

# UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO QUADRÁTICA PARA A ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA MELHORIA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES EM MATO GROSSO<sup>1</sup>

Jonnathas Marques Pais<sup>2</sup>

Carlos Eduardo da Gama Torres<sup>3</sup>

Gustavo Peixoto Silva<sup>4</sup>

Diogo Ferraz<sup>5</sup>

O período compreendido entre 1990 e 2020 consolidou o Brasil como um dos principais produtores mundiais de soja, elevando o país à disputa com os Estados Unidos pela liderança do mercado global dessa oleaginosa. Esse período também consolidou o movimento de interiorização da produção brasileira, com o estado de Mato Grosso assumindo o protagonismo na oferta brasileira de soja. Além disso, o crescimento da produção de soja está diretamente relacionado ao aumento das exportações, especialmente para a China. A combinação entre a interiorização da produção e o aumento das exportações expôs a fragilidade da infraestrutura de transportes existente nas regiões centrais do Brasil. Nesse sentido, a escassez de alternativas de rotas intermodais configura-se como o principal obstáculo, aumentando a extensão percorrida pelo modal rodoviário, inadequado para movimentar esse tipo de carga. Diante da integração do mercado mundial de soja, os produtores de Mato Grosso não têm a possibilidade de repassar os custos logísticos mais elevados, reduzindo o preço recebido pela oleaginosa. Assim, este artigo busca mensurar os ganhos econômicos decorrentes das intervenções no sistema de transportes de Mato Grosso. Para tanto, um modelo de equilíbrio espacial foi utilizado, no intuito de representar a economia mundial da soja. Foram realizadas simulações considerando-se três obras de infraestrutura, planejadas pelo governo brasileiro, que tiveram estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA) concluído ou em elaboração: i) EF-170, ou Ferrogrão; ii) EF-354, ou Ferrovia de Integração Centro-Oeste; e iii) hidrovía do rio Araguaia. Os resultados das simulações indicam a viabilidade de alguns dos resultados, apontando que a EF-170 pode gerar um aumento anual de US\$ 785 milhões na receita dos produtores de soja de Mato Grosso, enquanto, por sua vez, a EF-354 proporcionaria um aumento de US\$ 584 milhões na receita dos produtores mato-grossenses.

**Palavras-chave:** infraestrutura para transporte de soja em Mato Grosso; Ferrogrão (EF-170); Ferrovia de Integração Centro-Oeste (EF-354); hidrovía do rio Araguaia; modelo de programação linear quadrática.

---

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ppp68art3>

2. Analista de dados na MR Mineração. *E-mail:* [jonnathasmarques@hotmail.com](mailto:jonnathasmarques@hotmail.com). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1985169246367625>. Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-3911-779X>.

3. Professor associado do Departamento de Economia (Deeco) e do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada (PPEA), ambos da Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop). *E-mail:* [carlos.torres@ufop.edu.br](mailto:carlos.torres@ufop.edu.br). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4036708418054112>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6215-7394>.

4. Professor titular da Ufop. *E-mail:* [gustavo@ufop.edu.br](mailto:gustavo@ufop.edu.br). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5993368685533845>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9158-2370>.

5. Professor no Departamento de Engenharia Química e Produção da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (Dequi/EEL/USP). *E-mail:* [diogoferraz@usp.br](mailto:diogoferraz@usp.br). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4539063690990247>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-40377171>.

## A QUADRATIC PROGRAMMING MODEL FOR THE ANALYSIS OF THE ECONOMIC FEASIBILITY OF IMPROVING TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN MATO GROSSO

The period between 1990 and 2020 consolidated Brazil as one of the world's leading producers of soybeans, raising the country to the dispute with the United States for the leadership of the global oilseed market. The aforementioned period also consolidated the movement of internalization of Brazilian soy production, with the state of Mato Grosso taking the leading role in the Brazilian offer of oilseed. Moreover, the growth in soybean production is directly related to the increase in exports, especially to China. The combination between the internalization of production and the increase of exports exposed the fragility of the existing transport infrastructure in the central regions of Brazil, in this sense, the scarcity of intermodal route alternatives is the main obstacle, increasing the length traveled by the road modal, inadequate to move this type of load. Given the integration of the world soybean market, the Mato Grosso producers do not have the possibility to pass on the higher logistic costs, reducing the price received by the oilseed. Thus, this article seeks to measure the economic gains resulting from interventions in the road system of Mato Grosso. To this end, the Spatial Equilibrium Model was used to represent the world soybean economy. Simulations were carried out with three infrastructure works, planned by the Brazilian government, which have Economic and Environmental Technical Feasibility Study (EVTEA) completed or in preparation: i) EF-170 or Ferrogrão; ii) EF-354 or Midwest Integration Railway; and iii) Araguaia River Waterway. The results of the simulations indicate favorably the feasibility of some of the interventions addressed, pointing out that EF-170 can generate an annual increase of US\$ 785 million in the revenue of Mato Grosso soybean producers, while, in turn, EF-354 would provide an increase of US\$ 584 million in the revenue of Mato Grosso producers.

**Keywords:** infrastructure for transporting soybeans in Mato Grosso; "Ferrogrão" (EF-170); Central West Integration Railway (EF-354); Araguaia River waterway; model of linear quadratic programming.

## UN MODELO DE PROGRAMACIÓN CUADRÁTICA PARA EL ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE MEJORAR LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE EN MATO GROSSO

El período comprendido entre 1990 y 2020 consolidó a Brasil como uno de los principales productores mundiales de soja, llevando al país a la disputa con Estados Unidos por el liderazgo del mercado mundial de esta oleaginosa. Este período también consolidó el movimiento hacia la interiorización de la producción brasileña de soja, con el estado de Mato Grosso asumiendo el papel protagonista. Además, el crecimiento de la producción de soja está directamente relacionado con el aumento de las exportaciones de soja especialmente para China. La combinación de la internalización de la producción y el aumento de las exportaciones expuso la fragilidad de la infraestructura de transporte existente en las regiones centrales de Brasil, en este sentido, la escasez de rutas intermodales alternativas es el principal obstáculo, aumentando la longitud recorrida por el modal vial, que resulta insuficiente para mover este tipo de carga. Frente a la integración del mercado mundial de la soja, los productores de Mato Grosso no tienen la posibilidad de trasladar los mayores costos logísticos, reduciendo el precio recibido por la oleaginosa. Así, este artículo busca medir las ganancias económicas resultantes de las intervenciones en el sistema de transporte de Mato Grosso. Para ello, se utilizó un Modelo de Equilibrio Espacial con el fin de representar la economía mundial de la soja. Se realizaron simulaciones considerando tres obras de infraestructura, planificadas por el gobierno brasileño, que tenían un Estudio de Factibilidad Técnica Económico-Ambiental (EFTEA) terminado o en preparación: i) EF-170 o Ferrogrão; ii) EF-354 o Ferrocarril de Integración del Medio

Oeste; y iii) Hidrovía del Río Araguaia. Los resultados de las simulaciones indican favorablemente la factibilidad de algunas de las intervenciones abordadas, señalando que el EF-170 puede generar un aumento anual de US\$ 785 millones en los ingresos de los productores de soja de Mato Grosso, mientras que, a su vez, el EF-354 proporcionaría un aumento de US\$ 584 millones en los ingresos de los productores de Mato Grosso.

**Palabras clave:** infraestructura para el transporte de soja en Mato Grosso; Ferrogrão (EF-170); Ferrocarril de Integración Centro Oeste (EF-354); hidrovía del río Araguaia; modelo de programación lineal cuadrática.

**JEL:** R42; R58.

## 1 INTRODUÇÃO

Entre 1990 e 2020, o comércio mundial da soja em grão sofreu uma grande transformação no tocante ao volume transacionado entre as nações. Os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA) mostram que, no ano-safra 1990-1991, um montante de 25,4 milhões de toneladas da oleaginosa foi comercializado entre os países. Para efeito de comparação, no ano-safra 2018-2019, o montante de soja transacionado entre as nações já ultrapassava 148 milhões de toneladas. Pelo lado da demanda, a entrada da China no mercado internacional do produto, na década de 1990, pode ser considerada como o principal propulsor desse comportamento, uma vez que o país asiático, que importou apenas uma tonelada de soja em 1990, concentrou 61% das importações mundiais da oleaginosa entre 2015 e 2020, adquirindo, em média, 90 milhões de toneladas por ano. Pelo lado da oferta, o Brasil pode ser considerado o grande destaque, uma vez que o país detinha 9,8% das exportações mundiais de soja em 1990 e tornou-se o principal exportador mundial desde o ano-safra 2012-2013, participando com 45% das exportações mundiais entre 2015 e 2020. Ademais, Brasil e Estados Unidos concentraram 83,4% das exportações mundiais de soja entre 2015 e 2020. Assim, os dados do então Ministério da Economia indicam que a soja em grão é o principal produto, em valor, na pauta de exportações do Brasil desde 2015.

No contexto interno, os últimos trinta anos consolidaram o movimento de interiorização da produção brasileira de soja, iniciado na década de 1970, com a região Centro-Oeste assumindo o protagonismo nacional na oferta da oleaginosa (IBGE, 1974/2018). Nessa conjuntura, o estado de Mato Grosso se notabilizou como o principal produtor e exportador do produto, participando, em 2019, com 28,22% da safra nacional e 27,30% das exportações nacionais, conforme o então Ministério da Economia.<sup>6</sup> Cabe ressaltar que Mato Grosso abriga o centro geodésico da América do Sul, situado em Cuiabá, cidade localizada exatamente no meio do caminho entre os oceanos Atlântico e Pacífico. Ademais, parte do território

6. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 16 fev. 2020.

mato-grossense está inserido no bioma Amazônia. Desse modo, a expansão da área produzida, assim como os impactos negativos em termos de desmatamento e degradação ambiental decorrentes da instalação de novas infraestruturas de transporte, deve ser analisada de maneira extremamente cuidadosa. Em um outro sentido, modais de transporte mais eficientes energeticamente podem contribuir positivamente em termos de redução de impactos ambientais.

