

CUSTO DE TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO: Análise Para os Municípios Produtores de Soja no Brasil

<http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2023.59.12985>

Submetido em: 20/12/2021

Aceito em: 19/12/2022

Fernando Vinícius da Rocha,¹ Everton Lima Costa,²
Abner Matheus João,³ José Vicente Caixeta Filho⁴

RESUMO

O desenvolvimento socioeconômico é um dos principais objetivos da política econômica. Os investimentos em infraestrutura são fundamentais para o fomento do crescimento de diversas atividades econômicas, consequência do menor peso atribuído aos custos de transporte e do aumento da competitividade das cadeias produtivas. Este trabalho objetiva identificar a relação entre o custo de transporte e indicadores municipais de desenvolvimento humano nas localidades produtoras de soja no Brasil. A medida de investimentos é baseada nos custos de transportes, que quanto menores indicam uma melhor oferta de infraestrutura para as regiões produtoras. Duas metodologias são utilizadas no estudo: (i) modelo de otimização dos fluxos de soja, para a obtenção do custo de transporte municipal e (ii) modelo econométrico de regressão linear múltipla, para a avaliação da relação entre o custo de transporte e o desenvolvimento socioeconômico dos municípios. Os resultados da análise econométrica permitem a validação da hipótese de que localidades caracterizadas por custos de transporte maiores estão associadas a menores níveis de desenvolvimento socioeconômico. A discussão dos resultados evidencia que o investimento em infraestrutura de transporte para a melhoria da competitividade das cadeias produtivas é útil como política pública para desenvolvimento dos municípios brasileiros.

Palavras-chave: Índice de Desenvolvimento Humano; otimização; econometria; transporte; desenvolvimento.

TRANSPORT COST AND SOCIOECONOMIC DEVELOPMENT: ANALYSIS FOR SOYBEAN PRODUCING MUNICIPALITIES IN BRAZIL

ABSTRACT

Socioeconomic development is one of the objectives of economic policy. Investments in infrastructure are essential for fostering economic growth due to the lower weight attributed to transport costs and the increased competitiveness of production chains. This work aims to identify the relationship between transportation costs and municipal human development indicators (HDI) in Brazil's soy-producing sites. The investment measure is based on transport costs, which the lower indicate a better offer of infrastructure for the producing regions. Two methodologies are used: (i) a soy transport flow optimization model to obtain the transport cost for each place; and (ii) an econometric model of multiple linear regression to assess the relationship between transportation costs and the socioeconomic development of municipalities. The results of the econometric analysis allow the validation of the hypothesis that locations characterized by higher transport costs are associated with lower levels of socioeconomic development. The discussion of the results shows that investment in transport infrastructure to improve the competitiveness of production chains is helpful as a public policy for developing Brazilian municipalities.

Keywords: Human Development Index; optimization; econometrics; transport; development.

¹ Autor correspondente: Universidade de São Paulo (Esalq/USP). Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Economia Aplicada (PPGEA). Piracicaba/SP, Brasil. <http://lattes.cnpq.br/0347452325575219>. <https://orcid.org/0000-0001-8913-1469>. fernando-rocha7@gmail.com

² Universidade de São Paulo (Esalq/USP). Piracicaba/SP, Brasil. <http://lattes.cnpq.br/2208223884014367>. <https://orcid.org/0000-0002-8172-0653>.

³ Universidade de São Paulo (Esalq/USP). Piracicaba/SP, Brasil. <http://lattes.cnpq.br/2861319370188575>. <https://orcid.org/0000-0003-4027-4973>.

⁴ Universidade de São Paulo (Esalq/USP). Piracicaba/SP, Brasil. <http://lattes.cnpq.br/4019702672180078>. <https://orcid.org/0000-0001-8289-9731>.

INTRODUÇÃO

Investimentos para o provimento de infraestruturas é etapa importante para o desenvolvimento econômico. As discussões sobre as infraestruturas do transporte de carga são recorrentes no Brasil. As más condições das estradas, a baixa disponibilidade de modais alternativos para o transporte de cargas, o impacto dos custos de transporte nos diferentes setores da economia brasileira e o baixo investimento em infraestrutura de transporte no país estão entre os assuntos amplamente debatidos.

Com essa problemática em evidência, diversos programas de investimento em infraestrutura foram criados ao longo do desenvolvimento brasileiro. Oriundos de governos diferentes, tais políticas públicas têm em comum o fato de objetivarem, com a condução das obras, a retomada da economia do país a partir da geração de empregos e o aumento da competitividade. Faz-se o uso, portanto, dos investimentos em infraestrutura para promover a redução dos custos de transporte e o aumento do desenvolvimento socioeconômico.

Sob a ótica do desenvolvimento social, equidade e acessibilidade na disponibilização das infraestruturas são variáveis frequentemente utilizadas nas análises. Parte dos autores argumenta que as políticas públicas de desenvolvimento da matriz de transporte devem direcionar esforços para o atendimento de regiões menos favorecidas, visando a estabelecer maior equidade entre as localidades.

O presente artigo objetiva avançar na discussão teórica que trata do desenvolvimento socioeconômico e sua relação com a área de transporte. O trabalho tem como objetos de análise os municípios brasileiros produtores de soja, que terão o seu grau de desenvolvimento humano analisado a partir de uma série de indicadores, entre eles o custo de transporte. Parte-se da hipótese de que as localidades com custos de transporte inferiores apresentam maior grau de desenvolvimento socioeconômico (hipótese *h1*).

O artigo é estruturado em outras quatro seções além desta introdução. Na sequência é conduzida uma revisão de literatura de forma a consolidar os principais trabalhos que tratam da temática analisada, evidenciando as relações teorizadas entre o desenvolvimento socioeconômico e as características da matriz de transporte. A terceira seção aborda a metodologia utilizada para análise deste artigo, que é seguida pela de discussão dos resultados e pela seção de considerações finais.

REVISÃO DE LITERATURA

A promoção do desenvolvimento é um dos principais objetivos da ciência econômica na busca pela maximização do bem-estar. Essa busca, conforme indica Sen (2000), não é apenas norteadora pelo crescimento econômico e aumento da riqueza. Para que os resultados sejam efetivos na melhoria das condições de vida de todas as pessoas, se deve buscar a criação de oportunidades, promoção de bons serviços públicos, sustentabilidade econômica e justiça social.

