

Acessibilidade no transporte de cargas: Uma análise espacial de granéis sólidos agrícolas

Palavras-Chave: Acessibilidade, infraestrutura de transportes, fronteira agrícola

Autores(as):

EMMILY EDUARDA SANTOS DA SILVA, FCA – UNICAMP
ANDRÉA LEDA RAMOS DE OLIVEIRA, FEAGRI – UNICAMP
MATHEUS MELO DE SOUZA, FEAGRI – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A infraestrutura de transporte é essencial para o desenvolvimento agrícola, atuando como um motor para o aumento da produção e da competitividade (Calzadilla et al., 2013), facilitando a logística e podendo potencializar a eficiência econômica (Bojnec e Fertő, 2017). No Brasil, 476 milhões de toneladas em 2017 foram transportadas segundo a matriz de origem destino do transporte de granéis agrícolas sólidos (BRASIL, 2021).

A fronteira agrícola está avançando aceleradamente para o Centro-Norte (Filassi & Oliveira, 2022; Bicudo da Silva et al., 2020) e essa expansão, se dá pela própria dinâmica da infraestrutura e por diferentes interesses dos agentes econômicos do setor agroindustrial (Frey et al., 2018). A rede de transporte nacional, embora planejada com base na oferta de carga (BRASIL, 2011), sofre com baixa integração intermodal e longas distâncias até os portos (Branco et al., 2021), especialmente na região Centro-Norte.

O desenvolvimento de modelos computacionais é de extrema importância Para enfrentar esses desafios, porém a modelagem do transporte de cargas é complexa devido à carência de dados e a pouca interpretações de fatores (Higgins et al., 2018). Nesse contexto, a acessibilidade surge como uma abordagem considerável (Rivera-González & Amaral, 2024), definida como a facilidade com que oportunidades, como centros de PIB e população, podem ser alcançadas (Hansen, 1959), considerando custos como tempo de viagem ou distância (Márquez et al., 2024).

As medições de acessibilidade são um importantes instrumentos de planejamento do uso do solo (Papa et al., 2016), principalmente porque a expansão agrícola avança sobre biomas importantes para a biodiversidade, como a Amazônia e o Cerrado (Levy et al., 2024; Frey et al., 2018). Entender como a acessibilidade influencia na dinâmica de cargas pode nortear os investimentos em infraestrutura, podendo estimular um transporte mais eficiente e sustentável. Em um país com profundas desigualdades regionais como o Brasil, essa análise é uma ferramenta essencial para focar projetos nas regiões mais incapacitadas, sobretudo nas novas fronteiras agrícolas.

METODOLOGIA:

A pesquisa partiu de um modelo espacial de transporte de cargas baseado na análise de produto, considerando a infraestrutura disponível, atributos econômicos e também a distribuição espacial da produção agrícola de granéis sólidos agrícolas.

Foram propostos dois cenários, a partir do Plano Nacional de Logística – PNL 2035 (BRASIL, 2021), sendo o cenário base a matriz Origem-Destino (2017) e cenário futuro a matriz Origem-Destino prevista para 2035, que insere novos projetos intermodais na matriz de transporte brasileira. Além disso, também

foram avaliados como destinos os municípios que possuem os principais portos de exportação destes produtos.

Foram utilizados dois modelos de acessibilidade, tendo em vista que grande parte deste transporte se dá com destino à exportação. Os indicadores de acessibilidade propostos por Márquez et al. (2024) e Gutiérrez et al. (1996) estão expressos a seguir:

$$L_i = \frac{\sum_j t_{ij} \cdot GDP_j}{\sum_j GDP_j} \quad (1)$$

$$TA_i = \sum_j W_{ij} \cdot Pop_j \quad (2)$$

onde:

L_i : é o indicador locacional da zona i .

TA_i : é a acessibilidade temporal do indicador da zona i .

GDP_j : é o produto interno bruto da zona de destino j .

Pop_j : é a população da zona de destino j .

t_{ij} : é a impedância para o caminho mínimo entre as zonas i e j .

w_{ij} : assume o valor 1 quando $t_{ij} \leq \pi$ e 0 caso contrário, sendo que π é o limiar no qual as oportunidades de intervenção são calculadas.