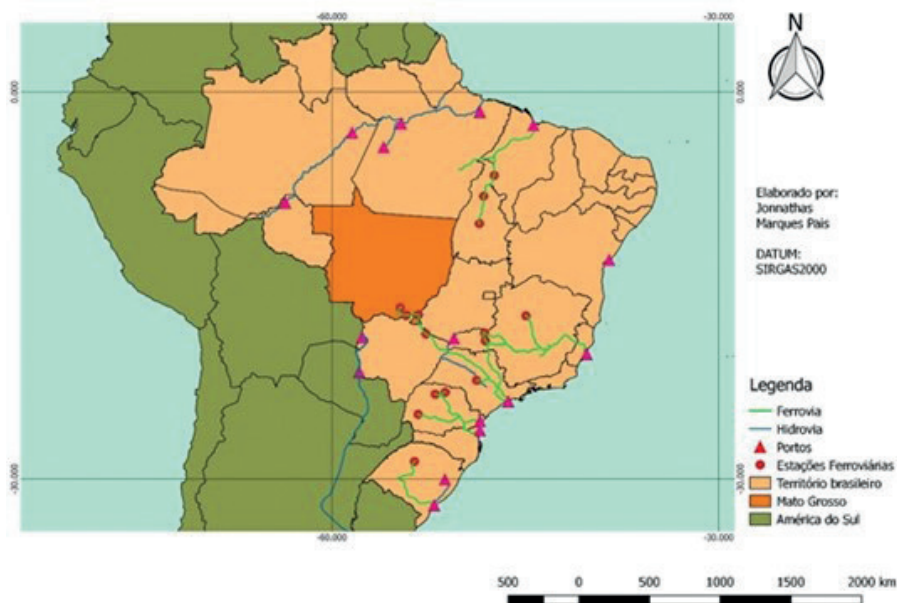
Entre 1974 e 1996, a safra mato-grossense de soja aumentou em 4,725 milhões de toneladas, evoluindo de 307 mil toneladas para 5,032 milhões de toneladas. Para efeito de comparação, entre 1997 e 2019, a safra mato-grossense aumentou de 6,060 para 32,242 milhões de toneladas. Ademais, também se pode notar o aumento da participação das exportações na demanda pela soja mato-grossense. A comparação entre os dados do Ministério da Economia e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) revela que, entre 1997 e 1999, a participação média das exportações na demanda pela soja mato-grossense era de 22,15%, com uma quantidade anual média de 1,525 milhão sendo enviada para o exterior. Por sua vez, entre 2017 e 2019, essa mesma participação média foi de 61,66%, com a remessa anual média alcançando 19,4 milhões de toneladas.

A combinação entre os movimentos de interiorização da produção e o aumento da participação das exportações implicou considerável aumento na distância média a ser percorrida entre as zonas de produção e os portos no litoral. Esse panorama exige alta eficiência na operação de transporte, uma vez que anualmente um volume de 26,9 milhões de metros cúbicos de grãos deve ser deslocado do centro do continente à costa litorânea. Ademais, a soja é um produto de baixo valor agregado, de modo que a participação do custo de transporte é alta em relação ao preço de venda. Produtos de baixo valor agregado, transportados por longas distâncias, transacionados em alto volume e com uma demanda relativamente estável, como é o caso da soja, são movimentados de maneira mais eficiente por meio de modais de transporte com maior capacidade de carregamento, permitindo gerar escala e reduzir o custo unitário da operação. Nesse sentido, modais mais lentos e baratos, como o hidroviário e o ferroviário, são mais indicados (Wanke, 2001). Entretanto, esses dois modais não oferecem transporte entre os pontos de origem e destino, fazendo-se necessária a complementação através do modal rodoviário, o qual deveria ter atuação restrita às curtas distâncias, levando os grãos das fazendas ou armazéns para o terminal de transbordo do modal hidroviário ou ferroviário (Hijjar, 2004).

Por meio do mapa 1, pode-se notar que o estoque de infraestrutura de transporte existente em Mato Grosso e regiões adjacentes é bastante limitado. Nesse sentido, a única opção relevante de transbordo intermodal para o escoamento dos grãos mato-grossenses, em seu próprio território, é a malha ferroviária concedida à empresa Rumo, com terminais nos municípios de Rondonópolis-MT e Alto

Araguaia-MT, cuja capacidade máxima da via permanente foi atingida. Assim, o trajeto rodoviário entre as regiões produtoras mato-grossenses e os terminais de transbordo disponíveis frequentemente supera 1 mil quilômetros de extensão (Brasil, 2017).

MAPA 1

**Rede intermodal de escoamento da soja brasileira para exportação**

Fonte: Pais (2020).

Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Conforme Salin (2019), o custo total do envio de uma tonelada métrica de soja de Sorriso-MT até Xangai, na China, pelo porto de Santos, em São Paulo, principal rota de escoamento para os grãos de Mato Grosso, foi de US\$ 112,92 em 2019. Esse valor pode ser decomposto em US\$ 79,28 referentes ao frete rodoviário entre Sorriso e Santos, e US\$ 33,65 relativos ao frete marítimo entre Santos e Xangai. Para efeito de comparação, no mesmo período, o custo total do envio de uma tonelada de Mineápolis, em Minesota, até o porto de Xangai, pelo porto de Nova Orleans, na Louisiana, principal rota de escoamento para os grãos dos Estados Unidos, foi de US\$ 76,64. Esse valor pode ser decomposto em US\$ 10,10 relativos ao frete rodoviário entre a fazenda e um terminal de transbordo rodo-hidroviário, US\$ 21,99 referentes ao transporte no Sistema Hidroviário do Mississipi entre Mineápolis e Nova Orleans, e US\$ 44,55 alusivo ao frete marítimo entre New Orleans e Xangai.

Uma vez que os preços mundiais da soja são balizados pela cotação na Bolsa de Chicago, o preço praticado no Brasil equivale ao preço no mercado internacional, descontando-se despesas de frete e taxas necessárias para mover o produto ao exterior, de modo que não é possível o repasse de custos logísticos mais elevados (Imea, 2015). Conseqüentemente, segundo os dados do National Agricultural Statistics Service (Nass),<sup>7</sup> em 2019, o preço médio recebido pelos produtores de soja do estado de Minnesota foi de US\$ 306,10 por tonelada. Enquanto isso, os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) mostram que, durante o mesmo período, os produtores mato-grossenses receberam em média US\$ 285,27 por tonelada.<sup>8</sup>

Dessa forma, este artigo busca mensurar os ganhos econômicos (aumento no preço recebido e na receita) que os produtores de soja de Mato Grosso poderiam obter mediante a realização das intervenções no sistema viário apresentadas no mapa 2, explicitada na seção *Resultados*. Para esse fim, foi elaborado um modelo para representar a economia mundial da soja e, conseqüentemente, a rede de transportes existente no Brasil e nos Estados Unidos. Após a validação do modelo-base, foram realizadas simulações com três obras de infraestrutura, planejadas pelo governo brasileiro, que possuem estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA) concluído ou em elaboração e promoveriam impactos diferentes entre as sub-regiões mato-grossenses: i) EF-170, ou Ferrogrão – ligação ferroviária entre Sinop-MT e Itaituba-PA; ii) EF-354, ou Ferrovia de Integração Centro-Oeste (Fico) – ligação ferroviária entre Mato Grosso e Porto Velho-RO, que também propiciaria a ligação ferroviária entre Mato Grosso e o porto do Itaquí, em São Luís-MA, por meio da conexão com a Ferrovia Norte-Sul; e iii) hidrovía do rio Araguaia – ligação hidrovária entre São Félix do Araguaia-MT e o porto de Vila do Conde, em Barcarena-PA.

Em termos metodológicos, dada a expressiva participação brasileira na oferta mundial de soja, considerou-se que estimar o fluxo de transporte de custo mínimo por meio de um modelo de programação linear não seria adequado, pois essa classe de modelos assume como hipótese que os preços e os montantes produzidos e consumidos em cada região são exógenos (Costa, 2007). Para contornar este problema, utilizou-se o modelo de equilíbrio espacial (programação quadrática), formalizado matematicamente por Samuelson (1952) e aperfeiçoado por Takayama e Jude (1971).

---

7. Disponível em: <https://quickstats.nass.usda.gov/>.

8. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/precos-agropecuarios.html>.

Essa metodologia tem sido utilizada sistematicamente para simular impactos gerados por melhorias na infraestrutura de transportes sobre o mercado da soja. Nesse sentido, podem-se destacar as contribuições de Fuller *et al.* (2001), que simularam os efeitos sobre os produtores de soja e milho no Brasil e na Argentina, frente a melhorias nas instalações portuárias nesses países; melhorias da navegabilidade na Hidrovia Paraná-Paraguai; desenvolvimento da Hidrovia Madeira-Amazonas; extensão da Ferronorte até Cuiabá; e pavimentação da BR-163. Por sua vez, Ojima (2004), com o objetivo de otimizar a distribuição da soja brasileira, gerou simulações reduzindo os custos de transporte nos modais ferroviário e hidroviário em 10%, considerando o sistema viário existente. Costa (2007) simulou os impactos provocados por melhorias no sistema viário brasileiro sobre o mercado mundial da soja em cenários individuais e conjuntos, em que são introduzidas melhorias, como a pavimentação da BR-163, a criação da Hidrovia Tapajós-Teles Pires e a criação da Hidrovia Mortes-Araguaia.

Esta pesquisa se diferencia das anteriores por focalizar a discussão no caso de Mato Grosso, apresentando intervenções com EVTEA elaborado ou em elaboração, que foram recentemente planejadas, visando facilitar o escoamento da safra de grãos do estado, levando em consideração a tendência de desviar o fluxo de soja de Mato Grosso para os portos do Arco Norte, denominação dos portos localizados na região amazônica (destacados no mapa 2). O modelo elaborado também apresenta maior grau de detalhamento na regionalização do Brasil e dos Estados Unidos. Finalmente, a rede de transportes brasileira foi descrita minuciosamente, apresentando cálculos atualizados acerca da capacidade de movimentação das estruturas e o estado de conservação do sistema de transportes brasileiro.

## 2 METODOLOGIA

O modelo foi construído considerando-se a abordagem do bem-estar líquido, que possui como princípio a otimização da função de bem-estar líquido, definida como a soma dos excedentes dos produtores e consumidores de cada região, representados pelas integrais correspondentes a cada excedente na equação (1), menos os custos de transportes. Assumindo-se que as funções de oferta e demanda são lineares, Takayama *et al.* (1971) definem a função de bem-estar líquido (NW) da forma a seguir.

$$\begin{aligned}
 NW = & \sum_{i=1}^{i=n} \left( \int_0^{y_i} p_i dy_i - \int_0^{x_i} p^i dx_i \right) - \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} t_{ij} x_{ij} = \\
 & \sum_{i=1}^{i=n} \left( \int_0^{y_i} (\delta_i - \omega_i y_i) dy_i - \int_0^{x_i} (v_i + \eta_i x_i) dx_i \right) - \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} t_{ij} x_{ij}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Na equação (1),  $p_i$  é a função de demanda inversa da região  $i$ ,  $y_i$  representa a quantidade demandada, assumindo-se os parâmetros  $\delta_i > 0$  e  $\omega_i > 0$ , enquanto  $p^i$  é a função de oferta inversa da região  $i$ , sendo que  $x_i$  representa a quantidade ofertada, assumindo-se o parâmetro  $\eta_i > 0$ . Por sua vez,  $t_{ij}$  é a tarifa do transporte inter-regional e  $x_{ij}$  é o fluxo do comércio inter-regional. Assim, o equilíbrio espacial é estabelecido a partir da maximização de (1), sujeito às restrições de balanço de oferta e demanda, além das restrições de não negatividade.

