

FERROGRÃO: IMPACTOS ECONÔMICOS E A LOCALIZAÇÃO ÓTIMA DO TERMINAL DE TRANSBORDO¹

Fernando Vinícius da Rocha^{a*}, José Vicente Caixeta Filho^a

^aGrupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG)
Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba - SP, Brasil

Recebido 18/12/2017, aceito 27/11/2018

RESUMO

Dado a existência de uma demanda por soluções logísticas de menor custo por parte do agronegócio brasileiro, diversos projetos de infraestrutura têm sido elaborados. A Ferrogrão é um dos projetos atualmente discutidos, o qual está relacionado à construção de uma ferrovia entre os estados do Mato Grosso e Pará. O presente trabalho analisa os impactos econômicos deste projeto, baseado em um modelo de programação linear inteira mista. Os resultados indicam que o município de Sinop (MT) para a construção do terminal de transbordo dessa ferrovia é o que mais contribui para a redução dos custos de transporte entre os municípios produtores e centros consumidores. O trabalho mostra também, como contribuição para a literatura acadêmica, que o potencial de redução de custos de transporte com a presença da Ferrogrão é superior R\$ 38,00 por tonelada de grãos exportada em cenários com capacidades operacionais irrestritas e que a área de influência dessa ferrovia se concentra nos municípios da região central do Estado. Adicionalmente, os resultados também evidenciam a necessidade de se aumentar a capacidade de exportação dos portos da região Norte do país, como forma de fomentar a utilização dessa infraestrutura.

Palavras-chave: Ferrogrão, Exportação de grãos, Programação linear, Agronegócio.

ABSTRACT

Given the existence of a demand for cheaper transportation solutions by Brazilian agribusiness, several infrastructure projects have been discussed. Ferrogrão is one of these projects, which is related to the construction of a railroad between Mato Grosso and Pará states. This paper analyzes the economic impacts of this project, based on a mixed integer linear programming model. The results indicate the municipality of Sinop (MT) as the optimal location for the transshipment terminal – with a bigger potential for cost reduction. The paper also shows that R\$ 38.00 per ton is the potential for transportation costs reduction by the usage of Ferrogrão by Mato Grosso's exporters and the area of influence of the railroad is related to the cities located in the central region of the state. The paper also highlighted the need for investments in order to increase the northern region ports capacity, as a way to increase the potential usage of Ferrogrão.

Keywords: Ferrogrão, Grains export flows, Linear programming, Agribusiness

*Autor para correspondência. E-mail: fernando.vinicius.rocha@usp.br
DOI: 10.4322/PODes.2018.008

¹Todos os autores assumem a responsabilidade pelo conteúdo do artigo.

1. Introdução

O agronegócio brasileiro é responsável por 25% do Produto Interno Bruto (PIB) do país CEPEA (2016). Dados do CEPEA (2016) apontam para um crescimento acumulado de 4,28% no PIB desse setor em 2016 em decorrência, entre outros fatores, da desvalorização cambial e os elevados volumes exportados. Dentro deste setor destaque é feito à cadeia da soja, na qual 67,17 milhões de toneladas do complexo soja foram exportadas em 2016 (MDIC, 2016) e historicamente tem sido uma cadeia relevante para a geração de divisas ao país (Silva et al., 2011). Quanto à cadeia do milho, a produção nacional é da ordem de 85 milhões de toneladas (IBGE, 2015), sendo 28,9 milhões de toneladas a quantidade exportada em 2016 (MDIC, 2016).

De todo o volume desses grãos comercializado pelo Brasil, o Mato Grosso se apresenta como o principal estado produtor e exportador. Distante dos principais portos exportadores do país, os custos logísticos que incidem sobre essas duas cadeias agroindustriais têm impactos significativos na competitividade destas.

Segundo Caixeta-Filho (2001), o termo logística pode ser definido como fazer com que os produtos cheguem no lugar certo, na hora certa, em condições adequadas e que se gaste o menos possível com isso. O estudo da logística, portanto, compreende as atividades de transporte, armazenagem e distribuição, sendo os modais rodoviário, ferroviário e hidroviário os utilizados no transporte da soja (Caixeta-Filho et al., 1998).