O atingimento de maiores níveis de desenvolvimento exige ações com enfoque social e econômico. Em relação a esse último ponto, os investimentos em infraestrutura surgem com grande relevância para o desenvolvimento de regiões, por possibilitarem, conforme Guild (2000) sumariza, benéficos efeitos setoriais pela melhoria da infraestrutura básica, acréscimos

de produtividade, atração de novas empresas e indução de maiores investimentos privados, além de efeitos sociais, pelo aumento da renda, possibilidade de acesso a melhores mercados de trabalho e redução de custos de produção e operação.

O Estado possui fundamental papel nessa dinâmica. Segundo Hirschman (1958), é função do governo a realização de planos de infraestrutura social como base para o desenvolvimento dos demais setores produtivos e destaca a importância de investimentos em infraestrutura e logística como vitais para o impulso da atividade econômica.

Trabalhos diversos na literatura acadêmica abordam a relação entre infraestrutura (e operações) de transporte com impactos ambientais e com custos. Wang *et al.* (2018) mostram que os impactos de infraestruturas de transporte têm dimensões econômicas, ambientais e sociais. Os autores ressaltam a complexidade dos impactos gerados por esse tipo de infraestrutura na economia, além de destacarem como tendência futura para pesquisas nessa temática o estudo integrado dos diferentes impactos potenciais.

Snieska e Simkunaite (2009) focam na avaliação dos impactos socioeconômicos gerados por investimentos de infraestruturas, incluindo as de transporte. Analisando o caso de países bálticos, os autores mostram relação direta entre a quantidade de rodovias pavimentadas e o PIB regional e ainda pontuam que a falta de uma metodologia única na literatura acadêmica dificulta a avaliação dos impactos sociais e econômicos decorrentes do desenvolvimento de novas infraestruturas.

O trabalho de Rovolis e Spence (2002) analisa os investimentos públicos gregos em infraestrutura, de modo a medir os seus eventuais impactos na economia. É evidenciada a existência de impactos positivos no desempenho dos agentes privados da economia e que os dispêndios públicos em infraestrutura de transporte, classificada como infraestrutura produtiva, têm uma relação de complementaridade com o investimento privado no país.

Na mesma linha, Olsson (2009), em análise para as Filipinas, mostra que a existência de uma infraestrutura de transporte inadequada restringe o desenvolvimento socioeconômico. Tal relação é mais evidente em países em desenvolvimento, os quais são caracterizados por ligações rodoviárias de pior qualidade e/ou inexistentes. O autor analisa a existência de impactos diretos, como o tempo de viagem, custos com combustível e manutenção de veículos, sazonalidade no transporte e atrasos, e indiretos, tais como alterações no investimento regional, produtividade, nível de emprego, acessibilidade aos mercados e renda.

Com aplicações para localidades chinesas, Sun e Cui (2018) fazem análises dos benefícios sociais, econômicos e ambientais trazidos pela existência de infraestrutura de transporte público e argumentam que esses benefícios estão interconectados. Os autores consideram variáveis como o Produto Interno Bruto, receita fiscal, nível de consumo, nível de investimento em ativos fixos, lucratividade da indústria, nível de investimento estrangeiro e o turismo como variáveis econômicas. Como variáveis para medição dos impactos sociais tem-se os níveis de renda, de emprego, de urbanização, de matrículas escolares e saúde dos habitantes.

Zheng, Chang e Martinez (2022) também abordam o desenvolvimento e a integração econômica em localidades chinesas como resultantes do desenvolvimento do sistema de transporte. Resultado similar também é encontrado em Kong *et al.* (2022), que sugerem que os formuladores de políticas públicas devem utilizar estratégias regionais para melhorar a qualidade do desenvolvimento econômico.

Além desses pontos, Sakib *et al.* (2018) evidenciam, para países do Mediterrâneo, que o transporte de passageiros é ponto crucial na busca pelo desenvolvimento sustentável, passando pela maior acessibilidade, infraestrutura, distância até os centros urbanos, disponibilidade de transporte público e multimodalidade.

Taylor (2008), também abordando aspectos do desenvolvimento da infraestrutura de transporte nos centros urbanos, desenvolve um método para a identificação de locais críticos na rede de transporte rodoviário no que diz respeito ao potencial de ocorrência de congestionamentos. Ao incluir na modelagem aspectos como a demanda por viagens, a capacidade e a geometria das ruas, o autor pontua que essa abordagem traria benefícios ao se estabelecer um ponto de vista mais preciso sobre a vulnerabilidade potencial de cada local. Para o autor, essa abordagem reduz a pressão existente sobre a necessidade de novos investimentos em infraestrutura de transporte, uma vez que permite a preparação prévia dos locais da rede viária urbana com maior vulnerabilidade.

Vučković *et al.* (2018), ao conduzirem a aplicação de questionários à população de algumas regiões da Sérvia, mostram como os investimentos em rodovias que ocorreram até o final da década de 90 moldam a percepção da população local. Entre as principais conclusões os autores evidenciam que a baixa qualidade da infraestrutura de transporte em uma das regiões analisadas atua contra o desenvolvimento do comércio e do turismo.

Sánchez-Ollero e Garc (2014) apresentam uma série de indicadores ao dissertarem sobre os benefícios econômicos (principalmente para o setor do turismo), de integração social e ambientais resultantes do desenvolvimento da malha ferroviária na Espanha. Custos de transporte, evolução do número de viagens e tendência observada na economia local estão entre as principais métricas analisadas pelos autores. A conclusão do artigo ressalta a importância da manutenção das políticas de ampliação da malha ferroviária na país apesar da tendência de redução no número de passageiros, consequência da crise econômica.

Os investimentos possuem fundamental papel no desenvolvimento regional. De acordo com Galvão (1996), a existência de meios adequados e eficientes de transporte é requerida para o desenvolvimento de uma nação. Gomes (2006) estuda a relação entre desenvolvimento econômico e infraestrutura logística no Brasil por meio de técnicas de estatística descritiva e conclui que gargalos logísticos reduzem a eficiência de todo o sistema, prejudicando a integração regional e consequentemente o desenvolvimento.

