2 &= W_{21}n_1 + W_{22}n_2 + \dots + W_{2r}n_r \\ p_r &= W_{r1}n_1 + W_{r2}n_2 + \dots + W_{rr}n_r \end{aligned} \quad (1)$$

Conforme Zeltermann (2022), as médias e as variâncias das variáveis n são calculadas para depois serem escritas em uma matriz centralizada a qual se obtêm uma matriz de covariância, sendo para cada $i = 1, \dots, r$ as variâncias de n_i pode ser expressa:

$$\begin{aligned} Var n_i &= w'_i \Sigma w_i \\ Cov(n_i, n_j) &= w'_i \Sigma w_j = 0, i \neq j \text{ entre } 1 \text{ e } r \end{aligned} \quad (2)$$

O agrupamento hierárquico e o método k-médias são técnicas exploratórias amplamente utilizadas para identificar padrões de comportamento semelhantes entre diferentes observações, cujo principal objetivo da análise de agrupamentos é formar clusters ou subgrupos nos quais prevaleça a homogeneidade interna (FAVERO; BELFIORE, 2024).

As medidas de distância são utilizadas quando as variáveis do banco de dados são métricas, de forma que quanto maior a diferença entre os valores das variáveis, maior será a dissimilaridade entre os elementos analisados. Esse processo resulta em um arranjo de distâncias entre as cidades ribeirinhas, sendo frequentemente utilizada a distância euclidiana, um caso particular do método de Ward (FAVERO; BELFIORE, 2024). Härdle, Simar e Fengler (2024) ressaltam que a análise multivariada por agrupamentos é representada por uma matriz $D (p \times n)$, onde p é o número de objetos e n o número de variáveis, sendo que essa matriz, expressa as distâncias entre as variáveis em estudo.

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

O método de Ward utilizado na hierarquia de clusterização após PCA consiste em aqueles objetos (grupos) cuja combinação aumenta menos a variância no grupo resultante e não com os grupos com a menor distância as quais são combinados (Wani, 2024; Backhaus *et al.*, 2023). Segundo Wani (2024), a *clusterização* por centróides é uma técnica amplamente utilizada entre os métodos de partição, que agrupa os dados conforme sua proximidade em relação a centróides representativos. Assim, a clusterização por *k-means* depende de medições precisas de distância entre os pontos de dados e os centros dos *clusters*, sendo influenciada pela escolha da métrica de distância e pela forma como os centróides são inicialmente definidos.

3 METODOLOGIA

Para atender ao objetivo deste trabalho, os seguintes passos são realizados empregando o software Orange v3.38.1 (Demšar et al., 2013; Ljubljana, 2025):

1. **Coleta de Dados:** Indicadores econômicos, sociais, ambientais e de infraestrutura de transporte de carga são coletados para os municípios da área de estudo do corredor de transporte BR-364 – Rio Madeira;
2. **Seleção de Dados:** A seleção dos dados é feita com base na disponibilidade integral das variáveis para todos os casos, salvo aqueles onde o valor da variável pode ser naturalmente nulo. Dada a multiplicidade de fontes e ciclos de medição, são considerados elegíveis para análise indicadores registrados em diferentes datas dentro do intervalo temporal estabelecido, mas minimizando o intervalo de tempo entre as medições. A análise PCA utiliza a matriz de correlação, o que elimina a necessidade de normalização prévia dos indicadores;
3. **Análise Multivariada:** O processo de análise multivariada segue o fluxo apresentado na Figura 2. Na primeira etapa realiza-se o agrupamento dos municípios via a técnica k-médias usando o *Silhouette Score* (ZELTERMAN, 2022) como critério para escolha do número de subgrupos. A partir desta etapa são extraídos os primeiros “mapas de grupos”, permitindo visualizar o comportamento de cada um, no conjunto de variáveis. Em sequência realiza-se a PCA, extraindo os componentes principais via matriz de correlação, em conjunto com a visualização do agrupamento hierárquico de indicadores a fim de estabelecer uma base lógica para interpretação dos componentes principais. Para o agrupamento hierárquico a tabela de descrição dos componentes principais (PCs) com as cargas de cada variável é transposta para o procedimento de medição da distância euclidiana normalizada entre as variáveis, a fim de alimentar o processo de agrupamento seguinte. O número de componentes escolhido é aquele que apresenta ganhos significativos de representação da variância dos dados sem o aumento

excessivo de complexidade, bem como, resulta em grupos de indicadores com temas afins e justificáveis teórica ou empiricamente. Essa escolha é realizada observando o ponto de inflexão do gráfico de variância por número de componentes e o dendrograma de agrupamento hierárquico de variáveis (Dendrograma de Indicadores), baseado nas cargas das variáveis de cada componente principal. Logo, a partir do processo PCA as etapas seguintes são realizadas interativamente;