Em uma análise do transporte pelo modal rodoviário, os fluxos de exportação do Mato Grosso via Porto de Santos tem impacto significativo na receita dos exportadores. A elevada demanda pelo serviço de transporte, principalmente no período de colheita, faz com que o custo desse serviço passe a representar até 35% do preço da soja no mercado internacional (Silva-Neto et al., 2014). Dados mais recentes do Sistema de Informações de Armazenagem (SIARMA, 2017) mostram que no ano de 2016 o preço do transporte rodoviário para a exportação de soja do Mato Grosso via Porto de Santos chegou a representar 27% do preço do produto praticado no mercado internacional, dependendo do mês de colheita e do mês de comercialização. Deve-se ainda acrescentar os custos portuários (até 3%) e os custos de armazenagem (até 2%) como impactantes na lucratividade dessa atividade agrícola (SIARMA, 2017).

O baixo valor agregado da soja e do milho no mercado, a necessidade de percorrer longas distâncias até os portos das regiões Sul e Sudeste e a baixa capacidade estática para o armazenamento da produção estão entre as causas da perda de competitividade dos grãos mato-grossense no mercado internacional.

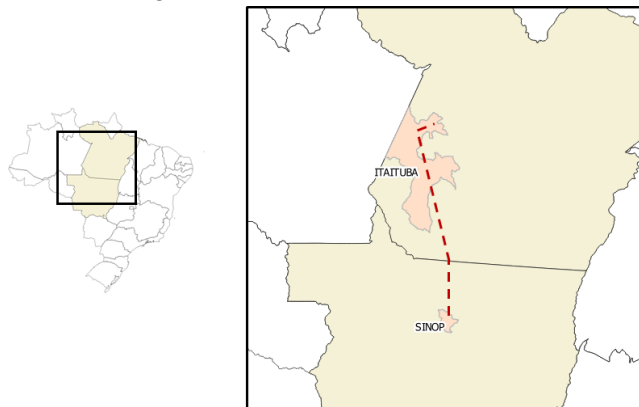
O transporte rodoferroviário da soja e do milho no Mato Grosso, a partir da utilização do Terminal Intermodal de Rondonópolis, é tido como uma opção logística estratégica para os fluxos de exportação via Porto de Santos, dado o seu potencial para redução dos custos logísticos. Com o início das atividades no ano de 2012, o terminal localizado no município de Rondonópolis (MT) atualmente é a principal infraestrutura do transporte ferroviário para as movimentações de soja do estado do Mato Grosso, com capacidade anual de movimentação de cerca de 15 milhões de toneladas de grãos (soja, milho e farelo de soja).

Uma série de investimentos tem sido realizados nos últimos anos de forma a viabilizar fluxos de exportação de grãos a partir da utilização dos portos da região Norte do país. Destaque é dado aos portos de Itacoatiara/Manaus (AM), Santarém (PA), Barcarena (PA), São Luís (MA) e Salvador (BA) que compõem o que se denomina de “Arco Norte”. Tais portos, em conjunto, foram responsáveis por exportar aproximadamente 18,1 milhões de toneladas de soja e milho no ano de 2016 (MDIC, 2016). Juntas, tais infraestruturas portuárias têm se mostrado como soluções logísticas menos custosas para a exportação de grãos de uma série de municípios do Mato Grosso e do Pará em comparação com as vias tradicionais de exportação de grãos (Rocha et al., 2017), além dos benefícios ambientais trazidos a partir da redução das emissões de CO₂ na operação de transporte de grãos (João et al., 2016).

Em linha com o objetivo de reduzir os custos logísticos da região Centro-Oeste para a exportação de granéis agrícolas, a Ferrogrão (EF-170) foi inserida na segunda etapa do Programa de Investimento em Infraestrutura (PIL), no ano de 2015 (ANTT, 2015).

Originalmente o projeto visava a construção de uma ferrovia entre os municípios de Lucas do Rio Verde (MT) e Itaituba (PA), se conectando neste ao terminal hidroviário, de onde a carga é transportada por barcaças até os portos de Santarém (PA) e Barcarena (PA). Informações desse programa de investimento evidenciam que o município de Sinop (MT) passou a ser considerado como o ponto de ligação da ferrovia no Estado do Mato Grosso (ANTT, 2015), cujo traçado é apresentado na Figura 1.

Figura 1: Traçado do Ferrogrão (EF-170), entre os estados do Mato Grosso e Pará.



Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em ANTT (2015) e PPI (2017).

A infraestrutura alvo do presente artigo é caracterizada como um projeto *greenfield*, idealizado por *tradings* que operam no mercado brasileiro, sendo que “sua concepção surgiu da carência do agronegócio por alternativas logísticas de menores custos de transporte para o escoamento dos grãos produzidos na região central de Mato Grosso e com destino aos portos do Arco Norte” (CNA, 2016). O projeto foi inserido no Programa de Parceria de Investimento (PPI) lançado em 2016 e considerado como “prioridade nacional no setor ferroviário” (PPI, 2017).

Informações do PPI (2017) mostram que o investimento estimado é da ordem de R\$ 12,7 bilhões, o qual deve cobrir todos os custos relacionados às obras do empreendimento que tem 933 quilômetros de extensão. Trata-se de um empreendimento “de grande extensão e de inquestionável valor estratégico para o cenário econômico nacional” (PPI, 2017).

O leilão para a concessão do projeto da Ferrogrão está previsto para acontecer em 2018 e desdobramentos futuros do projeto, após o início das operações, estão relacionados à construção de um ramal ferroviário entre os municípios de Sinop (MT) e Lucas do Rio Verde (MT) (PPI, 2017), de forma a ampliar a penetração dessa ferrovia no Estado do Mato Grosso. Deve-se destacar também que como desafios para a consolidação desse projeto encontram-se: (i) as consequências ambientais pelo fato de o traçado cruzar áreas de proteção ambiental da Amazônia (Brito e Castro, 2018) e (ii) a incerteza sobre a disponibilidade de recursos públicos para o financiamento do projeto.

Inserido nesse contexto, o presente artigo tem como objetivos:

- i. Mensurar o impacto econômico que a presença dessa ferrovia tem na cadeia de exportação de soja e milho do Mato Grosso; e
- ii. Identificar o local ótimo para a construção do terminal de transbordo da Ferrogrão no Estado do Mato Grosso.

O presente artigo está organizado em outras cinco seções, além dessa introdução. Na próxima seção é apresentado o modelo matemático elaborado para as análises discutidas pelo trabalho. A terceira seção discute os dados e premissas considerados. A quarta seção discute os resultados obtidos. Na quinta e na sexta seções são apresentadas as considerações finais e a bibliografia consultada, respectivamente.

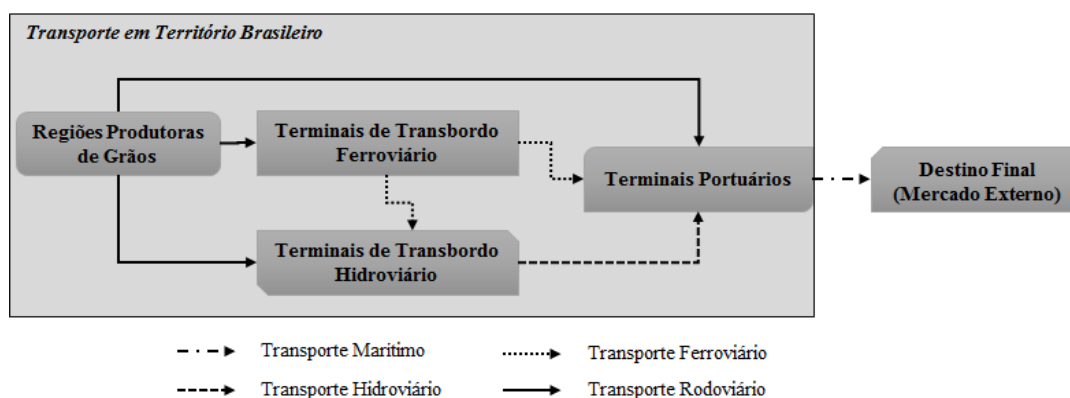
2. Modelo Matemático

Para o cumprimento dos objetivos propostos por esse artigo, um modelo matemático de programação linear do tipo inteira mista (MIP) foi estruturado. O modelo analisa o transporte de soja e milho dos locais de produção até o destino final (país comprador), sendo considerados como possibilidades de transporte entre os locais de produção e os portos brasileiros o modal rodoviário, o modal ferroviário e o modal hidroviário. Para o transporte entre os portos e os destinos finais da carga é considerado o transporte marítimo. Como supracitado, o modelo visa identificar também o local com maior potencial de redução de custos de transporte para a construção do terminal de transbordo da Ferrogrão. Além disso, a estrutura do modelo matemático não considera questões como o tempo de transito dos ativos de transporte, a formação de estoques intermediários e o impacto das perdas físicas de produtos nas operações logísticas, sendo este um modelo estruturado para uma análise de planejamento estratégico e do impacto da infraestrutura nos custos de transporte.