O problema de otimização proposto por Takayama *et al.* (1971), exposto em (1), recebeu adaptações, como em Fellin (1997) e Fuller *et al.* (2000), com a finalidade de incluir o transporte multimodal e a diferenciação entre as regiões domésticas e estrangeiras. Pode-se apresentar esse problema por intermédio das curvas de excedente de oferta e de demanda para cada região de oferta e demanda, respectivamente. Assumindo-se que as curvas de excedente de oferta e de demanda são lineares, com intercepto  $\alpha$  e coeficiente angular  $\beta$ , o modelo aqui proposto é baseado nessas contribuições e pode ser expresso a partir do problema de maximização descrito a seguir.

$$\begin{aligned}
 NW = & \sum_j (\alpha_j - 0,5\beta_j D_j) D_j + \sum_g (\alpha_g - 0,5\beta_g D_g) D_g + \sum_d (\alpha_d - 0,5\beta_d D_d) D_d - \sum_i (\alpha_i + 0,5\beta_i S_i) S_i - \\
 & \sum_k (\alpha_k + 0,5\beta_k S_k) S_k - \sum_x (\alpha_x + 0,5\beta_x S_x) S_x - \sum_i \left( \sum_j C_{ij} T_{ij} + \sum_h C_{ih} T_{ih} + \sum_f C_{if} T_{if} + \sum_p C_{ip} T_{ip} \right) - \\
 & \sum_n \left( \sum_p C_{hp} T_{hp} + \sum_u C_{hu} T_{hu} \right) - \sum_p \left( \sum_f C_{fp} T_{fp} + \sum_u C_{up} T_{up} + \sum_j C_{pj} T_{pj} \right) - \sum_k \left( \sum_g C_{kg} T_{kg} + \sum_b C_{kb} T_{kb} + \right. \\
 & \left. \sum_r C_{kr} T_{kr} + \sum_w C_{kw} T_{kw} \right) - \sum_r \left( \sum_g C_{rg} T_{rg} + \sum_b C_{rb} T_{rb} + \sum_d C_{rd} T_{rd} \right) - \sum_w \left( \sum_b C_{bw} T_{bw} + \sum_r C_{rw} T_{rw} \right) - \\
 & \sum_d \left( \sum_p C_{pd} T_{pd} + \sum_w C_{wd} T_{wd} + \sum_x C_{xd} T_{xd} \right)
 \end{aligned}$$

Sujeito a:

$$\sum_j T_{ij} + \sum_h T_{ih} + \sum_f T_{if} + \sum_p T_{ip} \leq S_i \quad \text{p/todo } i \quad (2)$$

$$\sum_g T_{kg} + \sum_b T_{kb} + \sum_r T_{kr} + \sum_w T_{kw} \leq S_k \quad \text{p/todo } k \quad (3)$$

$$\sum_d T_{xd} \leq S_x \quad \text{p/todo } x \quad (4)$$

$$\sum_p T_{hp} + \sum_u T_{hu} \leq \sum_i T_{ih} \quad \text{p/todo } h \quad (5)$$



$$\sum_w T_{bw} \leq \sum_k T_{kb} \quad \text{p/todo b} \quad (6)$$

$$\sum_p T_{fp} \leq \sum_i T_{if} \quad \text{p/todo f} \quad (7)$$

$$\sum_w T_{rw} + \sum_g T_{rg} \leq \sum_k T_{kr} \quad \text{p/todo r} \quad (8)$$

$$\sum_d T_{pd} + \sum_j T_{pj} \leq \sum_i T_{ip} + \sum_h T_{hp} + \sum_f T_{fp} + \sum_u T_{up} \quad \text{p/todo p} \quad (9)$$

$$\sum_d T_{wd} \leq \sum_k T_{kw} + \sum_b T_{bw} + \sum_f T_{rw} \quad \text{p/todo w} \quad (10)$$

$$\sum_i T_{ij} + \sum_p T_{pj} \geq D_j \quad \text{p/todo j} \quad (11)$$

$$\sum_k T_{kg} + \sum_r T_{rg} \geq D_g \quad \text{p/todo g} \quad (12)$$

$$\sum_p T_{pd} + \sum_w T_{wd} + \sum_x T_{xd} \geq D_d \quad \text{p/todo d} \quad (13)$$

$$\sum_d T_{pd} \leq L_p \quad \text{p/todo p} \quad (14)$$

$$\sum_d T_{wd} \leq L_w \quad \text{p/todo w} \quad (15)$$

$$\sum_p T_{hp} + \sum_u T_{hu} \leq A_h \quad \text{p/todo h} \quad (16)$$

$$\sum_b \sum_w T_{bw} \leq E_n \quad \text{p/todo n} \quad (17)$$

$$\sum_f \sum_p T_{fp} \leq V_m \quad \text{p/todo m} \quad (18)$$

$$\sum_h T_{hu} \leq B_u \quad \text{p/todo u} \quad (19)$$

$$\sum_h T_{hp} \leq U_p \quad \text{p/todo p} \quad (20)$$

$$T, S, D \geq 0 \quad \text{p/todo i, j, k, g, x, d, h, f, b, r, p, w e n} \quad (21)$$

**QUADRO 1**  
**Subscritos, variáveis e parâmetros do modelo**

Subscritos	Definição
$i$	Regiões brasileiras de excesso de oferta ( $i = 1, 2, \dots, 34$ )
$k$	Regiões norte-americanas de excesso de oferta ( $k = 1, 2, \dots, 20$ )
$x$	Região estrangeira de excesso de oferta ( $x = 1$ )
$j$	Regiões brasileiras de excesso de demanda ( $j = 1, 2, \dots, 9$ )
$g$	Regiões norte-americanas de excesso de demanda ( $g = 1, 2, 3$ )
$d$	Regiões estrangeiras de excesso de demanda ( $d = 1, 2, \dots, 7$ )
$f$	Terminais ferroviários de transbordo no Brasil ( $f = 1, 2, \dots, 15$ )
$r$	Terminais ferroviários de transbordo nos Estados Unidos ( $r = 1, 2, \dots, 54$ )
$h$	Terminais hidroviários de embarque no Brasil ( $h = 1, 2, \dots, 4$ )
$b$	Terminais hidroviários de embarque nos Estados Unidos ( $b = 1, 2, \dots, 29$ )
$u$	Terminais hidroviários de desembarque no Brasil ( $u = 1$ )
$p$	Complexos portuários no Brasil ( $p = 1, 2, \dots, 11$ )
$w$	Complexos portuários nos Estados Unidos ( $w = 1, 2, \dots, 4$ )
$m$	Via permanente no Brasil ( $m = 1, 2, \dots, 9$ )
$n$	Eclusa no sistema hidroviário do Mississípi ( $n = 1, 2$ )
Variáveis	Definição
$S_i$	Regiões brasileiras de excesso de oferta
$S_k$	Regiões norte-americanas de excesso de oferta
$S_x$	Regiões estrangeiras de excesso de oferta
$D_j$	Regiões brasileiras de excesso de demanda
$D_g$	Regiões norte-americanas de excesso de demanda
$D_d$	Regiões estrangeiras de excesso de demanda
$T$	Quantidade de grãos movimentada (em toneladas)
Parâmetros	Definição
$C$	Custo de transporte entre os pontos
$V$	Capacidade de tráfego da malha ferroviária
$A$	Capacidade de embarque no terminal hidroviário
$L$	Capacidade de embarque no porto
$E$	Capacidade de movimentação na eclusa
$B$	Capacidade de desembarque no terminal hidroviário
$U$	Capacidade de desembarque no porto

Elaboração dos autores.

Conforme Fellin (1997), Fuller (2001), Ojima (2004) e Costa (2007), os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  presentes na função objetivo devem ser obtidos a partir das elasticidades-preço de excedente da oferta e da demanda. Segundo Shei e Thompson (1977),

o método mais comumente utilizado para a obtenção das referidas elasticidades é aquele apresentado por Orcutt (1950).

$$\varepsilon_{ed} = \varepsilon_d \left( \frac{Q_j^D}{Q_j^M} \right) - \varepsilon_s \left( \frac{Q_j^S}{Q_j^M} \right) \quad (22)$$

Na equação (22), para cada região  $j$  de demanda,  $\varepsilon_{ed}$  é a elasticidade-preço do excedente de demanda,  $\varepsilon_d$  é a elasticidade-preço da demanda,  $Q_j^D$  é a quantidade consumida,  $Q_j^M$  é a quantidade importada,  $\varepsilon_s$  é a elasticidade-preço da oferta e  $Q_j^S$  é a quantidade produzida. A quantidade exportada por cada região  $i$  de oferta é denotada  $Q_i^X$ , sendo utilizada para encontrar a elasticidade-preço excedente da oferta de forma análoga.

$$\varepsilon_{es} = \varepsilon_s \left( \frac{Q_i^S}{Q_i^X} \right) - \varepsilon_d \left( \frac{Q_i^D}{Q_i^X} \right) \quad (23)$$

As estimativas para os parâmetros da elasticidade-preço da demanda ( $\varepsilon_d$ ) foram obtidas para cada país integrante do modelo a partir da base de dados do Food and Agricultural Policy Research Institute (Fapri). Tal como em Fuller *et al.* (2001) e Ojima (2004), assumiu-se que a elasticidade-preço da demanda é a mesma para todas as regiões dentro de um mesmo país. As estimativas para os parâmetros da elasticidade-preço da oferta ( $\varepsilon_s$ ) também foram obtidas, em sua maioria, a partir da base de dados da Fapri, sendo que, para alguns países, foram utilizadas as estimativas de Gardiner, Roninger e Liu (1989). As elasticidades-preço da oferta foram assumidas como heterogêneas entre as regiões de um mesmo país. No caso do Brasil, considerou-se a abordagem de Nerlove (1958), que sustenta dois pressupostos básicos: expectativas adaptativas e ajuste parcial. Conforme essa especificação, os agentes baseiam sua decisão acerca do montante produzido considerando o preço esperado a ser recebido com a venda do produto, levando em conta ainda um atraso no ajuste nos mercados agrícolas, devido à falta de disponibilidade de recursos e dadas as rotações das culturas. Uma versão simplificada, que captura em algum grau essas relações, pode ser encontrada em Fuller *et al.* (2001), que estimaram a oferta agrícola ( $Q_t$ ), representada pela área plantada de certa cultura em determinado período  $t$ , como uma função do preço ( $P_{t-1}$ ) observado no período  $t-1$ , comumente utilizado como *proxy* para o preço esperado; a área plantada no período anterior ( $Q_{t-1}$ ), que geralmente está ligada à ideia do ajustamento; e uma tendência temporal (*trend*) que pode ser interpretada como *proxy* para tecnologia (Iqbal e Babcock, 2018). Seguindo essa especificação, estimamos a equação de regressão a seguir.

$$\ln(Q_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln(Q_{t-1}) + \beta_2 \ln(P_{t-1}) + \beta_3 \text{trend} \quad (24)$$

Segundo Iqbal e Babcock (2018), agregar países e obter um coeficiente de inclinação  $\beta_2$  agrupado produz estimativas inconsistentes acerca da verdadeira elasticidade-preço da oferta, uma vez que cada região possui características próprias, como fatores climáticos, política governamental, relevância no mercado e preço de insumos. Dessa forma, optou-se por estimar as regressões separadamente para cada região. O estimador de mínimos quadrados ordinários (MQO) foi utilizado em cada uma das regressões.