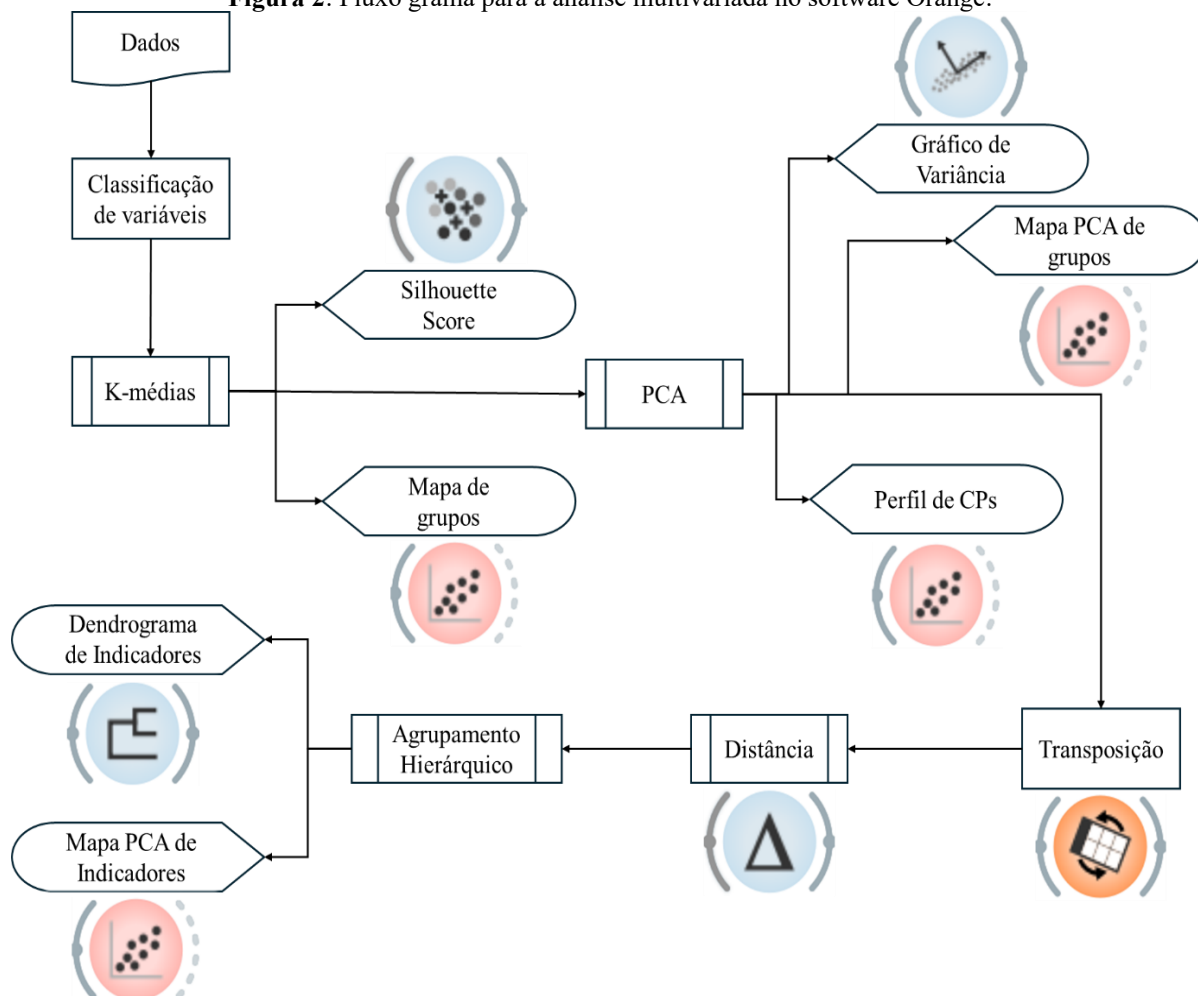
4. **Interpretação dos perfis de indicadores e relação com grupos de municípios:** A análise e interpretação dos perfis de indicadores (Dendrograma de Indicadores) é realizada através da construção e comparação de planos cartesianos de componentes principais (Mapa PCA de Indicadores). A relação com os grupos de municípios é obtida através da análise conjunta do Mapa PCA de Indicadores e Mapa PCA de grupos;
5. **Construção do Perfil Espacial:** O perfil espacial dos PCs é construído na última etapa, permitindo a interpretação da variação dos componentes ao longo do corredor de transporte. Os casos observados são ordenados de montante a jusante ao corredor e analisados em conjunto com o mapa geográfico da área de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de caso investiga indicadores econômicos, sociais, ambientais e de infraestrutura dos municípios pertencentes à rota BR-364-Rio Madeira, sendo os indicadores do Quadro 1 e os municípios do Quadro 2. Esses dados foram selecionados para os anos de 2017 e 2018 a fim de explorar os resultados do cenário base do modelo de simulação aplicado no PNL2035 (INFRASA, 2021) que possui dados da matriz de origem e destino de carga nacional para o ano de 2017.

Os municípios são primeiramente classificados em três grupos aplicando o processo de agregação k-médias. Esses grupos basicamente distinguem em municípios de baixa densidade demográfica (C1), alta densidade demográfica (C2) e grandes produtores de soja (C3). O passo seguinte é a aplicação do processo PCA. O método sugere que os 17 indicadores do Quadro 1 podem ser resumidos em apenas cinco componentes principais (PC) que capturam 80% da variância do conjunto total variáveis. As componentes são: PC1(31,7%); PC2(17,9%); PC3(14,6%); PC 4(9,4%); e PC 5(6,5%).

Figura 2: Fluxo grama para a análise multivariada no software Orange.



Fonte: Adaptado do Orange pelos Autores (2025)

Em sequência, aplica-se o agrupamento hierárquico de variáveis como ilustrado no dendrograma da imagem A da Figura 3, a fim de auxiliar a interpretação do significado das componentes principais. Ele possibilita o agrupamento dos indicadores em temas, auxiliando a interpretação dos PCs. Há cinco grupos de variáveis:

- C1 agrega indicadores ambientais;
- C2 agrega indicadores sociais;
- C3 reúne indicadores econômicos e demográficos associados a grandes centros urbanos onde predominam as atividades dos setores secundários e terciários. Note que neste grupo o desmatamento acumulado foi adicionado. Apesar de ser um indicador ambiental aqui ele aparece associado aos indicadores econômicos e demográficos;
- C4 realiza uma associação entre densidade de tráfego de carga com a vulnerabilidade familiar, detectando uma relação entre infraestrutura de transporte e um problema social;