Os dados utilizados nesta pesquisa foram baixados do Comex Stat (2017) e IBGE (2021, 2022), sendo elas: **Grupo 1** - (a) rede de transporte disponível e (b) matriz origem-destino de grãos sólidos agrícolas (IBGE, 2024; PNL 2035, 2021). **Grupo 2** - (c) PIB municipal (d) população municipal (IBGE, 2024). **Grupo 3** – (e) área colhida e (f) quantidade produzida dos grãos sólidos agrícolas (IBGE, 2024).

A partir do grupo de grãos sólidos agrícolas, foram selecionados: açúcares, farelos, soja e milho, baseando-se na sua importância de volume comercial e semelhanças dos produtos (*commodities* agrícolas), considerando a metodologia empregada pelo PNL 2035 (BRASIL, 2021).

Foram estabelecidos intervalos de tempo, a saber: 30 minutos, 6 horas e 10 horas para o cálculo do indicador de acessibilidade temporal. Após calcular os indicadores de localização e acessibilidade, foi realizada a normalização dos dados e o georreferenciamento para a criação dos mapas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

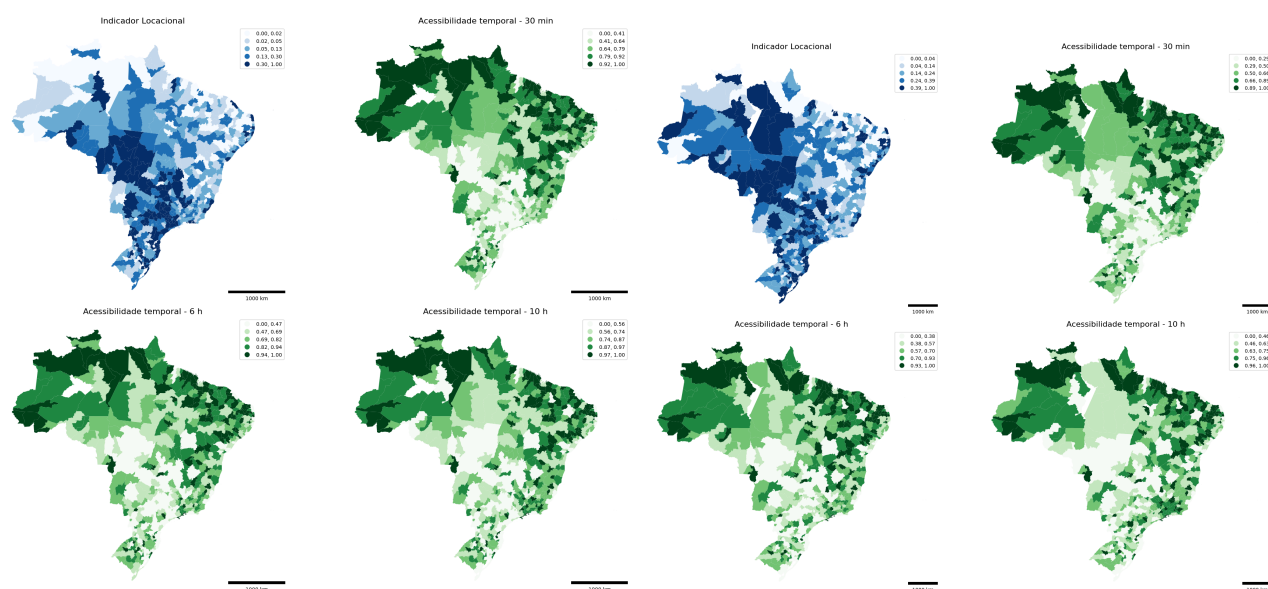
A análise dos indicadores de Localização (L_i) e Acessibilidade Temporal (TA_i) apresenta padrões sobre a infraestrutura de transportes e o desenvolvimento regional no Brasil, confirmando a hipótese de que a acessibilidade de transporte impacta diretamente o dinamismo produtivo das regiões, conforme defendido por Márquez et al. (2024). A metodologia, que utiliza o tempo de deslocamento como variável de impedância, mostra-se acertada para um país com as dimensões e heterogeneidade do Brasil, pois a distância euclidiana desconsidera barreiras logísticas reais (Márquez et al., 2024).

Regiões como, centro oeste, centro norte do Brasil e interior de alguns estados do nordeste, apresentam altos valores de L_i em ambos os anos, indicando dificuldades logísticas e essas dificuldades podem se dar por questões devido à densa vegetação, infraestrutura viária limitada, distâncias significativas até grandes centros urbanos, baixa conectividade econômica, baixa densidade populacional, entre outros fatores de infraestrutura e sociais que podem contribuir.