Para a regionalização adotada no modelo, a divisão em regiões intermediárias elaborada pelo IBGE foi utilizada em quatro dos cinco principais estados produtores de grãos no Brasil (Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul). Uma vez que representa o foco da pesquisa, algumas regiões intermediárias de Mato Grosso foram desagregadas em regiões imediatas. As demais Unidades Federativas (UFs) brasileiras foram introduzidas no modelo com recorte estadual. Para os Estados Unidos, foi adotada a divisão do território em estados. As exceções ficam por conta de Minnesota, que foi desagregado de acordo com as regiões agrícolas do Nass, originando uma divisão entre oeste e centro-sul; e da região denominada Nordeste, que agrega os estados de Pensilvânia, Virgínia, Virgínia do Oeste, Nova York e Maryland. Para os demais países, não houve divisão regional.

Os dados referentes à quantidade de grãos produzida  $Q_i^S$  foram obtidos por meio da Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE<sup>9</sup> (vários anos) e do Nass,<sup>10</sup> para o Brasil e os Estados Unidos, respectivamente. Para os demais países, são provenientes do USDA. Não existem dados disponíveis sobre a quantidade de grãos demandada por regiões  $Q_i^D$ , sendo necessário estimá-la para os países que foram divididos em regiões. Conforme os dados do USDA,<sup>11</sup> 95,7% e 92,77% do consumo doméstico de soja no Brasil e Estados Unidos, respectivamente, são destinados à indústria processadora. Tendo em vista esse panorama, a demanda regional de soja foi obtida de acordo com a metodologia utilizada por Fuller (2001), Ojima (2004) e Costa (2007), os quais relacionam a demanda de soja em uma região à capacidade instalada de processamento do parque industrial nela existente. Os dados acerca da capacidade instalada de processamento, desagregados por regiões no Brasil, foram obtidos da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove), sendo que apenas a capacidade ativa foi considerada para o dimensionamento da demanda, realizado conforme a participação da capacidade de processamento local na capacidade total do país. Para os Estados Unidos, a capacidade de processamento regional foi mensurada a partir da Informa Economics (2016). Com relação aos dados sobre quantidade produzida e consumida nos outros países do modelo, todos os demais

9. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>.

10. Disponível em: <https://quickstats.nass.usda.gov/>.

11. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>.

dados foram obtidos da base do USDA.<sup>12</sup> Regiões nas quais o montante produzido foi inferior à quantidade processada foram classificadas como regiões de excesso de demanda. Em contrapartida, regiões em que a quantidade processada foi inferior ao montante produzido foram classificadas como regiões de excesso de oferta.

Os dados sobre o preço da soja foram obtidos junto a diversas fontes em periodicidade mensal e incorporados no modelo conforme a média das cotações para 2018. Para as regiões brasileiras, os dados utilizados são provenientes da Conab. Por sua vez, os preços da soja nas regiões norte-americanas foram obtidos por meio da base de dados do Nass. Para os outros países presentes no modelo, o preço local da soja foi extraído da base do sistema UN Comtrade,<sup>13</sup> mantido pela Organização das Nações Unidas (ONU); no caso do Paraguai, que é um país exportador, foi considerado o preço *free on board* (FOB), e para os demais países, que são importadores, foi admitido o preço *cost, insurance and freight* (CIF).

As curvas de oferta e demanda utilizadas no modelo foram assumidas como lineares e bem-comportadas, isto é, tendo coeficientes de inclinação positivo e negativo, respectivamente. As estimativas geradas a partir dos dados descritos resultaram em um padrão em que as regiões com maior capacidade de resposta da oferta à variação nos preços são regiões de expansão do cultivo da oleaginosa (destacadamente, os municípios de Sinop-MT, Barra do Garças-MT, Dourados-MS, Parecis-RO, bem como o estado do Pará), enquanto localidades tradicionais, tais como a região Sul, apresentaram maior inelasticidade. Esse panorama pode ser evidenciado pelo parâmetro  $\beta$  estimado, que teve média igual a 9 nas principais regiões produtoras de Mato Grosso (Sinop, Parecis e Barra do Garças), enquanto, nas localidades do Sul do país, esse parâmetro médio foi igual a 2,20.

Para mensurar o custo de transporte da soja entre cada par origem-destino, foram utilizados métodos específicos para cada país exportador, de modo a se considerarem as peculiaridades existentes. Para o Brasil, os custos de movimentação no modal rodoviário foram obtidos através do simulador de custo de transporte desenvolvido pela Empresa de Planejamento e Logística – EPL (2014). Adicionalmente, seguindo o normativo nº 30.202 da Conab, que trata do cálculo do custo operacional rodoviário de cargas agrícolas, foi aplicada uma sobretaxa adicional de 30% sobre o valor cobrado em US\$/ $(t \cdot km)$  na extensão percorrida em trechos com superfície não pavimentada. As informações sobre o tipo de superfície da via foram obtidas a partir de diversas fontes, tais como o Sistema Nacional de Viação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (SNV/DNIT), o visualizador geográfico VGEO/DNIT, os sistemas rodoviários estaduais (SREs) e demais fontes do setor. Por sua vez, o preço do frete para o modal rodoviário nos

12. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 18 out. 2019.

13. Disponível em: <https://comtrade.un.org/data/>. Acesso em: 22 out. 2019.

Estados Unidos foi estimado conforme os parâmetros informados pelo Agricultural Marketing Service (AMS) para 2018 (Olowolayemo, 2018).

No tocante ao modal ferroviário para o Brasil, as tarifas foram mensuradas a partir de dados obtidos através da Lei nº 12.527/2011, conhecida como Lei de Acesso à Informação (LAI). Por meio desse mecanismo, foram obtidas planilhas para cada ferrovia com dados anuais, desagregados por produto, contendo: a receita líquida da concessionária decorrente da operação de transporte; o montante transportado em toneladas; a distância média percorrida; e a quantidade em toneladas-quilometro-útil. Assim, o frete ferroviário em R\$/(t\*km) para cada ferrovia foi estimado mediante a relação a seguir.

$$Frete = \frac{\left( \frac{\text{Receita Líquida}}{\text{Quantidade Transportada}} \right)}{\text{Distância Média}} \quad (25)$$

O preço do frete por vagão, em cada rota nos Estados Unidos, foi obtido em consulta direta aos *sites* das principais companhias ferroviárias transportadoras de grãos naquele país: BNSF Railway, Union Pacific, Norfolk Southern Railway e CSX Transportation. Os preços utilizados nesta pesquisa referem-se a um comboio de 110 a 120 vagões do tipo C-113, conforme classificação da American Association of Railroads (AAR), perfazendo um total de aproximadamente 103,88 toneladas de soja por vagão (Neubauer, 2007).

Para o transporte hidroviário no Brasil, a taxa de frete foi calculada a partir do relatório *Estudo dos custos do transporte hidroviário no Brasil*, elaborado pela EPL (2015). Em relação ao modal hidroviário nos Estados Unidos, os operadores de barcas no sistema do rio Mississípi historicamente utilizam um método de porcentagem sobre uma tarifa-base (referência) para estabelecer a taxa de frete (Casavant *et al.*, 2010). A porcentagem média aplicada sobre a tarifa-base, em 2018, para cada terminal hidroviário, foi obtida por meio da base de dados da AMS.

Para incluir o custo do transbordo intermodal da carga no Brasil, foram utilizados os valores calculados pela EPL para a elaboração do Plano Nacional de Logística (PNL), que leva em consideração o tipo de transferência intermodal (rodo-hidroviário, rodoferroviário, hidroferroviário, entre outras combinações) (EPL, 2014). Em relação ao custo de transbordo intermodal da carga nos Estados Unidos, os valores utilizados na pesquisa são oriundos de Fellin *et al.* (2008), que especificaram o valor médio de embarque e desembarque em cada modal de transporte. Por sua vez, a elaboração da estimativa para o custo de transporte no Paraguai pode ser vista em Pais (2020). No tocante aos custos portuários, os valores atribuídos para as tarifas portuárias no Brasil são provenientes de

Silva Neto (2018), enquanto as tarifas portuárias nos Estados Unidos foram retiradas de Fellin *et al.* (2008). Finalmente, os valores para o frete marítimo são oriundos do USDA (Salin, 2019).

A metodologia adotada na pesquisa para mensurar a capacidade de movimentação das instalações portuárias é baseada naquela utilizada na elaboração dos planos mestres dos complexos portuários pela SNP, como subsídio para o Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP). A atenção principal é voltada para a capacidade da infraestrutura de atracagem, pois geralmente esta se constitui como o elo fraco do sistema e pelo fato de a sua expansão ser mais onerosa (Brasil, 2018).

A capacidade de movimentação de um trecho de cais  $j$  é definida para cada mercadoria  $i$ , sendo mensurada tendo em consideração conceitos como produtividade, utilização e nível de serviço, com uso da equação a seguir.

$$C_{i,j} = \frac{\rho_j A_j n_j}{T_{i,j}} \cdot D_{i,j} P_{i,j} \quad (26)$$

Na equação (26), os parâmetros necessários para cálculo estão a seguir descritos.

- 1)  $C_{i,j}$  – capacidade do trecho de cais (t/ano).
- 2)  $\rho_j$  – índice admissível de ocupação de cais.
- 3)  $A_j$  – ano operacional (dias) x tempo operacional por dia (horas).
- 4)  $n_j$  – número de berços.
- 5)  $D_{i,j}$  – demanda (t).
- 6)  $P_{i,j}$  – participação do trecho no cais (%).
- 7)  $T_{i,j}$  – [tempo operacional + tempo inoperante (h) + tempo entre atracações sucessivas (h)] x número de atracações =

$$\left[ \frac{\text{Lotemédio}(t)}{\text{Produtividade}(\frac{\text{ton}}{\text{h}})} + \text{Tempo inoperante}(h) + \text{Tempo entre atracações sucessivas}(h) \right] \times \frac{\text{Demanda}(t)}{\text{Lotemédio}} \quad (27)$$

Foram utilizados os parâmetros operacionais de 2018, obtidos por meio da base de dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (Antaq).<sup>14</sup> Nos casos em que a capacidade de movimentação estimada foi inferior à movimentação observada, admitiu-se que o nível de movimentação representou a capacidade máxima. Para os complexos portuários que recebem grãos oriundos da navegação

14. Disponível em: <https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/index.html#pt>.

interior, também foi mensurada a capacidade de desembarque da infraestrutura de acostagem destinada às barcas.