Quadro 1: Indicadores selecionados

Código	Indicador	Fonte
IPS_A	Índice de Progresso Social Amazônia (2018)	(IMAZON, 2025)
Pop	População residente estimada (hab.) (2018)	(IBGE-SIDRA, 2025)
PIB	Produto Interno Bruto a preços correntes (Mil Reais) (2018)	(IMAZON, 2025)
VABagro	Valor adicionado bruto a preços correntes da agropecuária (Mil Reais) (2018)	(IBGE-SIDRA, 2025)
VABind	Valor adicionado bruto a preços correntes da indústria (Mil Reais) (2018)	(IBGE-SIDRA, 2025)
VABserv	Valor adicionado bruto a preços correntes dos serviços, exclusive administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social (Mil Reais) (2018)	(IBGE-SIDRA, 2025)
VABpub	Valor adicionado bruto a preços correntes da administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social (Mil Reais) (2018)	(IBGE-SIDRA, 2025)
ValorSoja	Valor da produção de soja (2018)	(IBGE-SIDRA, 2025)
ProdSoja	Produção de soja em grãos (ton) (2018)	(IBGE-SIDRA, 2025)
DesmatAcum	Desmatamento acumulado 2018 (% área total do município)	(IMAZON, 2025)
DesmatRece	Desmatamento recente 3 anos (% área total do município)	(IMAZON, 2025)
CO2ePop	Emissões CO ₂ 2018 (ton. CO ₂ /habitante)	(IMAZON, 2025)
FocosCalor	Focos de calor 2018 (nº de focos/1.000 habitantes)	(IMAZON, 2025)
GravidezInfant	Gravidez na infância e adolescência 2017 (% de filhos de mães com até 19 anos)	(IMAZON, 2025)
TrabInfant	Trabalho Infantil 2017 (nº de famílias com ao menos 1 membro em trabalho infantil/1.000 famílias)	(IMAZON, 2025)
VulnFamiliar	Vulnerabilidade familiar 2017 (% de filhos de mães solteiras)	(IMAZON, 2025)
TKU_km2	Densidade de carga – PNL2035 – cenário Base 2017 (TKU/km ²)	(INFRASA, 2021)

Fonte: Autores (2025)

Quadro 2: Municípios da Rota BR364 – Rio Madeira

Municípios	Trecho
1 Rondonópolis; 2 Juscimeira; 3 São Pedro da Cipa; 4 Jaciara; 5 Campo Verde; 6 Santo Antônio do Leverger; 7 Cuiabá; 8 Jangada; 9 Várzea Grande; 10 Acorizal; 11 Rosário Oeste; 12 Nobres; 13 Diamantino; 14 Nortelândia; 15 Nova Marilândia; 16 Campo Novo do Parecis; 17 Tangará da Serra; 18 Brasnorte; 19 Sapezal; 20 Campos de Júlio; 21 Comodoro; 22 Vilhena; 23 Chupunguaia; 24 Pimenta Bueno; 25 Cacoal; 26 Presidente Médici; 27 Ji-Paraná; 28 Ouro Preto do Oeste; 29 Jaru; 30 Theobroma; 31 Cacaúlândia; 32 Ariquemes; 33 Alto Paraíso; 34 Rio Crespo; 35 Cujubim; 36 Itapuã do Oeste; 37 Candeias do Jamari	BR-364
38 Porto Velho; 39 Humaitá; 40 Manicoré; 41 Novo Aripuanã; 42 Borba; 43 Autazes; 44 Nova Olinda do Norte	Rio Madeira
45 Itacoatiara; 46 Silves; 47 Urucurituba; 48 Itapiranga; 49 Urucará; 50 Parintins; 51 Juruti; 52 Nhamundá; 53 Faro; 54 Terra Santa; 55 Oriximiná; 56 Óbidos; 57 Curuá; 58 Alenquer; 59 Santarém; 60 Monte Alegre; 61 Prainha; 62 Almeirim; 63 Porto de Moz; 64 Gurupá; 65 Vitória do Jari; 66 Mazagão; 67 Breves; 68 Afuá; 69 Santana; 70 Macapá; 71 Itauba; 72 Chaves; 73 Melgaço; 74 Bagre; 75 Oeiras do Pará; 76 Curralinho; 77 São Sebastião da Boa Vista; 78 Limoeiro do Ajuru; 79 Muaná; 80 Igarapé-Miri; 81 Abaetetuba; 82 Barcarena; 83 Ponta de Pedras; 84 Belém; 85 Cachoeira do Arari; 86 Santo Antônio do Tauá; 87 Colares; 88 Salvaterra; 89 Soure; 90 Vigia; 91 São Caetano de Odivelas	Rio Amazonas

Fonte: Autores (2025)

- C5, mostra a relação dos indicadores típicos de área onde predomina o agronegócio, estabelecendo também uma relação com o Índice de Progresso Social.

A partir da identificação dos temas de cada agrupamento de indicadores, torna-se mais fácil examinar os planos de PCs (imagem B e C). Cada PC é uma combinação linear dos 17 indicadores do quadro 2, mas a intensidade da carga de cada grupo de indicadores sugere o significado dos valores

dos PCs. A imagem B da Figura 3 exemplifica o método de interpretação. As componentes PC1 e PC2 são identificadas como dimensões econômicas por serem dominadas por esses tipos de indicadores. Produção de Soja e PIB apresentam os vetores mais extensos, por exemplo. Mas cada componente sugere um perfil de desenvolvimento econômico diferente. PC1 é característico de centros urbanos de médio e grande porte. Na imagem C, Belém, Cuiabá, Porto Velho se posicionam no 2º quadrante do plano PC1-PC2. O PC2 é típico dos municípios agrícolas que são grandes produtores de soja, como Sapezal e Campo Novo do Parecis, no 1º quadrante.

Os demais municípios se agrupam perto a origem dos vetores. Mas também existem outros vetores significativos nesse plano, como o IPSA, TKU/km^2 , CO_2/hab e Gravidez na Infância e Adolescência. A direção dos vetores indica se sua influência é positiva ou negativa no valor da componente. Assim a posição dos municípios revela o desempenho deles nos indicadores. Brasnorte, Novo Aripuarã e Vitória do Jari estão no 4º e 3º quadrantes porque possuem problemas ambientais e sociais suficientemente relevantes para tornar negativo os valores de PC1 e PC2.