O desenvolvimento de modelos de otimização para a análise de fluxos de transporte de cargas agrícolas no Brasil é verificado em Branco et al. (2010). Neste trabalho os autores analisam a configuração dos fluxos de transporte de cargas agrícolas da região Centro-Oeste brasileira baseado em um modelo de programação linear. Branco e Caixeta-Filho (2011) também utilizam um modelo de programação linear com enfoque semelhante, porém com o objetivo de estimar a demanda potencial para uma infraestrutura ferroviária. De modo similar, porém com objetivos relacionados à um problema de localização, Bartholomeu et al. (2014) aplicam modelos de programação inteira mista para a definição da localização de unidades de tratamento de resíduos de serviço de saúde. Tais trabalhos, em termos metodológicos, têm relação direta com o presente artigo, que visa analisar o raio de influência da Ferrogrão e indicar a localização ideal do terminal de transbordo.

Na Figura 2 é apresentado, de forma genérica, a esquematização do modelo matemático estruturado para este trabalho, o qual ilustra as opções de transporte consideradas na análise. Conforme pode ser verificado, o modelo matemático é estruturado de forma a analisar a cadeia logística em sua totalidade: dos municípios produtores até a chegada da produção nos centros consumidores (mercado externo).

Figura 2: Representação gráfica do modelo matemático estruturado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De modo a trazer maiores informações sobre o modelo matemático estruturado, abaixo são definidos os conjuntos (índices), os parâmetros e as variáveis.

Como conjuntos do modelo matemático, tem-se:

- i se refere aos municípios produtores de soja e milho no Mato Grosso;
- j são os terminais de transbordo ferroviário considerados na análise;
- k são os portos pelos quais o Mato Grosso exporta soja e milho;

- l são os terminais de transbordo hidroviários utilizados nas exportações de grãos do Mato Grosso;
- m representam os centroides (continentes) de destino final da soja exportada pelo Mato Grosso.

No tocante aos parâmetros do modelo, são definidos:

- A : produção de soja e milho nos municípios (i);
- B : capacidade de transporte dos terminais de transbordo ferroviário (j);
- C : capacidade de exportação dos portos (k);
- D : capacidade de transporte dos terminais de transbordo hidroviário (l);
- E : demanda de carga do mercado externo (m);
- F : frete rodoviário entre as cidades produtoras (i) e os terminais de transbordo ferroviário (j);
- H : frete rodoviário entre as cidades produtoras (i) e os terminais de transbordo hidroviário (l);
- G : frete rodoviário entre as cidades produtoras (i) e os portos (k);
- O : frete ferroviário entre os terminais de transbordo ferroviário (j) e os portos (k);
- P : frete hidroviário entre os terminais de transbordo hidroviário (l) e os portos (k);
- N : frete marítimo entre os portos (k) e o destino final (m).

Por fim, as variáveis de decisão do modelo são:

- X : quantidade de carga transportada entre as origens (i) e os terminais de transbordo ferroviário (j);
- Y : quantidade de carga transportada entre as origens (i) e os portos (k);
- Z : quantidade de carga transportada entre as origens (i) e os terminais de transbordo hidroviário (l);
- W : quantidade de carga transportada entre os terminais de transbordo ferroviário (j) e os portos (k);
- V : quantidade de carga transportada entre os terminais de transbordo hidroviário (l) e os portos (k);
- U : quantidade de carga transportada entre os portos (k) e o destino final (m);
- $SIN = \begin{cases} 1, & \text{se o terminal deve ser construído em Sinop (MT).} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$
- $LUC = \begin{cases} 1, & \text{se o terminal deve ser construído em Lucas do Rio Verde (MT).} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$
- $COL = \begin{cases} 1, & \text{se o terminal deve ser construído em Colíder (MT).} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$
- $PEI = \begin{cases} 1, & \text{se o terminal deve ser construído em Peixoto Azevedo (MT).} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$
- R : custo total de transporte de grãos do Mato Grosso.