No entanto, algumas áreas próximas a portos do Norte apresentam valores mais baixos em 2017, isso pode se dar por conta do um crescimento na conectividade dessas regiões devido à ampliação da exportação por esses corredores logísticos, porém em 2035 vemos um aumento do Li na região norte, na região próxima ao Porto de Santarém.

Podemos notar que o *Li*, das regiões Sul, Sudeste e parte da região centro oeste, aparecem elevados, mesmo sendo regiões que possuem um alto pib e uma alta conectividade econômica em ambos os anos, o que pode parecer contraditório, Mas, esse indicador mais elevado pode ser ocasionado por outros fatores, como fatores res metodológicos ou como o indicador é calculado, o aumento da na região norte de 2017 para 2035 o que pode se dá pelo mesmo motivo.

O *Li* não mede apenas a acessibilidade e infraestrutura, mas a concentração da economia em determinados pólos urbanos e sua dependência em relação a esses centros e essas regiões possuem uma economia altamente centralizada, isso pode significar que apesar de serem economicamente fortes, ainda assim há uma dependência de determinados centros para atividades produtivas e logísticas. Logo, quanto mais dependente um município for de um único centro econômico, maior será seu *Li*.



Fonte: Autoria própria com base em dados do IBGE e PNL.

Figura 1: Mapas dos Indicadores

Acessibilidade Temporal (*TAi*)

Os três mapas de acessibilidade temporal ilustram a capacidade de acesso populacional dentro de diferentes intervalos de tempo (30 minutos, 6 horas e 10 horas).

Acessibilidade em 30 minutos:

As áreas mais escuras indicam que uma maior fração da população pode ser alcançada em deslocamentos curtos, geralmente observadas em regiões metropolitanas e centros urbanos mais densos. Regiões com pouca conectividade apresentam cores mais claras, demonstrando baixa acessibilidade populacional nesse tempo.

Acessibilidade em 6 horas:

Com o aumento do tempo de deslocamento, a acessibilidade melhora, especialmente em corredores logísticos e cidades médias. Há uma expansão das áreas escuras, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e em partes do Centro-Oeste, onde a infraestrutura viária e a presença de centros econômicos interligados favorecem um maior alcance populacional.

Acessibilidade em 10 horas:

Nesse intervalo, praticamente todas as regiões do Brasil possuem alguma conectividade a centros populacionais. Os maiores níveis de acessibilidade são observados em áreas próximas a portos e corredores logísticos estratégicos, como os que ligam a região do Matopiba e o Centro-Oeste às regiões Sul e Sudeste.

As regiões sul, sudeste e centro oeste aparecem menos acessíveis nos mapas durante os anos, e isso pode ser ocasionado por outros fatores, como distância entre as cidades, a infraestrutura voltada ao transporte de cargas e questões geográficas. No Centro-Oeste há uma baixa densidade populacional e as grandes distâncias entre cidades reduzem a acessibilidade em curtos períodos. Além disso, rodovias nessas regiões são mais direcionadas ao escoamento da produção agrícola e industrial, não priorizando a mobilidade de pessoas. E os diversos relevos geográficos em estados como Minas Gerais e Santa Catarina também acabam dificultando deslocamentos mais rápidos, aumentando assim o tempo gasto nas viagens.

Outro fator relevante é o congestionamento, como em São Paulo e Rio de Janeiro, que também impacta negativamente a acessibilidade. Dessa forma, a menor acessibilidade observada nos mapas não significa ausência de infraestrutura, mas sim outras questões que afetam o deslocamento populacional. Com isso De modo geral, regiões com baixo L_i e alto TA_i , possuem boa conectividade econômica e acesso.

Podemos notar que na região norte com o passar dos anos, porém vemos uma diminuição do indicador de acessibilidade na região norte, próxima ao porto de santarém, o que pode se dar pelo aumento de escoamento de produtos agrícolas para os portos daquela região populacional eficiente. Já regiões com alto L_i e baixo TA_i são mais isoladas, apresentando desafios logísticos e menor dinamismo econômico.

No entanto, a melhoria desses indicadores pode mascarar contradições. Levy et al. (2024) alertam para a criação de "fronteiras de sacrifício", onde o desenvolvimento econômico, principalmente na área do agronegócio, que acaba ocorrendo às custas da degradação ambiental e do sofrimento de populações locais. Isso apresenta os riscos de um modelo de desenvolvimento focado apenas na eficiência para exportação.