No tocante ao modal ferroviário, a capacidade de tráfego de trens na via permanente representa, atualmente, o ponto de estrangulamento do sistema ferroviário brasileiro. O que determina a capacidade de um trecho em uma ferrovia é o tempo que dois trens, em sentidos opostos, levam entre um pátio e outro (Pais, 2020). A capacidade do tráfego de trens nos trilhos das ferrovias brasileiras é mensurada em números de trens por dia, na declaração de rede anual publicada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). A partir desses dados, o cálculo de capacidade máxima de movimentação anual, em um determinado percurso ferroviário, foi realizado de acordo com a lógica a seguir.

$$cap.movimentação = mov. atual + (cap.trecho ocioso * trem tipo) * 365 \quad (28)$$

Na equação (28), *cap. movimentação* é a capacidade máxima de transporte de soja (em toneladas/ano); *mov. atual* é a movimentação de soja registrada em 2018 (em toneladas); *cap. trecho ocioso* é a capacidade (em número de trens por dia) do trecho com menor capacidade ociosa no percurso entre as duas estações de referência; e *trem tipo* é o valor em toneladas úteis (TU) transportadas no trem padrão da ferrovia.

Em relação aos Estados Unidos, foram adicionadas restrições de capacidade referentes ao sistema hidroviário do Mississípi e às regiões portuárias. No tocante à capacidade de navegação no rio Mississípi, conforme o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América,<sup>15</sup> no trecho denominado rio Alto Mississípi, foram construídos um total de 29 sistemas de barragens e represas entre Mineápolis-MN e Granite City-IL. O sistema de eclusas nº 27, localizado nas proximidades de Saint Louis, pode ser considerado o ponto crítico para a navegação nos rios Alto Mississípi, Ilinóis e Missouri, uma vez que todos os grãos que navegam a partir desses rios com sentido aos portos no golfo do México devem atravessá-lo. Dessa forma, a capacidade do sistema de eclusas nº 27 foi utilizada como referência para a capacidade de movimentação de grãos nos rios citados. A mesma regra foi utilizada para o rio Ohio, uma vez que os grãos embarcados nos terminais hidroviários (incluídos no modelo) no rio Ohio, com sentido aos portos do Golfo, devem necessariamente atravessar o sistema de eclusas nº 52, localizado a 23 milhas a montante de Cairo-IL. Deve-se ressaltar que não existem eclusas entre Cairo e os portos do Golfo. Portanto, a capacidade de movimentação no

15. Disponível em: <https://www.mvs.usace.army.mil/Portals/54/docs/recreation/rivers/NavFactSheets/05Dam%2027.pdf>.



sistema de eclusas nº 52 foi adotada como referência para estimar a capacidade de movimentação no rio Ohio (Fellin *et al.*, 2008).

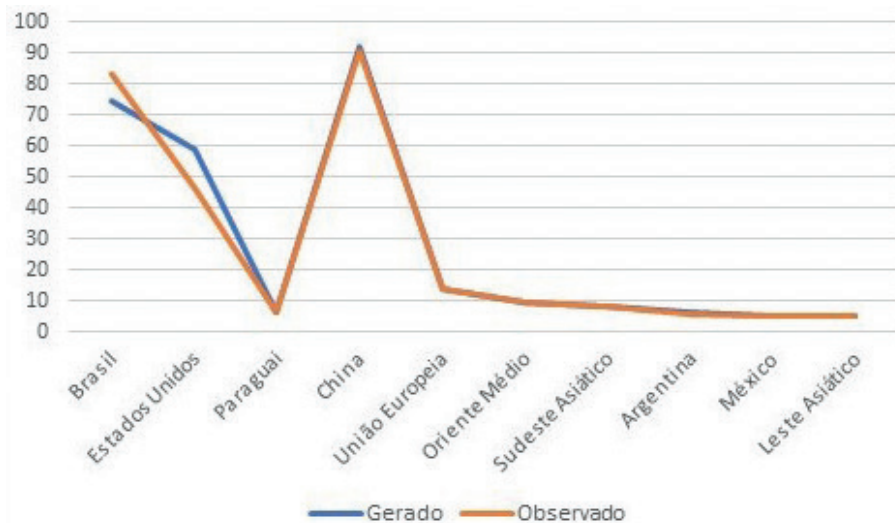
O método utilizado para estabelecer a capacidade de movimentação nas eclusas mencionadas nos parágrafos anteriores, e em quatro regiões portuárias norte-americanas consideradas no modelo (Golfo, Noroeste do Pacífico, Atlântico e Grandes Lagos), consistiu na análise de dados históricos sobre a movimentação anual de soja em cada uma dessas estruturas. Os dados utilizados foram disponibilizados pela Agricultural Marketing Service do USDA. A partir desse exame, a capacidade de escoamento de soja, em cada estrutura, foi considerada idêntica à quantidade de soja movimentada no ano de maior atividade.

### 3 RESULTADOS

O processo de validação utilizado para testar o modelo de equilíbrio espacial consiste na comparação entre os valores gerados para as variáveis de decisão, na solução do modelo, e os valores observados para essas mesmas variáveis em 2018. O modelo de otimização quadrática foi construído utilizando-se a linguagem de programação Python e resolvido por meio do pacote resolvidor Gurobi versão 9.0 (2015).

GRÁFICO 1

**Volume de soja exportado ou importado por região do modelo (2018)**  
(Em 1 milhão de toneladas)



Elaboração dos autores.

Obs.: 1. A comparação no gráfico é feita entre o comércio real e o gerado pelo modelo para cada região. Nas regiões exportadoras, a comparação é feita entre o montante exportado real e o gerado; e nas regiões importadoras, entre o montante importado real e o gerado.

2. A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Em relação ao comércio internacional, apenas Brasil e Estados Unidos apresentaram um desvio superior a 10%, comparando-se os dados reais *versus* aqueles estimados pela solução do modelo. Cabe ressaltar que as diferenças mencionadas têm relação direta com a guerra comercial entre Estados Unidos e China, que afetou de maneira substancial as exportações de soja dos Estados Unidos e do Brasil em 2018. Segundo o relatório de acompanhamento da safra de grãos de 2018, elaborado pela Conab, a guerra comercial entre Estados Unidos e China fez com que o volume esperado para a exportação de soja do Brasil, na safra de 2018, fosse extrapolado em mais de 7 milhões de toneladas, ao mesmo tempo que criou o maior estoque de passagem registrado na história dos Estados Unidos (Conab, 2018).

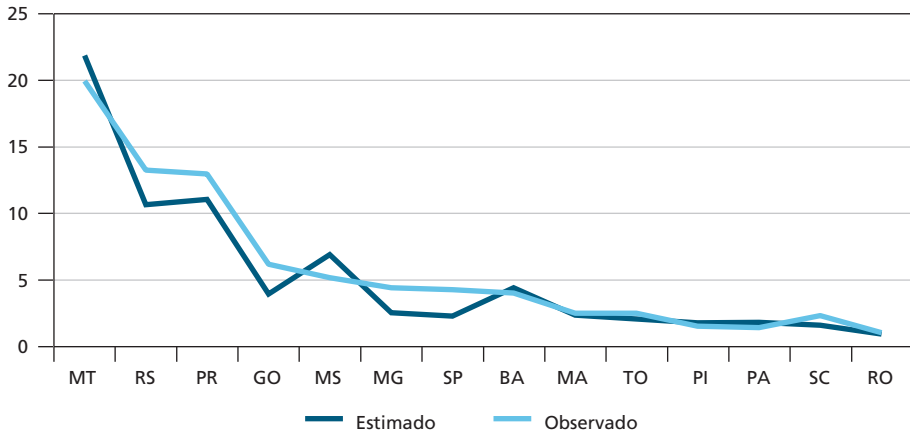
No tocante às exportações por UF, verificou-se uma alta correlação entre os dados observados e estimados, conforme se pode notar pelo valor do coeficiente de correlação de 0,968 e pelo gráfico 2. Em relação aos principais estados no mercado da oleaginosa, pode-se observar que o modelo superestima as exportações de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e subestima as exportações do Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Minas Gerais. Nesse sentido, cabe ressaltar que, segundo a Pesquisa de Estoques, elaborada pelo IBGE,<sup>16</sup> 60,5% do estoque brasileiro de soja estava concentrado nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná no último dia de 2017. Deve-se destacar ainda o possível impacto do comércio inter-regional, cuja inexistência de dados oficiais impossibilita o exercício de comparação. Cabe ressaltar que, na solução do modelo, os estados de Minas Gerais e Goiás foram responsáveis pelo suprimento de soja das regiões demandantes de Ribeirão Preto-SP e Uberlândia-MG, respectivamente, que são as mais deficitárias do Sudeste. Uma vez que os Estados Unidos não possuem dados oficiais sobre a exportação de grãos por UF, os exercícios de validação referentes à exportação por estado não puderam ser replicados para a logística norte-americana.

No tocante à comparação entre o fluxo de soja gerado pelo modelo para cada complexo portuário, conforme mencionado, devido à guerra comercial entre os Estados Unidos e a China, o modelo superestima as exportações norte-americanas de soja em 2018. Conseqüentemente, o modelo superestima o montante exportado na maioria das regiões portuárias norte-americanas, com exceção dos Grandes Lagos e Interior (remessas ferroviárias para países vizinhos, em especial o México).

---

16. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/259>. Acesso em: 24 out. 2024.

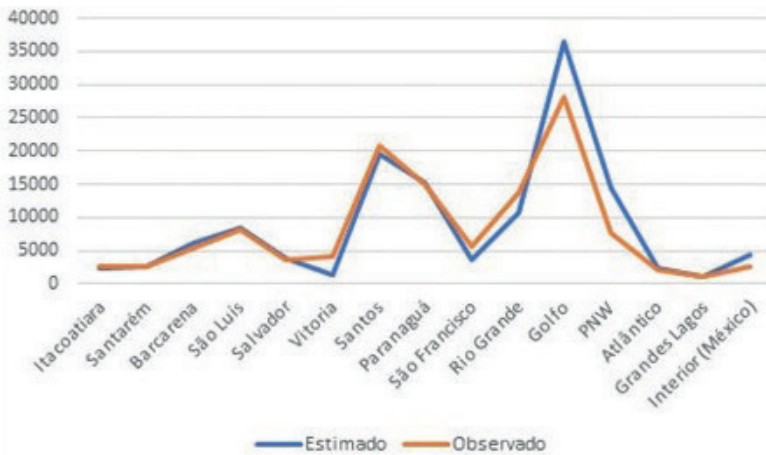
GRÁFICO 2

**Exportação de soja estimada e observada por estado brasileiro (2018)**  
(Em 1 mil toneladas)

Elaboração dos autores.

Em relação às exportações brasileiras de soja por porto, apesar de a guerra comercial subestimar as exportações brasileiras, existe uma alta aderência entre os dados gerados pelo modelo e os valores reais. O coeficiente de correlação entre os dois conjuntos de dados é de 0,955. O modelo subestima as exportações de soja por meio do complexo portuário de Santos em 1,231 milhão de toneladas (desvio de -5,94%). Todavia, o porto de Santos constitui-se como o principal porto brasileiro para a exportação da soja, em ambos os conjuntos de dados. No tocante às remessas de soja pelos portos do arco Norte, o modelo sobrestima o montante em 0,95 milhão de toneladas, indicando uma tendência de maior eficiência nessas rotas.