A análise consiste, portanto, na minimização de R , variável associada aos custos de transporte da soja produzida no Mato Grosso até os países de destino final. A estrutura matemática do modelo é apresentada abaixo, na Equação 1.

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar } R = & \sum_i \sum_j F_{ij} * X_{ij} + \sum_i \sum_l H_{il} * Z_{il} + \sum_i \sum_k G_{ik} * Y_{ik} \\
 & + \sum_j \sum_k O_{jk} * W_{jk} + \sum_l \sum_k P_{lk} * V_{lk} \\
 & + \sum_k \sum_m N_{km} * U_{km}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Sujeito ao seguinte grupo de restrições:

$$\sum_k Y_{ik} + \sum_j X_{ij} + \sum_l Z_{il} \geq A_i, \quad \forall i, k, j, l \quad (2)$$

$$\sum_i Z_{il} \leq D_l, \quad \forall i, l \quad (3)$$

$$\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk} + \sum_l V_{lk} \leq C_k, \quad \forall i, k, j, l \quad (4)$$

$$\sum U_{km} \geq E_m, \quad \forall k, m \quad (5)$$

$$\sum_i X_{ij} - \sum_k W_{jk} = 0, \quad \forall i, k, j, \quad (6)$$

$$\sum_i Z_{il} - \sum_k V_{lk} = 0, \quad \forall i, l, k \quad (7)$$

$$\sum_i Y_{ik} + \sum_j W_{jk} + \sum_l V_{lk} - \sum_m U_{km} = 0, \quad \forall i, k, j, m \quad (8)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq SIN * B_j, \quad j = Sinop \quad (9)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq LUC * B_j, \quad j = Lucas do Rio Verde \quad (10)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq COL * B_j, \quad j = Colíder \quad (11)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq PEI * B_j, \quad j = Peixoto de Azevedo \quad (12)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq B_j, \quad j = Rondonópolis, Araguari \quad (13)$$

$$SIN + LUC + COL + PEI - 1 \leq 0 \quad (14)$$

A função objetivo (1), como supracitado, busca a minimização dos custos de transporte associado às cadeias de exportação de soja do Mato Grosso. A restrição (2) impõe que os fluxos originados nas regiões produtoras de grãos sejam iguais à produção exportável local. As restrições (3) e (4) impõem a condição de que os terminais de transbordo hidroviário e os terminais portuários devem respeitar as respectivas capacidades operacionais. A restrição (5) faz com que as demandas por carga no destino final sejam atingidas.

As restrições (6), (7) e (8) estão relacionadas ao balanceamento de carga nos terminais ferroviários, terminais hidroviários e terminais portuários, respectivamente. Elas atuam de forma a garantir que todo o volume de carga que chega a esses locais seja transportado nas etapas seguintes da cadeia de exportação.

As restrições (9), (10), (11) e (12) estão relacionadas à capacidade de transporte dos terminais ferroviário que podem ser construídos no projeto da ferrovia Ferrogrão. A forma como essas restrições estão estruturadas, em conjunto com a restrição (14), faz com que o resultado do modelo indique qual local deve ser escolhido para construção do terminal de transbordo (máximo de um terminal), de forma a minimizar os custos logísticos de exportação de grãos do Mato Grosso.

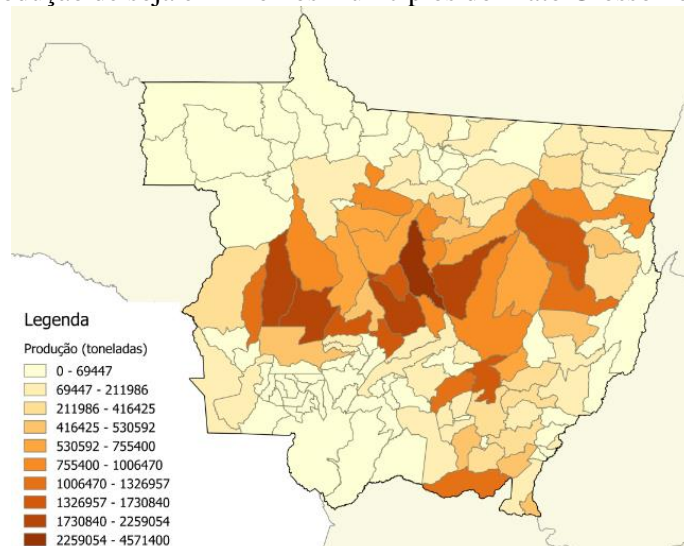
Por fim, a restrição (13) se relacionada à capacidade operacional dos terminais de transporte já existentes, os quais foram considerados como opção logística (terminais de Rondonópolis (MT) e Araguari (MG)).