No mapa da Figura 4 são destacados os territórios dos municípios do corredor separados por trecho rodoviário e fluvial. Ao lado do mapa é ilustrada a variação do valor de PC1 do Sul ou montante para o norte ou jusante do corredor. Como explicado anteriormente, PC1 é mais forte nos grandes centros urbanos, onde predominam os setores econômicos secundário e terciário. A análise por componente é limitada e complexa, logo, nas figuras seguintes examinamos os componentes em pares. O método ilustrado na Figura 3 é combinado com os gráficos dos perfis dos componentes ao longo dos corredores. Os municípios destacados são identificados pelos números do Quadro 2.

A Figura 5 aprofunda a análise apresentada na Figura 3, revelando padrões espaciais distintos entre os componentes principais. Os municípios com alto desempenho em PC1, localizados no 2º quadrante, situam-se em pontos historicamente estratégicos da região analisada — como Rondonópolis (1), Cuiabá (7), Porto Velho (38), Macapá (70) e Belém (84). Por outro lado, os principais produtores de soja, com elevados valores em PC2 no 1º quadrante, concentram-se ao longo do trecho rodoviário do corredor, especificamente no Estado do Mato Grosso, incluindo Campo Verde (5), Diamantino (13), Campo Novo do Parecis (16), Brasnorte (18), Sapezal (19) e Campos de Júlio (20).

A análise por componente é limitada e complexa, logo, nas figuras seguintes examinamos os componentes em pares. O método ilustrado na Figura 3 é combinado com os gráficos dos perfis dos componentes ao longo dos corredores. Os municípios destacados são identificados pelos números do Quadro 2.

A Figura 5 aprofunda a análise apresentada na Figura 3, revelando padrões espaciais distintos entre os componentes principais. Os municípios com alto desempenho em PC1, localizados no 2º

quadrante, situam-se em pontos historicamente estratégicos da região analisada — como Rondonópolis (1), Cuiabá (7), Porto Velho (38), Macapá (70) e Belém (84). Por outro lado, os principais produtores de soja, com elevados valores em PC2 no 1º quadrante, concentram-se ao longo do trecho rodoviário do corredor, especificamente no Estado do Mato Grosso, incluindo Campo Verde (5), Diamantino (13), Campo Novo do Parecis (16), Brasnorte (18), Sapezal (19) e Campos de Júlio (20).

Em ambos os componentes, observa-se uma quantidade expressiva de municípios com valores negativos, predominantemente situados ao longo do trecho fluvial. No PC1, há um declínio gradativo a partir de Rio Crespo (34), chegando ao pior desempenho em Nova Aripuanã, indicando uma deterioração progressiva nesse eixo. No PC2, o pior resultado é observado em Belém (84).

A análise é enriquecida ao se observar a posição dos municípios no plano PC1-PC2: Belém localiza-se no 2º quadrante, enquanto o trecho entre Rio Crespo e Nova Aripuanã ocupa os 3º e 4º quadrantes, áreas associadas a maiores fragilidades sociais e ambientais. Ainda em PC2, destaca-se a necessidade de atenção ao trecho entre Vitória do Jari (65) e Curralinho (76), onde há indícios de correlação entre densidade de tráfego, gravidez na adolescência e emissões.