GRÁFICO 3  
**Exportação de soja por complexo portuário**  
 (Em 1 mil toneladas)



Elaboração dos autores.

Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

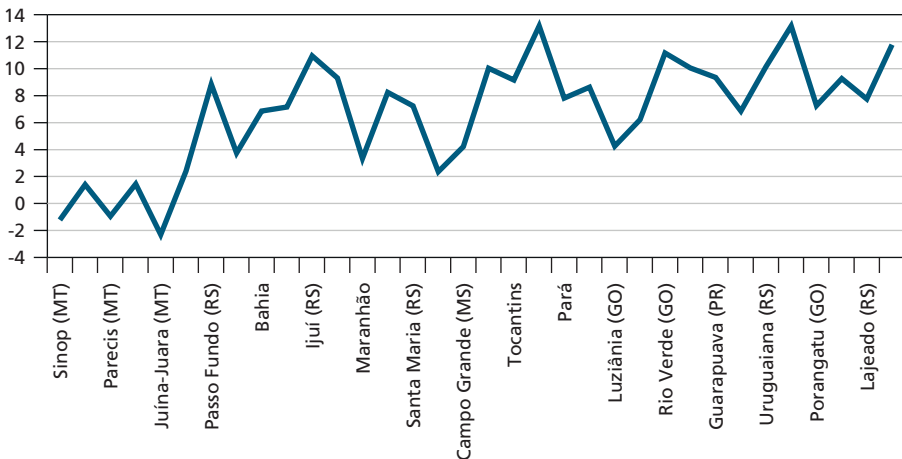
A base de dados do Ministério da Economia fornece informações sobre o estado de origem da soja exportada por meio de cada complexo portuário, possibilitando a comparação entre a rota ótima encontrada pelo modelo e o padrão de escoamento atualmente existente. Novamente, existe alta correlação entre os dados observados e gerados (coeficiente de correlação de 0,945). A importância dos portos do arco Norte para a exportação de soja de Mato Grosso fica evidente, com o modelo superestimando a participação desses terminais no escoamento da safra mato-grossense, em detrimento dos portos dos corredores de Paranaguá e Vitória. Entretanto, todas as restrições referentes à capacidade de escoamento dos terminais portuários do arco Norte são ativas na solução do modelo, indicando um ponto de estrangulamento para o sistema. A importância do complexo portuário de Santos para o escoamento da safra mato-grossense também deve ser ressaltada, uma vez que o referido porto aparece como a principal rota de escoamento, participando com um volume superior à metade do total exportado por Mato Grosso. Nesse corredor, o destaque é o terminal ferroviário de Rondonópolis, na malha da Rumo Malha Norte (RMN), cuja capacidade máxima de escoamento foi atingida na solução do modelo.

Quanto ao preço gerado, pode-se notar que o modelo superestima o preço da oleaginosa em 31 das 34 regiões brasileiras com excesso de oferta. As três regiões domésticas ofertantes que tiveram o preço subestimado pelo modelo são localizadas em Mato Grosso, de modo que os preços estimados para o estado apresentaram maior acurácia em relação aos preços gerados para as demais regiões. O coeficiente de correlação entre os preços gerados e observados para as regiões de oferta no Brasil é de aproximadamente 0,844; a média dos desvios foi 6,74%, com desvio-padrão de 4,08%.

GRÁFICO 4

**Desvio entre os preços estimados e observados para a soja nas regiões brasileiras de oferta (2018)**

(Em %)



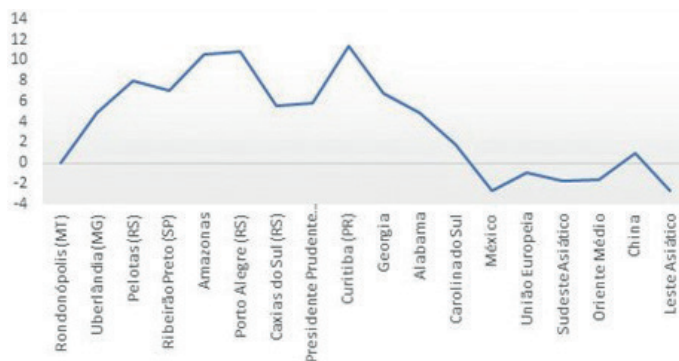
Elaboração dos autores.

O panorama encontrado para as regiões brasileiras de excesso de demanda é bastante similar àquele descrito no tocante às regiões brasileiras de excesso de oferta. Os preços gerados pelo modelo superestimam os preços coletados pela Conab em todas as regiões demandantes de soja, sendo que a média dos desvios foi de 7,4%, com desvio-padrão de 3,6%. Em relação às regiões norte-americanas de excesso de demanda, os preços gerados pelo modelo superestimam os preços coletados pelo Nass em todas as regiões consideradas. No tocante aos países importadores da oleaginosa, o modelo subestima o preço em quase todas as regiões consideradas (com exceção da China, que possui um leve desvio para cima, de 0,99%). Tendo em vista todas as regiões de demanda, o coeficiente de correlação entre os dados propiciados pelo modelo e os observados é de 0,90. A média dos erros foi de 3,83%, com desvio-padrão de 4,8%.

## GRÁFICO 5

**Desvio entre os preços estimados e observados para a soja, em cada região de demanda do modelo (2018)**

(Em %)



Elaboração dos autores.

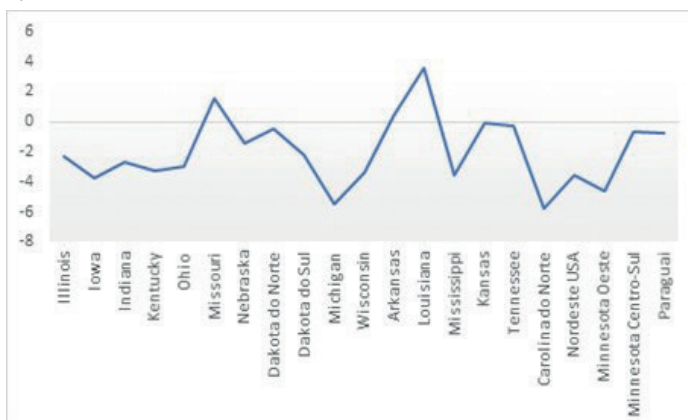
Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Finalmente, para a oferta estrangeira de soja, foi constatado que o modelo subestima os preços em 18 das 21 regiões ofertantes da oleaginosa. Novamente, a aderência entre os preços gerados pelo modelo e os preços observados pode ser considerada satisfatória (gráfico 6). O coeficiente de correlação entre os dois referidos conjuntos de dados é de 0,794; a média dos erros foi de -1,98%, com desvio-padrão de 2,3%.

## GRÁFICO 6

**Desvio entre os preços estimados e observados para a soja nas regiões norte-americanas de oferta (2018)**

(Em %)



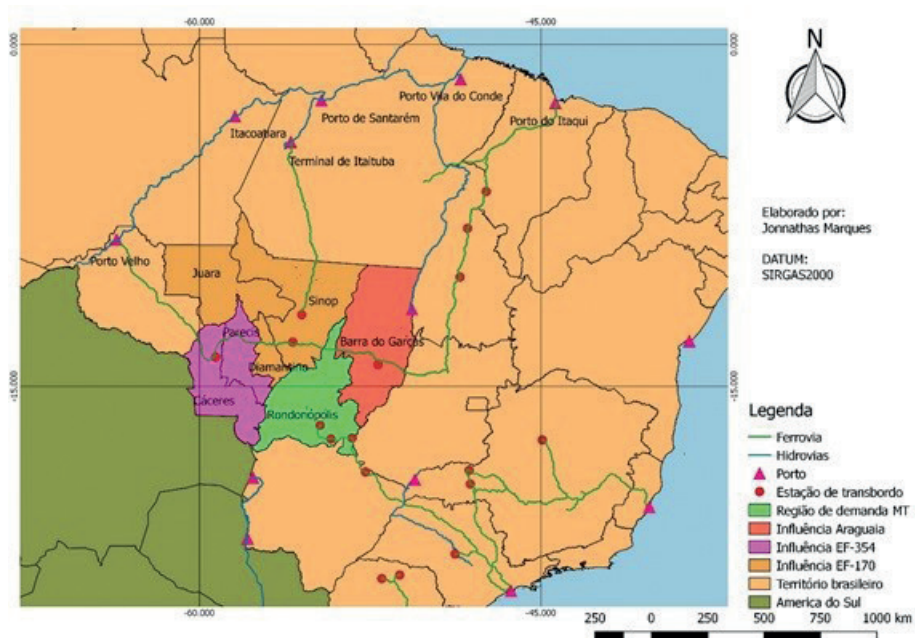
Elaboração dos autores.

Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

#### 4 SIMULAÇÕES

Conforme o mapa 2 indica, todas as obras de infraestrutura incorporadas ao modelo-base desviariam o fluxo de soja para as instalações portuárias do arco Norte. Entretanto, segundo explicitado no plano mestre dos portos (Brasil, 2018) e através da solução do modelo-base, em que todas as restrições referentes à capacidade de movimentação nos portos do arco Norte são ativas, fica evidente que, nas atuais condições, essas instalações portuárias não estariam preparadas para dar vazão ao maior fluxo de soja, gerado a partir da implantação da ferrovia ou hidrovia. Dada a situação de saturação da capacidade de movimentação nos portos do arco Norte, as restrições referentes à capacidade de movimentação nos complexos portuários de Santarém e Itaituba são relaxadas nos cenários que contêm a construção da Ferrogrão; as restrições referentes à capacidade de movimentação nos complexos portuários de Porto Velho, Itacoatiara e São Luís são relaxadas nos cenários que incluem a construção da Fico; e, finalmente, a restrição referente à capacidade de movimentação no complexo portuário de Barcarena é relaxada nos cenários que abrangem a hidrovia do rio Araguaia.

MAPA 2  
Regiões de influência de cada intervenção



Fonte: Pais (2020).

Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Os ganhos potenciais estimados, mediante as melhorias simuladas, podem ser observados por meio da tabela 1. Nesse sentido, a viabilização da EF-170, em conjunto com a expansão dos portos de Itaituba e Santarém, no Pará, apresenta o maior impacto entre as simulações individuais, elevando a receita anual do comércio de soja em Mato Grosso em um montante superior a US\$ 785 milhões. Esse resultado deve-se ao fato de a EF-170 ser a obra que proporcionaria o maior ganho econômico (aumento no preço recebido e quantidade comercializada) para a região intermediária de Sinop (dividida em Sinop e Juara, neste estudo), que detém 42,46% da oferta de soja de Mato Grosso. Além disso, a implantação da EF-170 ainda ocasionaria o melhor resultado econômico para a região imediata de Diamantino, que detém aproximadamente 9,78% da oferta de soja do estado. Os resultados também mostram que a variação percentual nos preços recebidos pelos produtores foi, em média, 3,5 vezes maior do que o incremento na oferta gerado pela valorização da produção. Nesse caso, pode-se concluir que aproximadamente 75% do incremento na receita dos produtores é devido ao aumento no preço recebido pela soja, com a parcela restante sendo originada do crescimento da oferta.