O modelo matemático apresentado foi analisado no software GAMS – *General Algebraic Modeling System* (GAMS, 2018), com a utilização do solver CPLEX. O modelo estruturado tem uma dimensão total de 2.345 variáveis e 186 equações, sendo os dados utilizados, as infraestruturas consideradas são apresentadas na próxima seção do trabalho. Cabe ressaltar que algumas alterações foram feitas no modelo matemático, de forma a considerar a análise de cinco diferentes cenários.

3. Dados e Infraestruturas Considerados

O Estado do Mato Grosso é composto por 141 municípios os quais, no ano de 2015, produziram aproximadamente 27,8 milhões de toneladas de soja e 21,3 milhões de toneladas de milho (IBGE, 2015). Para ambas as culturas, o município de Sorriso (MT) se destaca como principal produtor, consolidando aproximadamente 4,5 milhões de toneladas de grãos produzidas. Na sequência, Sapezal (MT), Nova Ubiratã (MT), Nova Mutum (MT) e Campo Novo do Parecis (MT) são os municípios de maior produção de grãos do estado – juntos produzem o equivalente à 26,6% da produção de soja e milho mato-grossense (IBGE, 2015). A Figura 3 apresenta a distribuição espacial da produção de soja e milho do Mato Grosso no ano de 2015, baseado em dados do IBGE (2015).

Figura 3: Produção de soja e milho nos municípios do Mato Grosso no ano de 2015.



Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em dados do IBGE (2015).

Dados do MDIC (2015) mostram que no ano de 2015 o Mato Grosso exportou 28,9 milhões de toneladas de soja e de milho, o que corresponde a aproximadamente 58,8% da sua produção. Nesse sentido, a presente análise adotou como quantidade exportável 58,8% da produção municipal de grãos, de forma a balancear os dados de oferta (produção) com os de demanda (exportação).

No que diz respeito às infraestruturas intermodais consideradas no modelo, como infraestruturas já existentes e disponíveis para as movimentações oriundas do Mato Grosso foram considerados os terminais ferroviários de Rondonópolis (MT) e Araguari (MG) e os terminais hidroviários de Porto Velho (RO) e Santarém (PA). Destinos portuários distintos estão associados à cada uma dessas infraestruturas. Na Tabela 2 são apresentados os destinos e as capacidades operacionais consideradas para cada um dos terminais, as quais foram obtidas a partir de dados coletados e disponibilizados pelo ESALQ-LOG (2017).

Tabela 1: Infraestruturas intermodais consideradas.

Modal de Transporte	Terminal	Destino (s)	Capacidade de transporte (t)
Ferroviário	Rondonópolis (MT)	Santos (SP)	15.000.000,00
Ferroviário	Araguari (MG)	Vitória (ES)	2.753.949,40
Hidroviário	Porto Velho (RO)	Santarém (PA), Itacoatiara (AM) e Barcarena (PA)	5.000.000,00
Hidroviário	Itaituba (PA)	Santarém (PA) e Barcarena (PA)	7.000.000,00

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em informações do ESALQ-LOG (2017).

Uma ressalva importante diz respeito ao fluxo ferroviário entre o terminal de transbordo de Araguari (MG) e o Porto de Vitória (ES), em que adotou-se como capacidade operacional do terminal de transbordo todo o volume de soja e milho exportado pelo porto em questão. Adotou-se tal premissa devido ao fato de todo volume exportado por Vitória (ES) chegar até o porto pela utilização do modal ferroviário.