Figura 3: Exemplo que aplicação do método de análise

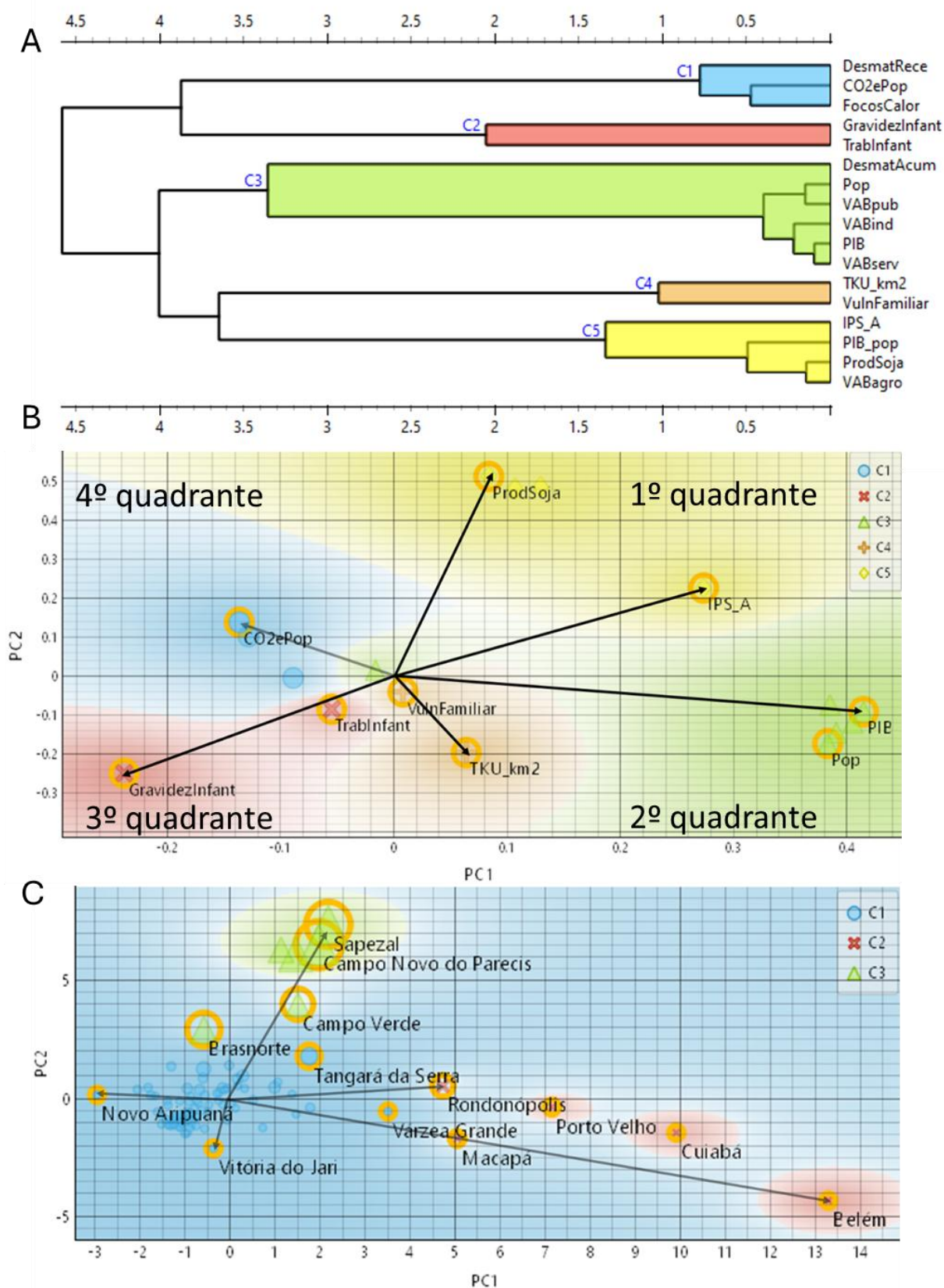
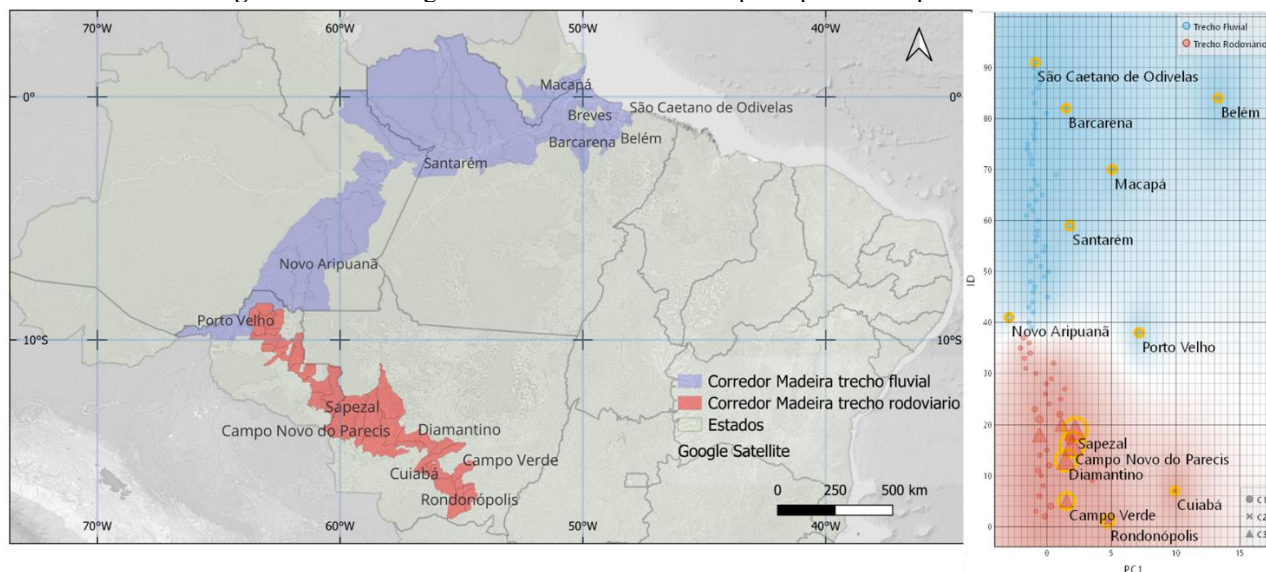
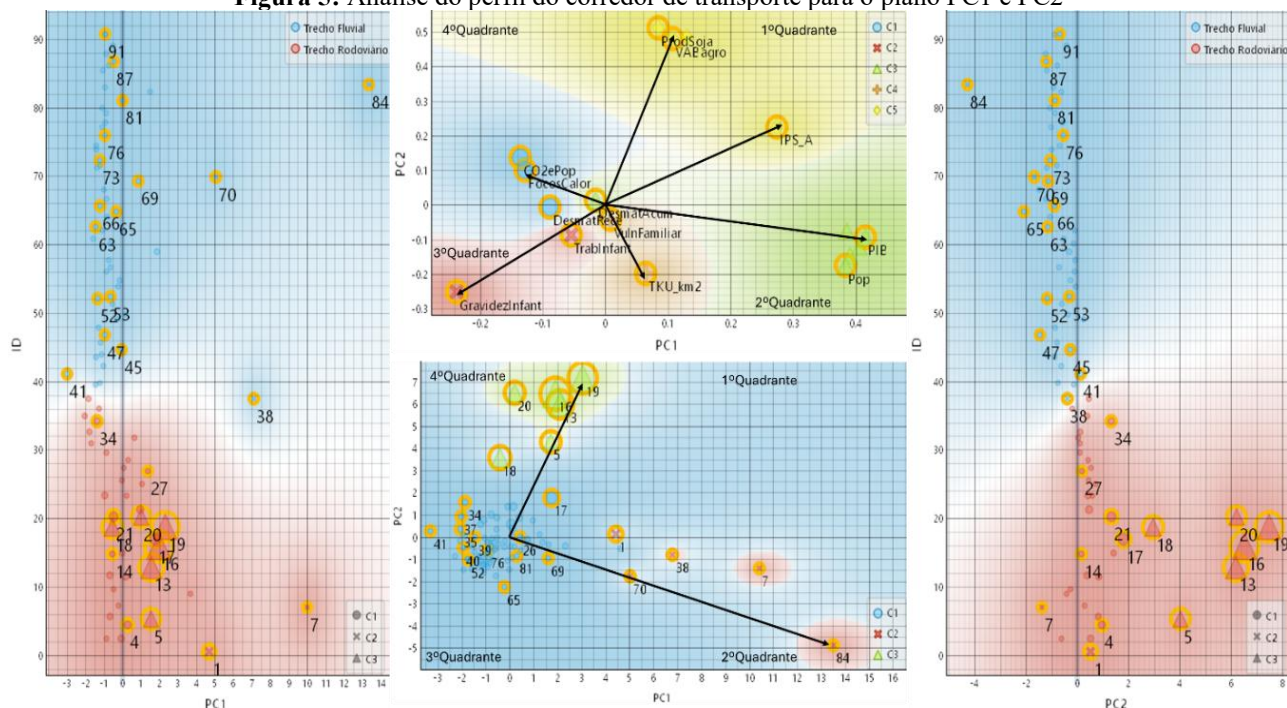