A EF-354 geraria o maior incremento na receita da venda da soja *in natura* para o oeste de Mato Grosso, destacando-se as regiões de Parecis e Cáceres, que somadas detém 20,05% da oferta estadual de soja, enquanto a hidrovia do Araguaia propiciaria o maior ganho à região intermediária de Barra do Garças, que detém 27,71% da oferta mato-grossense de soja. É importante destacar que a implantação individual da EF-170 provocaria um incremento na renda do oeste de Mato Grosso 15,90% menor em relação àquele gerado pela viabilização individual da EF-354 (diferença de aproximadamente US\$ 24,7 milhões por ano). Por sua vez, a implantação individual da EF-354 geraria um incremento 45,11% inferior para o centro-norte de Mato Grosso (Sinop, Juara e Diamantino), em relação àquele advindo da implantação individual da EF-170.

TABELA 1

**Variação na receita ( $\Delta Y$ ),<sup>1</sup> na quantidade ofertada ( $\Delta S$ )<sup>2</sup> e no preço da soja ( $\Delta P$ )<sup>3</sup> gerada pelas intervenções**

Regiões de oferta	EF-170 + portos			EF-354 + portos			Araguaia + portos		
	$\Delta P$	$\Delta S$	$\Delta Y$	$\Delta P$	$\Delta S$	$\Delta Y$	$\Delta P$	$\Delta S$	$\Delta Y$
Sinop-MT	42,70	318,2	482,04	23,08	171,9	257,19	5,46	40,8	60,16
Barra do Garças-MT	2,10	21,9	20,43	4,98	51,6	48,35	21,30	220,0	210,87
Parecis-MT	26,86	98,7	124,64	31,11	114,4	144,90	5,46	20,1	24,93
Juara-MT	41,19	27,6	56,27	29,57	19,8	40,16	5,46	4,1	7,47
Diamantino-MT	22,49	48,8	67,67	11,80	25,6	35,24	5,46	11,9	16,23
Cáceres-MT	19,74	29,8	34,21	25,22	38,0	43,91	5,46	8,6	9,44

(Continua)



(Continuação)

Regiões de oferta	EF-170 + portos			EF-354 + portos			Araguaia + portos		
	$\Delta P$	$\Delta S$	$\Delta Y$	$\Delta P$	$\Delta S$	$\Delta Y$	$\Delta P$	$\Delta S$	$\Delta Y$
Total de Mato Grosso	-	544,9	785,28	-	421,3	569,93	-	305,5	329,02
Região Sul	-1,90	-42,3	-62,5	-1,48	-34,8	-49,4	-1,01	-24,1	-33,91
GO-MS	-1,90	-42,7	-38,3	-1,48	-37,0	-37,0	-1,01	-27,7	-22,05
MA-TO-PI-BA	-1,54	-10,6	-20,06	-1,12	-14,1	-16,73	-0,66	-8,1	-9,81
MG-SP	-1,90	-13,2	-15,75	-1,48	-10,3	-12,26	-1,01	-7,2	-8,42
Pará	2,10	0,1	3,91	4,98	39,4	23,42	5,48	44,9	26,73
Rondônia	19,74	1,5	19,19	23,02	28,8	31,40	5,46	6,84	7,330
Brasil (exclusive Mato Grosso)	-	-	-103,85	-	-	-52,77	-	-	-40,12
Total do Brasil	-	437,7	671,60	-	393,3	517,17	-	290,2	288,90
Estados Unidos	-1,90	-251,1	-200,42	-1,48	-201,8	-155,26	-1,01	-130,4	-105,45
Paraguai	-1,90	-104,1	-24,96	-1,48	-27,5	-19,43	-1,01	-18,9	-13,34

Elaboração dos autores.

Notas: <sup>1</sup> Em US\$ 1 milhão.<sup>2</sup> Em 1 mil toneladas.<sup>3</sup> Em US\$/t.

Pode-se destacar ainda a situação complexa da região intermediária de Barra do Garças, que apresentaria ganhos modestos mediante a implantação das duas ferrovias, devido à elevada distância rodoviária até o transbordo intermodal (no caso da EF-170) e à elevada extensão do percurso ferroviário até um porto (no caso da EF-354). Desse modo, a hidrovía do Araguaia seria a única obra com alto potencial de impacto para a referida região, ao passo que não exerceria impacto relevante sobre as demais regiões do estado.

O panorama encontrado, considerando-se as regiões de demanda, é similar àquele descrito para as regiões de oferta. A implantação individual da EF-170 geraria o maior impacto econômico (nesse caso, referente às reduções no preço pago e na despesa com a aquisição da oleaginosa). Chamam atenção os resultados encontrados para a Argentina e a região de Rondonópolis. No caso da Argentina, a redução do preço da soja seria acompanhada pelo aumento das despesas com a compra do produto. Esse resultado decorre de o aumento da quantidade adquirida mais que compensar a redução no preço, devido a uma maior elasticidade-preço excedente verificada para aquele país. Em termos econômicos, esse resultado indica que a Argentina tenderia a se especializar ainda mais no comércio dos derivados de soja (farelo e óleo), em detrimento do comércio de soja *in natura*. No tocante à região de Rondonópolis, o aumento no preço da soja, devido à menor disponibilidade do produto, seria acompanhado pela redução da despesa com a aquisição da oleaginosa, devido ao fato de a redução na quantidade demandada

mais que compensar o aumento no preço. Em uma perspectiva econômica, esse resultado indica que a região de Rondonópolis poderia ser induzida a se especializar no comércio da soja *in natura*, uma vez que o aumento no preço da oleaginosa aumenta o custo de oportunidade de se consumir o produto internamente. Ainda se pode destacar a robusta economia gerada para a China, devido ao fato de esse país demandar anualmente volumes elevados de soja *in natura* para abastecer sua indústria processadora.

TABELA 2

**Varição na despesa ( $\Delta Y$ ),<sup>1</sup> na quantidade demandada ( $\Delta D$ )<sup>2</sup> e no preço ( $\Delta P$ )<sup>3</sup> gerada pelas intervenções**

Regiões de demanda	EF-170 + portos			EF-354 + portos			Araguaia + portos		
	$\Delta P$	$\Delta D$	$\Delta Y$	$\Delta P$	$\Delta D$	$\Delta Y$	$\Delta P$	$\Delta D$	$\Delta Y$
China	-1,90	123,7	-122,48	-1,48	96,1	-95,28	-1,01	65,1	-65,34
União Europeia	-1,90	22,0	-18,11	-1,48	17,1	-14,08	-1,01	11,6	-9,66
Oriente Médio	-1,90	16,8	-11,36	-1,48	13,1	-8,83	-1,01	8,8	-6,06
Sudeste Asiático	-1,90	15,2	-8,90	-1,48	11,8	-6,92	-1,01	8,0	-4,74
México	-1,90	7,1	-6,43	-1,48	5,5	-5,00	-1,01	3,8	-3,43
Leste Asiático	-1,90	9,6	-5,53	-1,48	7,4	-4,30	-1,01	5,1	-2,95
Argentina	-1,90	111,2	30,95	-1,48	87,4	24,12	-1,01	59,9	16,58
Rondonópolis-MT	20,97	-168,3	-35,95	11,80	-94,8	-19,37	5,46	-43,8	-8,68
Brasil (exclusive Mato Grosso)	-1,90	19,6	-2,34	-1,48	14,1	-1,76	-1,01	10,4	-1,37
Demanda dos Estados Unidos	-1,90	10,8	-2,58	-1,48	6,4	-1,93	-1,01	6,2	-1,21

Elaboração dos autores.

Notas: <sup>1</sup> Em US\$ 1 milhão.

<sup>2</sup> Em 1 mil toneladas.

<sup>3</sup> Em US\$/t.

Finalmente, foram utilizados indicadores de viabilidade econômica, com o objetivo de se verificar a exequibilidade das melhorias no sistema de transporte apenas com o aumento do lucro gerado no comércio da oleaginosa. Esses indicadores foram obtidos a partir do confronto entre o *capital expenditure*<sup>17</sup> (*Capex*) projetado para a viabilização de cada intervenção, apresentado em Pais (2020), e o fluxo de caixa assumido igual ao aumento estimado no lucro das regiões estaduais de Mato Grosso que enviariam remessas de soja por meio da nova estrutura. Para estimar o aumento no lucro das regiões mato-grossenses, foi necessário inicialmente estimar o aumento no custo de produção devido às alterações proporcionadas pela nova infraestrutura. Para estimar o aumento no custo, foram utilizados os

17. O *Capex* representa todos os custos relacionados à aquisição de equipamentos e instalações que são necessários para a implantação de um empreendimento.

dados de custo médio de produção de soja nas regiões de oferta de Mato Grosso em 2018, mensurado em US\$ 220,71 por tonelada pela Conab. Em seguida, foi assumida uma relação linear entre o aumento da quantidade produzida e do custo de produção. O aumento no lucro foi obtido a partir da diferença entre o aumento na receita e o aumento no custo de produção.

No tocante às premissas assumidas, destaca-se que o investimento seria realizado integralmente no primeiro ano, considerando-se uma duração de cinco anos para a realização da obra, sendo a duração da concessão de 35 anos. O investimento necessário para viabilizar as obras de infraestrutura foram propostos a partir dos documentos de EVTEA elaborados para esses empreendimentos (Pais, 2020). Em seguida, o fluxo de soja em cada porto, gerado pela solução do modelo (relaxando-se a restrição de capacidade), foi comparado com a capacidade atual de movimentação na instalação portuária, e o investimento necessário para viabilizar as ampliações portuárias necessárias para sanar o déficit de capacidade que pode surgir foi estimado a partir da metodologia apresentada em EPL (2015).

**TABELA 3**  
**Indicadores de viabilidade econômica para cada simulação**

Projeto	Investimento (US\$)	Payback descontado (anos)	TIR (%)	VPL (US\$)
EF-170 (Ferrogrão)	4.815.505.121,71	17,49	7,92	3.508.371.693,64
EF-170 + Araguaia	8.188.089.585,64	24,76	5,74	2.136.804.007,13
EF-354 (Fico)	5.352.855.867,11	26,27	5,44	1.099.543.631,54
EF-170 + EF-354	9.117.480.006,86	32,43	4,53	415.826.432,51
EF-354 + Araguaia	8.801.913.747,66	41,68	3,70	-750.673.686,39
EF-170 + EF-354 + Araguaia	12.564.348.571,99	49,27	3,28	-1.853.460.652,52
Hidrovia do Araguaia	3.761.869.932,30	> 100	1,3	-777.172.775,43

Elaboração dos autores.

Obs.: TIR – taxa interna de retorno; VPL – valor presente líquido.