Em Portugal, investimentos em infraestrutura de transportes pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (Feder) resultaram em efeitos positivos diretos e indiretos (SALVADOR; FERNANDES, 2015). Como diretos é listada a maior acessibilidade e consequente internacionalização da economia de uma região. Os efeitos indiretos são muitos: (i) melhoria no dinamismo econômico das áreas rurais; (ii) maior acessibilidade a equipamentos de uso coletivo; (iii) melhor qualidade de vida das populações; (iv) apoio a transformações econômicas das áreas rurais e (v) redução nos custos socioeconômicos dos acidentes rodoviários e ferroviários.

Pelos trabalhos examinados nota-se que é ampla a discussão que retrata a relação existente entre o desenvolvimento de infraestruturas de transporte e a consequente melhoria da integração, acessibilidade e redução de custos e os impactos socioeconômicos derivados. Tal relação, que é tema central de análise deste artigo, pode ser considerada ponto de partida para

análises e tomadas de decisão relacionadas ao provimento de novos investimentos em infraestrutura de transporte.

METODOLOGIA

Em termos metodológicos, o presente artigo faz o uso de duas abordagens complementares. A principal é relacionada à análise dos determinantes do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal das localidades produtoras de soja no Brasil. Essa análise é realizada a partir da estruturação de um modelo de regressão linear múltipla apresentado pela expressão matemática 1.

$$\begin{aligned} \ln IDHM_i = & \beta_0 + \beta_1 CUSTO_i + \beta_2 PIBAGROPEC_i + \beta_3 PIBPERCAPTA_i + \beta_4 POP_i \\ & + \beta_5 GINI_i + \beta_6 CENTROOESTE_i + \beta_7 SUL_i + \beta_8 SUDESTE_i \\ & + \beta_9 NORTE_i + e \end{aligned} \quad (1)$$

No modelo de regressão estruturado, representa os municípios produtores de soja no Brasil no ano de 2017 (IBGE, 2019b). A variável dependente é retratada como $\ln IDHM_i$, que mede o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal ($IDHM$) das localidades produtoras de soja i . Os valores do $IDHM$ foram obtidos a partir da base de dados do Atlas do Desenvolvimento (2013) e fazem referência ao ano de 2010, sendo aplicada a transformação dos dados utilizando o logaritmo neperiano (\ln). Cabe destacar que dos 2.274 municípios produtores de soja no ano de 2017, 2 não foram considerados nessa análise em razão de não estarem disponíveis informações sobre o $IDHM$. As localidades excluídas dessa análise foram: Mojuí dos Campos (PA) e Paraíso das Águas (MS).

O IDH é o principal indicador de desenvolvimento social, popularizado desde sua criação e adoção deste indicador como medida do grau de desenvolvimento humano de um país pela Organização das Nações Unidas em uma escala crescente de 0 a 1 e é calculado considerando variáveis de expectativa de vida, escolaridade e renda per capita. O relatório do IDH de 2019 (UNDP, 2019) apontou o Brasil na 84ª colocação na lista de países analisados, tendo IDH de 0,765, na faixa de classificação de alto índice de desenvolvimento humano (0,7 a 0,8). Os países com o índice entre 0,801 e 1 estão listados como altíssimo desenvolvimento humano, em que o primeiro colocado, Noruega, apresenta um índice no valor de 0,957, seguida pela Irlanda (0,955) e Suíça (0,955).

Por ser uma abordagem nacional, o IDH do Brasil pode representar melhor algumas regiões e não outras, por isso, em 2012, o IDH Municipal (IDHM) foi organizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD Brasil), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e Fundação João Pinheiro (FJP), por meio do Atlas do Desenvolvimento, para calcular o IDH municipal dos 5.565 municípios brasileiros. Os componentes são os mesmos da metodologia original do IDH apresentada, porém com recorte municipal.

Como variável explicativa do modelo de regressão linear múltipla, representa o custo médio de transporte de soja, em reais por tonelada produzida, do município. Tal variável foi obtida por meio dos resultados do modelo de minimização de custos de transporte, método que será apresentado na sequência.

As demais variáveis foram inseridas no modelo unicamente tendo a função de controle das equações (variáveis de controle), sendo descritas na sequência:

- i. A variável $PIBAGROPEC_i$ apresenta valores do Produto Interno Bruto relativo ao setor da agropecuária do município. Os dados foram obtidos no IBGE (2019a) e são relativos ao ano de 2016 (valores em mil reais).
- ii. POP_i retrata a estimativa populacional dos municípios brasileiros para o ano de 2017, de acordo com dados do IBGE (2019a). Os dados são apresentados na unidade “número de habitantes”.
- iii. $PIBPERCAPTA_i$ diz respeito ao valor total do Produto Interno Bruto (PIB) por habitante do município i , em reais. Tal variável foi obtida com base nas informações do PIB municipal do ano de 2016 (IBGE, 2019a) e da variável POP_i anteriormente detalhada – divisão do PIB municipal pelo número de habitantes do município.
- iv. $GINI_i$ representa o Índice de Gini da Renda Domiciliar Per Capita. Os dados foram obtidos junto a base de dados do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA, 2019) e fazem referência ao ano de 2010.
- v. As variáveis $CENTROOESTE_i$, SUL_i , $SUDESTE_i$ e $NORTE_i$ são variáveis binárias que retratam a localização do município i nas regiões brasileiras. Em SUL_i , por exemplo, a variável tem valor igual a 1 se i é localizado na Região Sul do país, caso contrário tem valor igual a zero. A mesma lógica aplica-se às demais variáveis binárias.

Por fim, β_0 representa o intercepto e o termo de erro da regressão.

Com o intuito de realizar essa análise, será estimado um modelo de regressão linear múltipla, por meio de mínimos quadrados ordinários. Por meio desse, conforme aponta Wooldridge (2010) busca-se a minimização dos quadrados dos resíduos dos parâmetros estimados, de forma que se obtenha estimadores não tendenciosos de variância mínima para os parâmetros.

A estimação por meio de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) é confiável mediante a validação das hipóteses presentes no Teorema de Gauss-Markov. Entre essas hipóteses deve-se analisar com maior detalhamento a relacionada à variância constante do termo do erro, ou seja, essa deve ser igual independentemente da combinação das variáveis explicativas. A não validade dessa preposição não invalida as características relevantes de não tendenciosidade dos estimadores, no entanto não é possível a confiança no coeficiente de determinação bem como nos intervalos de confiança e inferência sobre os estimadores. Assim, realizou-se a verificação dessa hipótese por meio do teste de Breush-Pagan.