Figura 4: Perfil longitudinal do corredor de transporte para a componente PC1



Fonte: Autores (2025)

Figura 5: Análise do perfil do corredor de transporte para o plano PC1 e PC2



Fonte: Autores (2025)

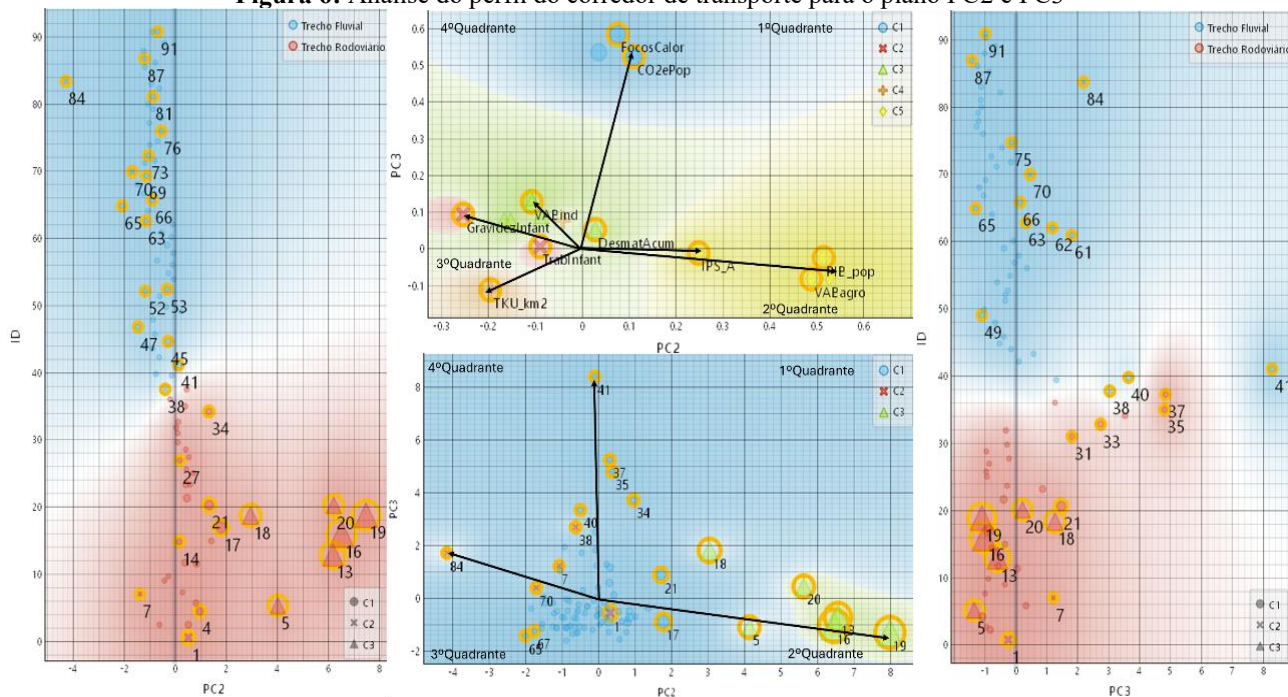
A Figura 6 possibilita a análise conjunta dos componentes principais PC2 e PC3. O componente PC2, já analisado anteriormente na Figura 5, é caracterizado por indicadores com pesos positivos associados ao agronegócio — como o Valor Adicionado Bruto da agropecuária (VABagro) e a produção de soja (ProdSoja, conforme o Quadro 2) — contrapostos, embora com menor intensidade, por indicadores sociais, econômicos e de infraestrutura com pesos negativos. O componente PC3, por sua vez, é fortemente dominado por variáveis ambientais e constitui o foco da análise nesta figura.

Nota-se um crescimento significativo dos valores de PC3 a partir do município 31, Cacaulândia, alcançando seu pico em 41, Novo Aripuanã. A distribuição dos municípios no primeiro quadrante do plano PC2-PC3 sugere uma conexão dos efeitos ambientais com municípios localizados a montante, em regiões de forte produção de soja, como Brasnorte (18), Campos de Júlio (20) e Comodoro (21).

A Figura 7 apresenta a análise conjunta dos componentes PC4 e PC5, ambos dominados por indicadores sociais em interação com o desmatamento acumulado. Nesses componentes, valores elevados representam situações problemáticas. A interpretação desse plano é complexa, mas os municípios mais distantes da origem dos vetores merecem atenção. Entre eles, destacam-se: Presidente Médici (26), situado em uma região com elevado desmatamento acumulado; Nhamundá (52), com alta incidência de trabalho infantil; e Vitória do Jari (65), onde se observa grande vulnerabilidade familiar associada à alta densidade de carga.