Assumindo-se uma taxa mínima de atratividade de 4,25% (taxa Selic vigente naquele momento), os resultados da tabela 3 tornam evidente que apenas o aumento no lucro dos produtores de soja de Mato Grosso poderia viabilizar os investimentos necessários para a implantação de diversas intervenções no sistema viário dedicado à exportação dos grãos. Os indicadores econômicos obtidos guardam relação direta com o aumento gerado para a receita, com a implantação individual da EF-170 propiciando os indicadores mais satisfatórios, seguida da implantação conjunta da EF-170 e da hidrovia do Araguaia (devido ao caráter de complementação da logística estadual existente entre essas duas intervenções).

A implantação individual da EF-354 também geraria resultados satisfatórios, sendo a opção por este investimento mais abrangente do que a EF-170, pois permitiria embarcar a soja produzida a partir de todas as regiões estaduais. Entretanto, devido ao seu traçado transversal, a viabilização da EF-354 até o complexo portuário de Porto Velho-RO aumentaria a distância ferroviária percorrida em relação à EF-170 (traçado longitudinal) para as regiões centrais de Mato Grosso. Adicionalmente, a extensão do trajeto percorrido na navegação interior até o oceano, a partir de Porto Velho-RO (rio Madeira), é maior em relação àquele com origem em Itaituba-PA (rio Tapajós).

## 5 CONCLUSÃO

Nossa pesquisa buscou ilustrar a importância e a viabilidade econômica de se aproximarem os terminais de transbordo intermodal das regiões produtoras de soja de Mato Grosso. Os resultados sugerem que o aumento na receita da soja que os produtores do estado poderiam lograr, a partir da redução do custo de transporte, seria compatível com o investimento necessário para viabilizar as intervenções planejadas na infraestrutura de transporte, indicando que os produtores agrícolas de Mato Grosso devem considerar uma organização capaz de manter o controle dessas ferrovias (semelhante à mineradora Vale S.A. e às ferrovias utilizadas no escoamento do minério de ferro). Uma vez que as novas infraestruturas desviam o fluxo de grãos para os portos do arco Norte, tornou-se evidente que esses devem ter sua capacidade de movimentação expandida, para não se tornarem um ponto de estrangulamento do sistema. As grandes dimensões territoriais de Mato Grosso tornam heterogêneos, entre as regiões mato-grossenses, os possíveis ganhos gerados por uma nova infraestrutura específica (entre aquelas com EVTEA elaborado ou em elaboração). Nesse sentido, este estudo indicou que a EF-170 possui o maior potencial de impacto para o estado, por beneficiar, em maior grau, as localidades com maior escala produtiva (região de Sinop), além de propiciar aumento aproximado no lucro para os produtores no oeste do estado (regiões de Parecis e Cáceres) em relação àquele ocasionado pela viabilização da EF-354. A situação é mais complexa para o nordeste de Mato Grosso, onde a hidrovia do Araguaia é a única solução relevante, sendo, no entanto, uma intervenção altamente especializada que não traz benefícios relevantes para as demais regiões.

Dado que os estudos relacionados aos impactos socioambientais dessas intervenções estão adiantados, tendo sido concluído o referente à implantação da EF-170, existe uma expectativa de que o gargalo logístico evidenciado ao longo do texto seja atenuado. Como agenda de pesquisa, fica a sugestão de se incluir a dimensão temporal no modelo, possibilitando considerar os estoques, aprimorando-se o cálculo dos indicadores financeiros, uma vez que, nesta pesquisa, estes são baseados em uma solução gerada para um modelo construído levando em consideração um

único ano-base. Ademais, deve-se considerar a possibilidade de incluir no modelo outros produtos relevantes para a economia mato-grossense.

Cumpra também ressaltar que, além das intervenções logísticas, devem-se coordenar ações entre os diversos órgãos públicos e civis, para que os impactos sobre o desmatamento e a ocupação ilegal de terras na Amazônia sejam minimizados. Finalmente, é importante ressaltar as limitações da pesquisa, visando fomentar discussões para maior enriquecimento da literatura sobre o tema. A função objetivo apresentada para o modelo de equilíbrio espacial de preços sustenta a hipótese de competição perfeita nas regiões produtoras e consumidoras, de modo que, individualmente, nenhum agente é capaz de influenciar o equilíbrio de mercado, concomitante a uma visão de otimização do custo total de transporte pela ótica do sistema, equivalente à existência de um planejador central do sistema de transportes ou um monopolista. No entanto, existem diversos arranjos possíveis de concorrência, tanto na oferta (monopólios e oligopólios) quanto na demanda (monopsônio e oligopsônio), que devem ser abordados e incorporados (Harker, 1986). Além disso, há de se ressaltar que os *traders* concentram bastante poder no mercado da oleaginosa, de modo que sua influência poderia diluir os ganhos de receita entre os diversos atores (Harker, 1988). Essas condições podem afetar diretamente a ideia central apresentada de que os produtores podem financiar obras de infraestrutura de escoamento dos grãos de forma rentável, uma vez que os indicadores de viabilidade econômico-financeira apresentados atribuíam a estes todo o aumento da receita oriundo do ajuste gerado pelo menor custo de transporte.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Corredores logísticos estratégicos: complexo de soja e milho**. Brasília: MTPA, 2017. v. 2.
- BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Relatório de metodologia: planos mestres**. Brasília: MTPA, 2018.
- CASAVANT, K. *et al.* **Study of rural transportation issues**. Washington: USDA, abr. 2010.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, dez. 2018. v. 6. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/23679\\_041c465fb71e41cf382825c6b8c43623](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/23679_041c465fb71e41cf382825c6b8c43623).
- COSTA, R. F. **The impacts of improving Brazil's transportation infrastructure on the world soybean market**. 2007. 133 f. Thesis (Master's Degree) – Texas A&M University, College Station, 2007. Disponível em: <https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstreams/813900c5-d372-472c-b5fd-69ade394427c/download>.

EPL – EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **Estudo dos custos do transporte hidroviário no Brasil**: elaboração de ferramenta de simulação – relatório 3. Brasília: EPL, 2015. Disponível em: [https://www.epl.gov.br/html/objects/\\_downloadblob.php?cod\\_blob=5327](https://www.epl.gov.br/html/objects/_downloadblob.php?cod_blob=5327).

EPL – EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **Manual da simulação dos custos de transporte e transbordo de cargas**. Brasília: EPL, 2014.

FELLIN, L. *et al.* The Upper Mississippi and Illinois rivers as grain transport arteries: a spatial equilibrium analysis. **Journal of the Transportation Research Forum**, v. 47, n. 2, p. 73-88, 2008.

FULLER, S. W. *et al.* **Effect of improving South American transportation system on U.S. and South American corn and soybean economies**. Washington: USDA, out. 2001, 85 p.

GARDINER, W. H.; RONINGEN, V. O.; LIU, K. **Elasticities in the trade liberalization database**. Washington: Department of Agriculture, 1989. (Economic Research Service Staff Report, n. 89).

HARKER, P. T. Alternative models of spatial competition. **Operations Research**, v. 34, n. 3, p. 410-425, jun. 1986.

HARKER, P. T. Multiple equilibrium behaviors on networks. **Transportation Science**, v. 22, n. 1, p. 39-46, fev. 1988.

HIJJAR, M. F. **Logística, soja e comércio internacional**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974/2018.

IMEA – INSTITUTO MATO GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Entendendo o mercado da soja**. In: WORKSHOP JORNALISMO AGROPECUÁRIO, 2015, Cuiabá, Mato Grosso. Cuiabá: Imea, jun. 2015.

INFORMA ECONOMICS. **Farm to market**: a soybean's journey from field to consumer. Memphis: Informa Economics, ago. 2016.

IQBAL, M. Z.; BABCOCK, B. A. Global growing area elasticities of key agricultural commodities estimated using dynamic heterogeneous panel methods. **Agricultural Economics**, v. 6, n. 6, p. 681-690, nov. 2018.

NERLOVE, M. (Ed.). **The dynamics of supply**: estimation of farmers response of price. Baltimore: John Hopkins Press, 1958.

NEUBAUER, E. A. **Guides to car types codes**. [s.l.]: [s.n.], 2007. Disponível em: <https://eaneubauer.ipower.com/type.pdf>.

OJIMA, A. **Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira**: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de Campinas, Campinas, São Paulo, 2004.

OLOWOLAYEMO, S. **Grain truck and ocean rate advisory**: quarterly updates. Washington: Agricultural Marketing Service, 2018. (Grain Transportation Quarterly Updates). Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/GTOR4thQtr2018Quarterly.pdf>.

ORCUTT, G. H. Measurement of price elasticities in international trade. **The Review of Economics and Statistics**, v. 32, n. 2 p. 117-132, maio 1950.

PAIS, J. M. **Efeitos das melhorias no sistema de transportes sobre o escoamento da soja do Mato Grosso**: uma aplicação do modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática. 2020. 197 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Sociais e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, Mariana, Minas Gerais, 2020.

SALIN, D. **Soybean transportation guide**: Brazil 2019. Washington: USDA, jul. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.9752/TS048.07-2019>.

SAMUELSON, P. A. Spatial price equilibrium and linear programming. **The American Economic Review**, v. 42, n. 3, p. 283-303, jun. 1952.

SILVA NETO, S. **Impactos de investimentos em infraestrutura logística na cadeia de grãos no Brasil**: uma aplicação de programação linear. 112 f. 2018. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2018.

WANKE, P. **Estratégia de posicionamento logístico**: conceitos, implicações e análise da realidade brasileira. Rio de Janeiro: UFRJ, 2001.

#### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Declaração de rede – 2018. **Gov.br**, 29 dez. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/declaracao-de-rede>.

FAPRI – FOOD AND AGRICULTURAL POLICY RESEARCH INSTITUTE. **Documentation of the Fapri modeling system**. Springfield: University of Missouri, 2004.

FELLIN, L.; FULLER, S. Effect of proposed waterway user tax on U.S. grain flow patterns and producers. **Journal of the Transportation Research Forum**, v. 36, n. 2, p. 11-25, jun. 1997.

FLEURY, F. **A infraestrutura e os desafios logísticos das exportações brasileiras**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

FULLER, S. W.; FELLIN, L.; ERIKSEN, K. **Panama Canal: how critical to U.S. grain exports?** *Agribusiness*, v. 16, n. 4, p. 435-455, 2000.

GRAIN transportation report datasets. **Agricultural Marketing Service**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/services/transportation-analysis/gtr-datasets/>.

SALIN, D. L.; AGAPI, S. **The impact of infrastructure and transportation costs on U.S. soybean market share: an updated analysis from 1992-2017**. Washington: USDA, out. 2018. Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/SoybeanMarketShare19922017.pdf>.

SHEI, S.-Y.; THOMPSON, R. L. The impacts of trade restrictions on price stability in the world wheat market. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 59, n. 4, p. 628-638, nov. 1977.

TAKAYAMA, T.; JUDGE, G. G. (Ed.). **Spatial and temporal price and allocation models**. Amsterdã: North Holland Publishing, 1971.

Data da submissão: 8 nov. 2023.

Primeira decisão editorial em: 22 jan. 2024.

Última versão recebida em: 19 fev. 2024.

Aprovação final em: 27 fev. 2024.