Além desse, com o intuito de testar a validade de outras proposições do modelo de regressão linear múltipla, verificou-se por meio do teste de VIF (*Variance Inflation Factor*) a existência de correlação entre as variáveis (colinearidade). Adicionalmente, por meio do teste de Shapiro Wilk, buscou-se identificar se os resíduos seguem uma distribuição normal.

Como supracitado, os valores da variável $CUSTO_i$ foram obtidos a partir da estruturação de um modelo de programação linear para a minimização dos custos de transporte de soja no Brasil. Tal etapa de modelagem visa a obter a configuração ótima de fluxos do transporte de soja no país, com mínimo custo possível. O modelo foi estruturado considerando as seguintes possibilidades de transporte: (i) Transporte rodoviário de carga da origem (município produtor)

aos portos exportadores; (ii) Transporte rodoviário de carga da origem (município produtor) aos terminais de transbordo hidroviários e ferroviários atualmente existentes e que movimentam soja no Brasil; (iii) Transporte rodoviário de carga da origem (município produtor) às indústrias moageiras de soja (mercado interno, caracterizado pelos locais de produção de óleo e de farelo de soja); (iv) Transporte ferroviário e transporte hidroviário de carga dos terminais de transbordo atualmente existentes aos portos e (v) Transporte marítimo de soja dos portos brasileiros até o destino final no mercado internacional (países que importam soja do Brasil).

Cabe acrescentar que os fluxos de carga com destino às indústrias do mercado interno são todos realizados via modal rodoviário. Tal premissa é condizente com a realidade do transporte de soja no Brasil, em que as operações ferroviárias e hidroviárias são utilizadas apenas nos fluxos de carga para exportação.

Os índices do modelo matemático de otimização estão definidos conforme apresentado a seguir.

- i. i : pontos de origem de carga (municípios brasileiros produtores de soja);
- ii. j : terminais de transbordo multimodal (modais rodoviário e ferroviário) atualmente existentes;
- iii. k : portos exportadores de soja;
- iv. m : mercado externo (destino das exportações de soja);
- v. q : mercado interno (indústrias moageiras de soja no Brasil); e
- vi. $t_{porto(jk)}$: fluxos de transporte possíveis entre os terminais de transbordo multimodal existentes e os portos exportadores.

Os parâmetros do modelo matemático são definidos da seguinte forma:

- i. A_i : produção de soja nos municípios, em toneladas;
- ii. B_j : capacidade de transporte dos terminais de transbordo multimodal existentes, em toneladas;
- iii. C_k : capacidade de exportação dos portos, em toneladas;
- iv. E_m : demanda de carga do mercado externo, em toneladas;
- v. MI_q : demanda de carga do mercado interno, em toneladas;
- vi. F_{ij} : frete rodoviário entre as cidades produtoras e os terminais de transbordo multimodais, em reais por tonelada;
- vii. G_{ik} : frete rodoviário entre as cidades produtoras e os portos, em reais por tonelada;
- viii. S_{iq} : frete rodoviário entre as cidades produtoras e o mercado interno, em reais por tonelada;
- ix. O_{jk} : frete multimodal entre os terminais de transbordo existentes e os portos, em reais por tonelada;
- x. N_{km} : frete marítimo entre os portos e o mercado externo, em reais por tonelada.

As variáveis de decisão do modelo matemático de otimização são:

- i. X_{ij} : quantidade de carga transportada entre as origens e os terminais de transbordo multimodais, em toneladas;

- ii. Y_{ik} : quantidade de carga transportada entre as origens e os portos , em toneladas;
- iii. T_{iq} : quantidade de carga transportada entre as origens e os municípios com moageiras , em toneladas;
- iv. W_{jk} : quantidade de carga transportada entre os terminais de transbordo multimodais e os portos , em toneladas; e
- v. U_{km} : quantidade de carga transportada entre os portos e o destino final , em toneladas.

Todas as variáveis são definidas como positivas no modelo matemático, devendo assumir valor maior ou igual a zero.

A função objetivo do modelo matemático visa à minimização do custo total do transporte de grãos no Brasil (R) e é apresentada na equação (2).

$$R = \sum_{ij} (F_{ij} * X_{ij}) + \sum_{ik} (G_{ik} * Y_{ik}) + \sum_{jk} (O_{jk} * W_{jk}) + \sum_{km} (N_{km} * U_{km}) + \sum_{iq} (S_{iq} * T_{iq}) \quad (2)$$

A função objetivo R está sujeita ao conjunto de restrições representado pelas equações de 3 a 10.

$$\sum_k Y_{ik} + \sum_j X_{ij} + \sum_q T_{iq} = A_i \quad \forall (i) \quad (3)$$

$$\sum_i T_{iq} = MI_q \quad \forall (q) \quad (4)$$

$$\sum_k U_{km} = E_m \quad \forall (m) \quad (5)$$

$$\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk} \leq C_k, \quad \forall (k) \quad (6)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq B_j \quad \forall (j) \quad (7)$$

$$\sum_i X_{ij} - \sum_k W_{jk} = 0 \quad \forall (j) \quad (8)$$

$$\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk} - \sum_m U_{km} = 0 \quad \forall (k) \quad (9)$$

$$\sum_i Y_{ik} = 0 \quad \text{para } k = \text{Vitória} \quad (10)$$

A estrutura de modelagem matemática foi abastecida com dados de diversas fontes, tendo 2017 como o ano de referência. Dados da produção de soja brasileira para o ano de 2017 foram obtidos na base de dados do IBGE (2019b). Os dados do PAM – Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2019b) mostram que nesse ano 2.274 municípios brasileiros produziram um total de 114,6 milhões de toneladas de soja. Tais municípios são considerados os locais de origem de carga no modelo proposto.

Como portos exportadores de soja no Brasil, durante o ano de 2017, dados da Secex (2020) indicam que houve um total de 14 pontos de saída. De forma conjunta, estes portos

exportaram um total de 68,15 milhões de toneladas dessa oleaginosa. O Porto de Santos (SP) consolidou-se com o maior volume embarcado (16,64 milhões de toneladas de soja, aproximadamente 24% do total), seguido pelo Porto de Rio Grande (12,59 milhões de toneladas), e os terminais portuários de Paranaguá e São Luís aparecem com aproximadamente 17% e 9% do volume total embarcado nos portos brasileiros.