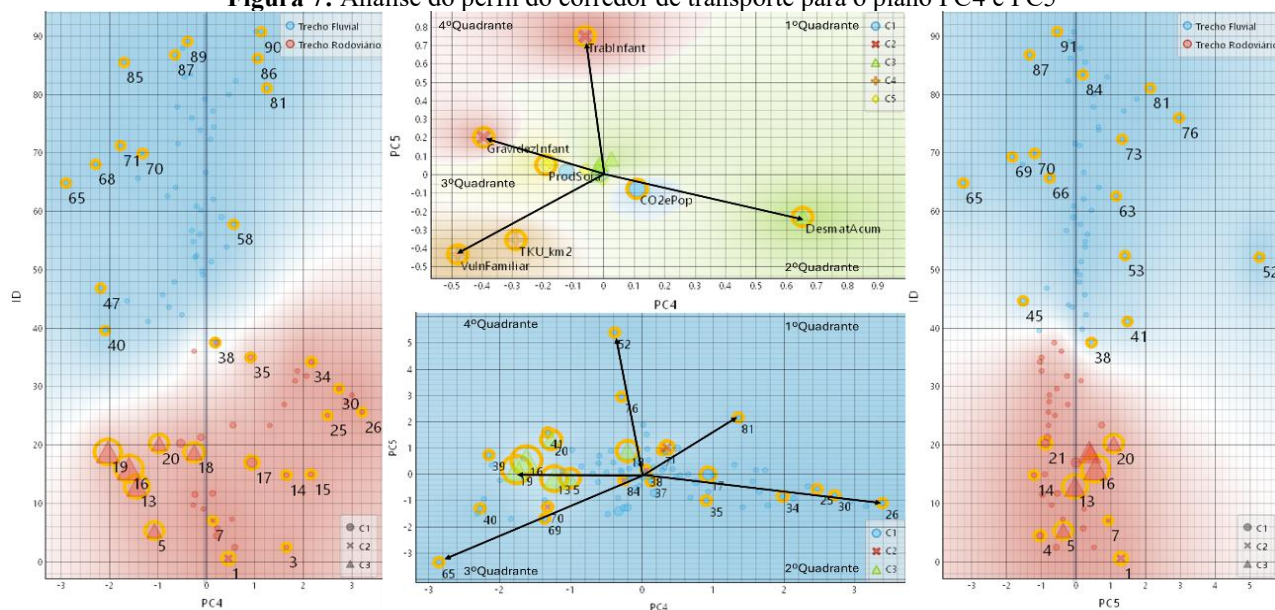
Considerando o perfil longitudinal do corredor, identificam-se problemas sociais distribuídos ao longo de todos os trechos analisados. Vale ressaltar que as variáveis sociais foram projetadas nos componentes com menor variabilidade, o que pode indicar uma distribuição mais difusa, mas ainda relevante, desses problemas.

Figura 6: Análise do perfil do corredor de transporte para o plano PC2 e PC3



Fonte: Autores (2025)

Figura 7: Análise do perfil do corredor de transporte para o plano PC4 e PC5



Fonte: Autores (2025)

5 CONCLUSÕES

Diversos estudos técnicos ressaltam o papel da produção de soja no desenvolvimento econômico de municípios remotos da Amazônia Legal, frequentemente associando esse crescimento a efeitos sociais positivos, apesar dos impactos negativos sobre o meio ambiente.

Este trabalho adotou uma abordagem de análise multivariada de indicadores econômicos, sociais, ambientais e de infraestrutura, com o objetivo de explorar as conexões entre esses aspectos em um sistema espacial representado pelo corredor logístico da Rota BR-364–Rio Madeira.

A análise multivariada longitudinal permitiu observar a influência espacial entre municípios vizinhos, conforme a variação de seus indicadores, desde a região produtora até a região exportadora, revelando contrastes entre os trechos rodoviário e fluvial. O trecho fluvial da rota é, em geral, menos desenvolvido economicamente do que o rodoviário, exceto pelos grandes centros urbanos. Já a riqueza no trecho rodoviário concentra-se na região de alta produção de soja. Em ambos os trechos, observam-se desigualdades acentuadas entre os municípios, embora o trecho rodoviário apresente maior homogeneidade interna.

A análise também evidenciou que a região imediatamente a jusante da zona produtora de soja vem passando por intensas transformações no uso do solo, expressas por indicadores ambientais como aumento nas emissões, desmatamento recente e focos de calor. Essa região corresponde à transição entre o final do corredor rodoviário e o início do fluvial, configurando-se como uma nova fronteira agrícola.

Quanto aos problemas sociais, os trechos analisados apresentam desafios distintos: o segmento fluvial concentra maiores taxas de gravidez na adolescência e de trabalho infantil, enquanto a vulnerabilidade familiar é crítica em ambos os trechos. Esses problemas afetam os diferentes grupos de municípios identificados, independentemente de sua situação econômica, geográfica ou demográfica.

Recomenda-se a aplicação da metodologia de análise utilizada em outros corredores logísticos e em diferentes recortes temporais. Ressalte-se que os anos de 2017 e 2018 marcaram a recuperação da economia brasileira após a crise de 2016, enquanto 2020 foi profundamente impactado pela pandemia da COVID-19. A escolha de novos recortes deve considerar esses contextos históricos.

Por fim, embora a literatura destaque possíveis benefícios sociais decorrentes do crescimento econômico impulsionado pelo agronegócio, os dados analisados não evidenciaram transformações sociais significativas associadas à expansão desse modelo produtivo sobre os territórios naturais, no período e na região estudados.