CONCLUSÕES:

Este estudo, ao utilizar os indicadores de Acessibilidade Locacional (L_i) e Temporal (TA_i) para analisar a dinâmica do transporte de grãos agrícolas no Brasil, confirma que a acessibilidade da infraestrutura é um fator determinante para o dinamismo produtivo regional, porém os resultados, comparando os cenários de 2017 e 2035, mostram um panorama de grandes desigualdades espaciais. É evidenciado que as projeções mostram melhorias de conectividade de áreas do sul e sudeste com corredores logísticos do norte.

A análise revela um paradoxo central, o avanço da infraestrutura, impulsionado pela expansão da fronteira agrícola, não garante um desenvolvimento equitativo. Conforme alertado por Levy et al. (2024), a melhoria dos indicadores de acessibilidade pode mascarar a criação de "fronteiras de sacrifício", onde a eficiência logística para o agronegócio de exportação ocorre à custa da degradação ambiental e da exclusão de populações locais.

O principal desafio para o futuro do planejamento logístico no Brasil é conciliar a busca por competitividade econômica com a promoção da equanimidade territorial e da sustentabilidade socioambiental, garantindo que o progresso não se construa sobre o sacrifício de seus biomas e da população local.

BIBLIOGRAFIA

- Bicudo da Silva, R. F., Batistella, M., Millington, J. D., Moran, E., Martinelli, L. A., Dou, Y., & Liu, J. (2020). Three decades of changes in Brazilian municipalities and their food production systems. *Land*, 9(11), 422. <https://doi.org/10.3390/land9110422>.
- Branco, J. E. H., Bartholomeu, D. B., Junior, P. N. A., & Caixeta Filho, J. V. (2021) Mutual analyses of agriculture land use and transportation networks: The future location of soybean and corn production in Brazil. *Agricultural Systems*, 194, 103264. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103264>.
- BRASIL – Ministério dos Transportes. Observatório Nacional de Transporte e Logística. Plano Nacional de Logística - PNL 2035. Disponível em: <https://ontl.infrasa.gov.br/planejamento/>. Acesso em: 28 abr. 2024.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. Plano Nacional de Logística e Transportes - PNLT. (2011). Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/plano-nacional-de-logistica-e-transportes>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- Calzadilla, A., Rehdanz, K., Betts, R., Falloon, P., Wiltshire, A., & Tol, R. S. J. (2013). Climate change impacts on global agriculture. *Climatic Change*, 120(1–2), 357–374. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0822-4>.
- Confederação Nacional dos Transportes - CNT. (2022) Pesquisa CNT de Rodovias 2022. Brasília, DF. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/> Acesso em 28 abr. 2024.
- Filassi, M., & Oliveira, A. L. R. (2022) Competitiveness drivers for soybean exportation and the fundamental role of the supply chain. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(3), e235296. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.235296>.
- Gutiérrez, J., Gonzalez, R., & Gomez, G. (1996). The European high-speed train network: predicted effects on accessibility patterns. *Journal of transport geography*, 4(4), 227-238. [https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(96\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0966-6923(96)00033-6).
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of planners*, 25(2), 73-76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307>.
- Higgins, A., McFallan, S., Marinoni, O., McKeown, A., Bruce, C., Chilcott, C., & Pinkard, L. (2018). Informing transport infrastructure investments using TraNSIT: A case study for Australian agriculture and forestry. *Computers and electronics in agriculture*, 154, 187-203. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.008>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases cartográficas contínuas (2023a). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População e domicílios (2024). Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal (2023b). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto dos Municípios (2021). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- Levy, S. A., Garik, A. V. N., & Garrett, R. D. (2024). The challenge of commodity-centric governance in sacrifice frontiers: Evidence from the Brazilian Cerrado's soy sector. *Geoforum*, 150, 103972. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2024.103972>.
- Márquez, L., Cantillo, V., & Paternina-Arboleda, C. D. (2024). Temporal accessibility and freight generation of agricultural products: An empirical study in Colombia. *Research in Transportation Economics*, 104, 101426. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2024.101426>.
- Rivera-Gonzalez, C., & Amaral, J. C. (2024). Assessment of freight accessibility in New York City: A spatial-temporal approach. *Journal of Transport Geography*, 114, 103777. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103777>.