As informações sobre localização e processamento de soja nas indústrias moageiras do mercado tiveram como base informações da Abiove (2019). A localização, os destinos e os volumes movimentados de soja em cada terminal de transbordo (ferroviário e hidroviário) foram obtidos via consulta às estatísticas da ANTT (2019a) e Antaq (2019). Em 2017 foram movimentadas 24,31 milhões de toneladas dessa oleaginosa pelo modal ferroviário e 8,72 milhões de toneladas pelo modal hidroviário – portanto, o volume total movimentado por fluxos de transporte multimodais é igual a aproximadamente 33 milhões de toneladas de soja.

As informações sobre o destino internacional da soja brasileira exportada foram obtidas junto à base de dados da Secex (2020), as quais evidenciam que aproximadamente 91,19% das exportações da oleaginosa tiveram o continente asiático como destino, o que representa mais de 60 milhões de toneladas. Na sequência, o continente europeu aparece como o segundo maior consumidor da soja brasileira, com 8,18% de todo o volume exportado pelo Brasil. Para cada continente de destino foi definido um país representativo, o qual será tratado como local de entrada da soja brasileira no mercado internacional. A premissa para a definição do centroide foi a de escolher o país com maior volume importado entre os países importadores de cada continente.

Dessa forma, as movimentações logísticas internacionais tiveram como destinos em potencial cinco locais: Egito (representando as movimentações para África), México (América do Norte, Central e Caribe), Colômbia (América do Sul), China (Ásia) e Espanha (Europa).

Os valores de frete foram obtidos a partir da base de dados do Sistema de Informações de Frete desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (Esalq-LOG). Os dados (total 4.650 informações) fazem referência aos valores médios de frete de soja praticados no mercado brasileiro no ano de 2017. Com base nesse conjunto de informações foram estruturados modelos de regressão (total de dez modelos, a depender da característica das rotas/fluxo de transporte) para os cálculos dos valores dos fretes. O mesmo se aplica para a obtenção das estimativas dos valores de frete ferroviário e hidroviário. No tocante aos fretes marítimos para o transporte de soja entre os portos brasileiros e os destinos do mercado internacional, utilizou-se estimativas a base de dados do Esalq-LOG (2019).

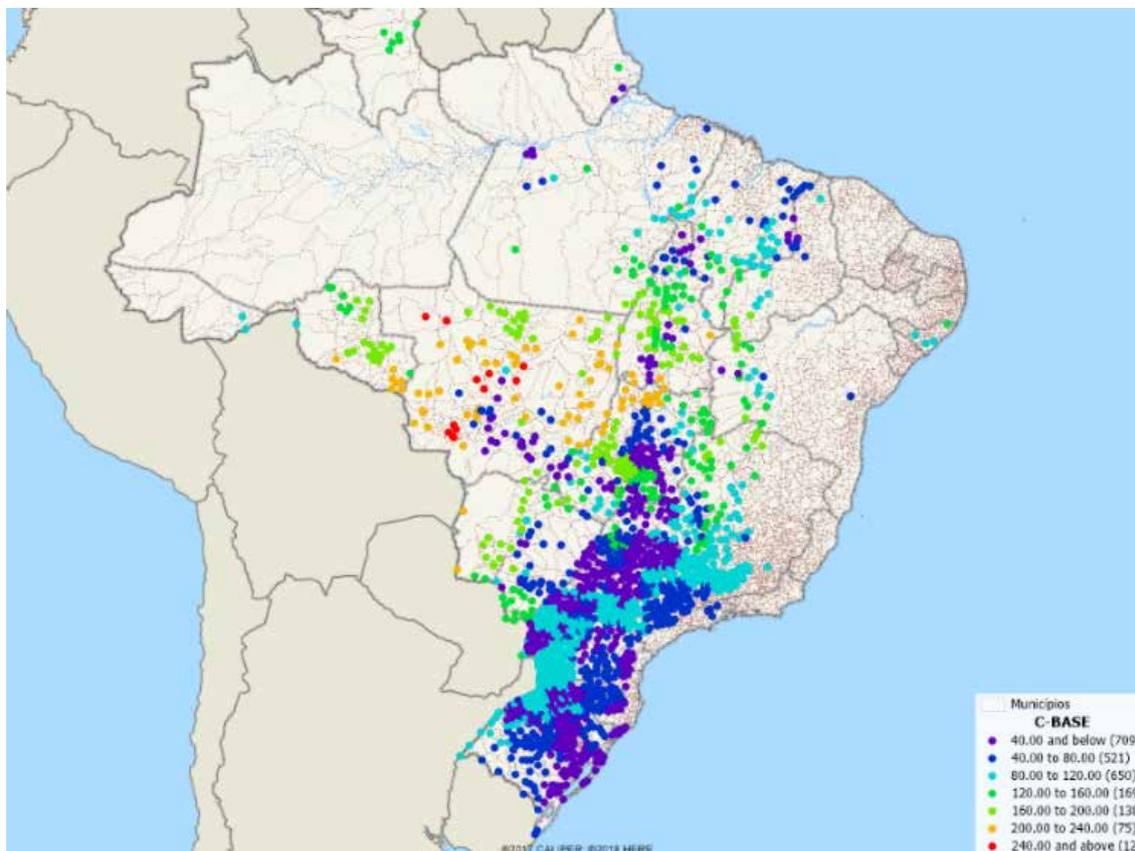
RESULTADOS

Adentrando na discussão dos resultados do trabalho, o modelo matemático para otimização dos fluxos de soja no Brasil indica que o custo médio do transporte no Brasil é de R\$ 155,80 por tonelada do grão. Esse custo engloba as operações de transporte em território brasileiro e o transporte marítimo. Ao desconsiderar os custos atrelados ao transporte em águas internacionais, tem-se que o custo médio é de R\$ 98,38 por tonelada de soja.