REFERÊNCIAS

- AKABANE, G. K. et al. Reflections on disordered growth on urban mobility. *UrbanMobilityStudies*, v. 1, n. 2, p. 1-16, 2023.
- BACKHAUS, K. et al. *Multivariate Analysis: An Application-Oriented Introduction*. 2. ed. [S.l.]: Springer Gabler, 2023.
- CAIXETA FILHO, J. V.; COSTA, F. G.; ARIMA, E. Influência do transporte no uso da terra: o potencial de viabilização da produção de soja na Amazônia Legal devido ao desenvolvimento da infraestrutura de transportes. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 39, n. 2, p. 27-50, 2019.
- CALDEIRA, V. C.; LOPES, E. P.; GASQUES, J. G. Infraestrutura Logística do Arco Norte: características, gargalhos e propostas. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Org.). *Agropecuária Brasileira: evolução, resiliência e oportunidades*. Rio de Janeiro: Ipea, 2023. p. 153-173.
- CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. *EDP Sciences*, v. 25, n. 1, p. 12, 2018.
- CHANIEABATE, M. et al. Examining the Relationship between Transportation Infrastructure, Urbanization Level and Rural-Urban Income Gap in China. *Sustainability*, v. 13, n. 3, p. 1-20, 2023.
- CHEN, A. et al. Does Transport Infrastructure Inequality Matter for Economic Growth? Evidence from China. *Land*, v. 10, n. 8, p. 874, 2021.
- CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2014. Brasília, DF: Confederação Nacional do Transporte, 2015. Disponível em: <https://www.cnt.org.br>. Acesso em: 4 abr. 2025.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira grãos, safra 2024/25. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 4 abr. 2025.
- COSTA, W.; SOARES-FILHO, B.; NOBREGA, R. Can the Brazilian National Logistics Plan Induce Port Competitiveness by Reshaping the Port Service Areas. *Sustainability*, v. 14, n. 21, p. 18, 2022.
- DEMŠAR, J. et al. Orange: Data Mining Toolbox in Python. *Journal of Machine Learning Research*, v. 14, n. 71, p. 2349-2353, 2013.
- FAVERO, L. P.; BELFIORE, P. *Manual de Análise de Dados: Estatística e Machine Learning com Excel®, SPSS®, Stata®, R® e Python®*. 2. ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2024.
- FLACH, R. et al. Conserving the Cerrado and Amazon biomes of Brazil protects the soy economy from damaging warming. *World Development*, v. 146, 105582, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X21001972>. Acesso em: 21 maio 2025.
- HARDLE, W. K.; SIMAR, L.; FENGLER, M. R. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6. ed. Berlin: Springer, 2024.

IBGE. Cidades: Panorama. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/panorama>. Acesso em: 9 nov. 2022.

IBGE-SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadct/brasil>. Acesso em: 18 maio 2025.

IKRAM, M.; SADKI, J. E. Resilient and sustainable green technology strategies: A study of Morocco's path toward sustainable development. *Journal of Environmental Management and Sustainability*, v. 8, n. 4, p. 1-16, 2024.

IMAZON. IPS Amazônia 2018. Imazon, 2025. Disponível em: <https://imazon.org.br/publicacoes/ips-amazonia-2018-2/>. Acesso em: 18 maio 2025.

INFRASA. Plano Nacional de Logística 2035. ONTL, 2021. Disponível em: <https://ontl.infrasa.gov.br/planejamento/plano-nacional-de-logistica/plano-nacional-de-logistica-2035/>. Acesso em: 18 maio 2025.

LANDAU, E. C. et al. Evolução da Produção de Soja (*Glycine max*, Fabaceae). In: *Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas*. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 4, p. 1215-1239.

LIMA, C. B.; RODRIGUES, F. M. Transportes, atividades econômicas e reestruturação territorial no Brasil contemporâneo. *Revista de Geografia e Planejamento Regional*, v. 15, n. 1, p. 78-96, 2022.

LJUBLJANA, Bioinformatics Laboratory, University of. Orange Data Mining. Disponível em: <https://orangedatamining.com>. Acesso em: 5 maio 2025.

LLORCA, R. P.; LIMA, R. S.; LOPES, H. S. Análise da Logística de Exportação da Soja do Centro-Oeste Brasileiro a partir da Expansão do Canal do Panamá. In: *32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte*, 2018, Gramado, RS. Anais... Gramado: [s.n.], 2018.

MCCONCHILE, J. A.; TOLEMAN, E. J. Boat wakes as a cause of riverbank erosion: A case study from the Waikato River, New Zealand. *Journal of the New Zealand Society for Soil and Water Conservation*, p. 163-179, 2003.

MELO, A. X. de et al. Soja em Mato Grosso: análise da produção e modelo de estimativa e cultura. *Gestão & Regionalidade*, v. 39, p. 21, 2023.

RODRIGUES, J. C. The Northern Arc and the public port policies for the West of the state of Pará (Itaituba e Rurópolis): Presentation, debate and articulations. *Revista Nera*, v. 42, p. 202-228, 2018.

SOUZA, J. A. de O. Regional productive specialization: an approach to the soybusiness agribusiness in Southern Rondônia. *Ciência Geográfica*, v. 25, n. 2, p. 695-717, 2021.

SPEAR, M. J. et al. Reduction of large vessel traffic improves water quality and alters fish habitat-use throughout a large river. *Science of the Total Environment*, v. 946, p. 14, 2024.

TOBIAS, M. S. G. (Coord.). Modelo estratégico de análise e formação de redes de transportes na Amazônia como alternativa de redução do custo Brasil: relatório etapas 1 e 2: panorama geral sobre o Arco Amazônico e a soja do Centro-Oeste: base de informação e potencialidades. Belém, PA: Dos Autores, 2024. ePub. ISBN 978-65-01-12604-3.

VIEIRA FILHO, J. E. R. A produção de soja e sua importância na economia brasileira. Revista de Política Agrícola, v. 33, p. 12, 2024.

WANI, A. A. Comprehensive analysis of clustering algorithms: exploring limitations and innovative solutions. PeerJ Computer Science, p. 45, 2024.

ZELTERMAN, D. Applied Multivariate Statistics with R. 2. ed. New Haven, CT, USA: Springer, 2022.