Aripuanã (MT), Nova Ubiratã (MT) e Feliz Natal (MT) são os municípios com maior custo de transporte do Brasil, todos localizados na Região Centro-Norte do Estado do Mato Grosso. O

custo ponderado de transporte para cada uma das localidades produtoras é ilustrado na Figura 1. Tal ilustração elucida os valores da variável .

Figura 1 – Custo ponderado do transporte de soja por município (variável)



Fonte: Elaborada pelos autores, baseado em resultados da pesquisa.

A configuração ótima dos fluxos mostra que a matriz de transporte de soja no Brasil tem o modal rodoviário como responsável por 80,72% das movimentações totais do produto, cabendo o restante ao transporte multimodal de carga. A modalidade de transporte ferroviária foi responsável por 14,87% das movimentações e a hidroviária por 4,41%. Os terminais de transbordo considerados na análise movimentaram, de forma conjunta, 26,73 milhões de toneladas de grãos. Rondonópolis (MT), Araguari (MG), Itaituba (PA), Maringá (PR) e Porto Velho (RO) foram os terminais que mais movimentaram carga – 5,34, 3,68, 3,13, 2,52 e 2,09 milhões de toneladas de soja, respectivamente.

Calculado o custo de transporte por município produtor de soja no Brasil (variável $CUSTO_i$), na Tabela 1 são sintetizadas as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no modelo econométrico estruturado pela Equação 1. No tocante à análise da influência dos custos municipais do transporte de soja no Índice de Desenvolvimento Humano das localidades produtoras, os resultados do modelo de regressão estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas das variáveis do modelo econométrico

Variável	Média	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Número de Observações
$\ln IDHM_i$	-0,36	0,08	-0,19	-0,72	2.272
$CUSTO_i$	78,09	54,73	257,07	5,35	2.272
$PIBAGROPEC_i$	90.193,43	121.232,91	1.402.282,11	1.359,17	2.272
$GINI_i$	0,49	0,07	0,79	0,31	2.272
POP_i	28.268,75	97.915,95	2.974.703,00	956,00	2.272
$PIBPERCAPTA_i$	29.390,45	21.440,62	305.524,66	5.133,23	2.272
$CENTROOESTE_i$	-	-	1,00	0,00	2.272
SUL_i	-	-	1,00	0,00	2.272
$SUDESTE_i$	-	-	1,00	0,00	2.272
$NORTE_i$	-	-	1,00	0,00	2.272

Fonte: Elaborada pelos autores, baseada em resultados da pesquisa.

Tabela 2 – Resultado do modelo de regressão (variável dependente: $\ln IDHM$)

Variável	Coefficiente	Erro Padrão de White-Huber	Estatística t
$CUSTO_i$	-0,0001283*	0,0000257	-4,99
$PIBAGROPEC_i$	3,19E-08*	1,01E-08	3,16
$PIBPERCAPTA_i$	5,64E-07*	1,03E-07	5,46
POP_i	1,70E-07*	5,30E-08	3,21
$GINI_i$	-0,1369102*	0,0243216	-5,63
$CENTROOESTE_i$	0,1502847*	0,0084173	17,85
SUL_i	0,1696501*	0,0081333	20,86
$SUDESTE_i$	0,1901036*	0,0084935	22,38
$NORTE_i$	0,0772463*	0,0095707	8,07
Constante	-0,4652085*	0,0151561	-30,69
R^2 Ajustado		0,5171	
F (9, 2262)		209,93*	
Número de Observações		2.272	

* Denota significância estatística a 1%

Fonte: Elaborada pelos autores, baseada em resultados da pesquisa.

Entre importantes validações que possibilitam a análise confiável dos resultados, verificou-se por meio do teste de VIF a ausência de multicolinearidade entre as variáveis (< 10). Além disso, por meio do teste de Breush-Pagan (estatística qui-quadrado = 33,26), identificou-se a heterocedasticidade da variância dos resíduos. Dados os problemas de confiabilidade decorrentes disso, o modelo foi estimado com erros padrão robustos. Além desses, pode-se por meio da estatística F validar a que pelos menos um dos parâmetros é diferente de zero. Os resultados do teste de Shapiro-Wilk não permitem assumir a normalidade dos resíduos (estatística $W = 0,98$), entretanto, conforme apontam Judge *et al.* (1988), a grande amostra ($n = 2.272$) possibilita que confiemos a proximidade a normalidade.

O resultado do modelo econométrico mostra que a variável é significativa ao nível de 1%. O coeficiente negativo evidencia que custos médios de transporte de soja maiores estão associados a menores valores de Índice de Desenvolvimento Humano nos municípios brasileiros produtores dessa oleaginosa. Existe, portanto, uma relação inversa entre o custo de transporte e o nível de desenvolvimento socioeconômico das localidades produtoras de soja.

A partir do resultado do modelo, uma redução de R\$ 1,00 por tonelada no custo médio de transporte de soja do município acarreta um aumento de 0,01283% no Índice de Desenvolvimento Humano dessa localidade. Para fins de exemplificação, se para determinada localidade a redução estimada no custo médio de transporte a partir da instalação de uma nova infraestrutura é de R\$ 50,00 por tonelada, 0,6415% é o impacto estimado no IDHM desse mesmo local.

Dessa forma, tem-se o entendimento de que o desenvolvimento socioeconômico dos municípios brasileiros pode ser impulsionado por melhorias que possibilitem a redução dos custos de transporte das cadeias produtivas locais. Custos reduzidos estão associados a maiores ganhos e maior competitividade dos negócios, contribuindo para a obtenção de avanços econômicos e sociais.

No tocante às variáveis de controle utilizadas no modelo econométrico, tem-se que para $PIBAGROPEC_i$, a um nível de significância de 1%, o resultado do modelo de regressão mostra que o aumento do Produto Interno Bruto relacionado ao setor da agropecuária tem impacto positivo no IDHM. Um aumento de R\$ 1.000.000,00 no PIB agropecuário de determinado município acarreta um aumento da ordem de 0,00319% no índice de desenvolvimento. Esse resultado ilustra a contribuição da produção agropecuária para o desenvolvimento socioeconômicos dos municípios brasileiros.

Para a variável $PIBPERCAPTA_i$, a um nível de significância de 1%, o resultado do modelo mostra que um aumento na de R\$ 1.000,00 no PIB per capita dos municípios está relacionado a um aumento da ordem de 0,0564% no IDHM. Tal relação positiva entre essas variáveis corrobora com a expectativa inicial do modelo aqui analisado, evidenciando relação positiva entre o Produto Interno Bruto dos municípios e a medida do Índice de Desenvolvimento Humano.

Outra métrica de controle do modelo também é a variável POP_i . Os resultados mostram que populações maiores estão associadas à maiores níveis de IDHM nos municípios produtores de soja do Brasil. Com nível de significância de 1%, um aumento populacional de 1.000 habitantes gera um aumento de 0,017% no IDHM dessas localidades.

Em $GINI_i$, também em linha com a expectativa inicial, níveis menores do Índice de Gini estão associadas a locais com maior desenvolvimento humano (sinal negativo do coeficiente obtido). Nesse índice (que apresenta valores entre 0 e 1), uma redução de 0,1 está relacionada a um aumento de 1,3691% no IDH municipal (nível de significância de 1%).

Para as métricas de localização do município entre as regiões brasileiras:

- i. $CENTROOESTE_i$: o resultado mostra que os municípios localizados na região Centro-Oeste brasileira apresentam, em média, IDHM 16,2165% superior aos municípios localizados na região Nordeste (nível de significância de 1%).
- ii. SUL_i : com interpretação similar à variável anterior, os municípios localizados na região Sul apresentam IDHM 18,48902% superior aos localizados na região Nordeste (nível de significância de 1%).
- iii. $SUDESTE_i$: os municípios produtores de soja localizados na região Sudeste apresentam, em termos médios, IDHM 20,93749% superior às localidades da região Nordeste (nível de significância de 1%).

iv. *NORTE*_{*i*}: a um nível de significância de 1%, os municípios produtores de soja da região Norte do Brasil apresentam níveis de IDHM 8,030812% superiores aos municípios produtores localizados na região Nordeste.

Pelo conjunto de resultados do modelo econométrico, é corroborada a hipótese *h1* testada por esse trabalho. As análises mostram que as localidades brasileiras produtoras de soja caracterizadas por custos de transporte mais elevados estão associadas a menores níveis de desenvolvimento socioeconômico. Testada para a realidade brasileira, a aceitação dessa hipótese pelo resultado do modelo econométrico anda em linha com os resultados encontrados nos trabalhos de Snieska e Simkunaite (2009), Olsson (2009), Rovolis e Spence (2002) e Sun e Cui (2018). Em suma, os autores convergem em indicar que os investimentos em infraestruturas de transporte trazem impactos positivos no desempenho dos agentes e, consequentemente, no desenvolvimento das regiões (ZHENG; CHANG; MARTINEZ, 2022; KONG *et al.*, 2022).

Dessa forma, a efetivação de políticas públicas para o investimento em infraestruturas de transporte que visem à redução dos custos das cadeias produtivas locais deve ser visualizada como instrumento para a promoção do desenvolvimento social e econômico dos municípios brasileiros. Para o caso específico da cadeia produtiva da soja no Brasil, a Figura 1 permite identificar as localidades com os maiores custos de transporte. Mato Grosso, Goiás e Tocantins concentram uma parcela significativa de municípios com os maiores gastos para a movimentação desses grãos. Distantes dos principais polos exportadores e centros de processamento dos grãos, os custos elevados de transporte indicam maior urgência para o fornecimento de opções logísticas mais competitivas. Para esses casos, políticas públicas que fomentem melhorias nas condições viárias e incentivem a construção (e ampliação) da multimodalidade no transporte de cargas (ferrovias e hidrovias) são fundamentais para o aumento da competitividade da cadeia produtiva.

Merece destaque ainda a importância do fator regional no desenvolvimento. Uma vez que há evidências de que os indicadores de desenvolvimento são melhores nas regiões Centro Oeste, Sul e Sudeste, é importante também que as políticas voltadas à elaboração de projetos de infraestrutura sejam executadas nas regiões menos dinâmicas. Além de demandarem maior incentivo para a redução das desigualdades locais, as regiões Norte e Nordeste, que como apontam Garcia e Buainain (2016), são as novas fronteiras agrícolas da produção, precisam de significativos aportes em infraestrutura, objetivando o fortalecimento da atividade produtiva local e a consequente geração de externalidades positivas para a sociedade.

CONCLUSÃO

Conforme apontado pelos resultados do modelo de otimização, há para o transporte de soja preponderância nas movimentações por meio do modal rodoviário, consequência das escolhas históricas do desenvolvimento da matriz de transporte no Brasil. A indisponibilidade de soluções logísticas mais competitivas, no entanto, limita a competitividade das cadeias produtivas brasileiras, principalmente em regiões distantes dos centros consumidores (indústria de óleos vegetais) e dos portos exportadores. Tal situação acaba por onerar o desenvolvimento socioeconômico de algumas localidades.

A existência de planos de investimentos em infraestrutura de transporte, públicos ou realizados em parceria com a iniciativa privada, são importantes para o aumento da competitividade da cadeia produtiva da soja brasileira nos mercados nacional e internacional. Do ponto de vista teórico, o trabalho mostra que custos para a movimentação dos grãos reduzidos, por melhorarem a performance da cadeia produtiva, fomenta o atingimento de maiores níveis de desenvolvimento econômico e social pela elevação na renda das localidades, sendo este um dos critérios para o cálculo do IDHM. Mais que isso, obras de infraestrutura podem ser determinantes, causando positivos impactos locais de longo prazo, a atração de investimentos em outros setores, aumento dos postos de trabalho, crescimento populacional, elevação da arrecadação local e potencial melhorias em serviços, mudando estruturalmente a vivência dos municípios.

Nesse sentido, investimentos em infraestrutura de transporte são mecanismos encontrados pelos formuladores de políticas públicas para avanços socioeconômicos. Como contribuição prática desse estudo, ao apontar as diferenças nos custos médios para a movimentação de grãos entre as regiões brasileiras, a análise elucida as localidades com maior grau de prioridade para o desenho de políticas para o fomento de soluções logísticas mais competitivas. Parte desses municípios estão localizados nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, as quais já são caracterizadas por menores índices de desenvolvimento socioeconômico.

Para trabalhos futuros nessa temática, é sugerida a avaliação dessa relação entre infraestruturas de transporte e o desenvolvimento regional com variáveis socioeconômicas atualizadas. O indicador de desenvolvimento humano utilizado data de 2010, e com uma divulgação apenas decenal, assim, mostra-se impossibilitada uma análise de toda a dinâmica entre os períodos. Em relação ao modelo, sugerem-se novas aplicações e análises utilizando modelos de regressão espaciais, com o objetivo de identificar eventuais efeitos de transbordamento dos custos de transporte sobre o desenvolvimento dos municípios próximos.

REFERÊNCIAS

- ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. *Estatísticas*. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 25 out. 2019.
- ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. *Anuário estatístico*. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario/>. Acesso em: 20 out. 2019.
- ANTT. Agência Nacional dos Transportes Terrestres. *Anuário do Transporte Ferroviário*. Disponível em: <https://www.antt.gov.br/anuario-do-setor-ferroviario>. Acesso em: 22 out. 2019a.
- ANTT. Agência Nacional dos Transportes Terrestres. *Dados Abertos*. Disponível em: <https://dados.antt.gov.br/>. Acesso em: 22 out. 2019b.
- ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013 – IDHM 2010*. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br>. Acesso em: 22 out. 2019.
- ATLAS BRASIL. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013 – Metodologia*. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br>. Acesso em: 12 dez. 2019.
- ESALQ-LOG. Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial. *Sistema de Informações de Fretes (Sifreca)*. Disponível em: <https://sifreca.esalq.usp.br/>. Acesso em: 20 out. 2019.
- GALVÃO, O. J. Desenvolvimento dos transportes e integração regional no Brasil – uma perspectiva histórica. *Planejamento e Políticas Públicas – PPP*, n. 13, p. 183-214, 1996.
- GARCIA, J. R.; BUAINAIN, A. M. Dinâmica de ocupação do cerrado nordestino pela agricultura: 1990 e 2012. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 54, n. 2, p. 319-338, 2016.

GOMES, R. A. *Transporte rodoviário de cargas e desenvolvimento econômico no Brasil: uma análise descritiva*. 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Publicação T. DM 017-A/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2006.

GUILD, R. L. Infrastructure investment and interregional development: Theory, evidence, and implications for planning. *Public Works Management & Policy*, v. 4, n. 4, p. 274-285, 2000.

HIRSCHMAN, A. O. *The strategy of economic development*. New Haven: Yale University Press, 1958.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas de população*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>. Acesso em: 28 out. 2019a.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa agrícola municipal*. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 28 out. 2019b.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema de contas nacionais*. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>. Acesso em: 28 out. 2019c.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Indicadores sociais – Índice de Gini*. Disponível em: ipeadata.gov.br. Acesso em: 22 out. 2019.

JUDGE, G. G.; HILL, R. C.; GRIFFITHS, W. E.; LÜTKEPOHL, H.; LEE, T. C. *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*. New York: J. Wiley, 1988.

KONG, Q.; LI, R.; JIANG, X.; SUN, P.; PENG, D. Has transportation infrastructure development improved the quality of economic growth in China's cities? A quasi-natural experiment based on the introduction of high-speed rail. *Research in International Business and Finance*, v. 62, 101726, 2022. ISSN 0275-5319.

OLSSON, J. Improved road accessibility and indirect development effects: evidence from rural Philippines. *Journal of Transport Geography*, v. 17, n. 6, p. 476-483, 2009.

ROVOLIS, A.; SPENCE, N. Duality theory and cost function analysis in a regional context: the impact of public infrastructure capital in the Greek regions. *The Annals of Regional Science*, v. 36, n. 1, p. 55-78, 2002.

SAKIB, N.; APPIOTTI, F.; MAGNI, F.; MARAGNO, D.; INNOCENTI, A.; GISSI, E.; MUSCO, F. Addressing the Passenger Transport and Accessibility Enablers for Sustainable Development. *Sustainability*, v. 10, n. 4, p. 903, 2018.

SALVADOR, M. R. F. M.; FERNANDES, A. Avaliação do contributo das infraestruturas de transporte para o desenvolvimento regional. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, v. 39, n. 1, p. 79-93, 2015.

SÁNCHEZ-OLLERO, J. L.; GARC, A. The impact of the high speed train in the development of Andalusia: an approach. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2014.

SECEX. Secretaria de Comércio Exterior. *Exportações*. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 28 mar. 2020.

SEN, A. A decade of human development. *Journal of Human Development*, v. 1, n. 1, p. 17-23, 2000.

SNIESKA, V.; SIMKUNAITE, I. Socio-economic impact of infrastructure investments. *Engineering Economics*, v. 63, n. 4, 2009.

SUN, Y.; CUI, Y. Evaluating the coordinated development of economic, social and environmental benefits of urban public transportation infrastructure: Case study of four Chinese autonomous municipalities. *Transport Policy*, v. 66, p. 116-126, 2018.

TAYLOR, M. A. P. Critical transport infrastructure in Urban areas: impacts of traffic incidents assessed using accessibility-based network vulnerability analysis. *Growth and Change*, v. 39, n. 4, p. 593-616, 2008.

UNDP. United Nations Development Programme. *Human Development Report 2019*. Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century. New York, 2019. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-report-2019>.

UNDP. United Nations Development Programme. *Human Development Report 1990: Concept and Measurement of Human Development*. New York, 1990. Disponível em: <http://www.hdr.undp.org/en/reports/global/hdr1990>.

VUČKOVIĆ, S. D.; ĐORĐEVIĆ, J.; MILANKOVIĆ JOVANOVIĆ, J.; IVANOVIĆ BIBIĆ, L.; PROTIĆ, B.; ĐORĐEVIĆ, T.; IVKOV, M. The development of transport infrastructure and attitudes of the local population: a case study from the Republic of Serbia. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, v. 118, n. 1, p. 101-113, 2018.

WANG, L.; XUE, X.; ZHAO, Z.; WANG, Z. 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. 1.172, 2018.

WOOLDRIDGE, J. M. *Econometric analysis of cross section and panel data*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2010.

ZHENG, L.; CHANG, Z.; MARTINEZ, A. G. High-speed rail, market access, and the rise of consumer cities: evidence from China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 165, p. 454-470, 2022. ISSN 0965-8564.

Todo conteúdo da Revista Desenvolvimento em Questão está
sob Licença Creative Commons CC – By 4.0