A escolha dos portos foi baseada em informações da Secretaria do Comércio Exterior (MDIC, 2015), de onde foram identificados os portos pelos quais as exportações de soja e milho do Mato Grosso no ano de 2015 ocorreram. Tem-se, portanto, como principais vias de saída da soja e milho mato-grossenses para o mercado internacional os portos de Santos (SP), Vitória (ES), Itacoatiara (AM), Barcarena (PA), Santarém (PA), São Luís (MA), Paranaguá (PR), São Francisco do Sul (SC), Imbituba (SC), Rio Grande (RS) e Aracaju (SE) (MDIC, 2015). Para fins de análise, optou-se por agrupar os portos da região Sul do país, tendo o Porto de Paranaguá como centroide dessa regionalização portuária. Em parte dos cenários, conforme será melhor detalhado adiante, foi adotado como capacidade estática de exportação dos portos os volumes efetivamente exportados em 2015. A Tabela 2 consolida as informações de exportação relativa dos portos, baseado nas informações obtidas junto ao MDIC (2015).

Tabela 2: Portos considerados e exportação relativa de grãos originados no Mato Grosso.

Porto	Centroide	Exportação Relativa (%)
Santos (SP)	Santos (SP)	51,27%
Vitória (ES)	Vitória (ES)	9,51%
Itacoatiara (AM)	Itacoatiara (AM)	8,06%
Barcarena (PA)	Barcarena (PA)	7,48%
Santarém (PA)	Santarém (PA)	7,20%
São Luís (MA)	São Luís (MA)	5,96%
Portos da região Sul	Paranaguá (PR)	10,41%
Aracaju (SE)	Aracaju (SE)	0,10%

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado em dados da MDIC (2015).

Os valores de frete rodoviário foram obtidos a partir da base de dados do Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA, 2015). Foi estruturada uma base de dados de frete rodoviário do Mato Grosso, praticados por empresas transportadoras de grãos (soja e milho) no ano de 2015. A partir de um total de 2.375 informações de fretes, foram estruturados dois modelos de regressão, os quais foram utilizados para calcular estimativas dos fretes rodoviários para todas as combinações origem-destino (OD) analisadas. O primeiro modelo de regressão, representado pela Equação 15, foi estruturado para o cálculo dos fretes para rotas cujo a distância é inferior a 500 quilômetros (coeficiente de determinação igual a 0,9653). A Equação 16 representa o modelo de regressão estruturado para rotas cujo a distância é superior a 500 quilômetros (coeficiente de determinação igual a 0,8901). Tal diferenciação dos valores de frete reduz o viés da análise, ao incorporar características distintas da precificação do transporte para rotas de curtas e de longas distância, conforme observado na base de informações do SIFRECA (2015).

$$F_r = 0,11 * distrod + 20,535, \quad distrod > 500 \quad (15)$$

$$F_r = e^{0,084} * distrod^{0,6798}, \quad distrod \leq 500 \quad (16)$$

Onde:

F_r = o frete rodoviário para o transporte de grãos, em R\$ por tonelada transportada;
 $distrod$ = distância rodoviária, em quilômetros (Guia Quatro Rodas, 2017).

As estimativas para os fretes ferroviários foram obtidas tendo como base o cálculo dos fretes rodoviário. Para uma mesma combinação OD, o frete ferroviário foi calculado a partir de um desconto de 20% no valor do frete rodoviário calculado pelas Equações (15) e (16). Para o frete hidroviário, as estimativas foram calculadas da mesma forma, porém foi adotado um desconto de 65% no valor do frete rodoviário. Tal metodologia de precificação é baseada no trabalho de Branco e Caixeta-Filho (2011) e na base de dados do SIFRECA (2015).

Foi realizado também o levantamento das distâncias rodoviárias para todas as combinações OD analisadas. Tal levantamento foi realizado a partir da utilização da base de dados do Guia Quatro Rodas (2017).

Dados da Secretaria do Comércio Exterior (MDIC, 2015), mostram que no ano de 2015 os países da Ásia foram responsáveis por consumir aproximadamente 73% da soja e do milho exportados pelo Mato Grosso. Dentre os países, a China importou 32,09% desse volume, quantidade superior a 9 milhões de toneladas de grãos. Por sua vez, os países da Europa foram destinos de 9,23% das exportações de grãos do Mato Grosso em 2015 (MDIC, 2015), o que representa uma quantia superior a 3,6 milhões de toneladas.

Os demais volumes de exportação do Mato Grosso em 2015 foram destinados para países da África, América Central, América do Norte, Oriente Médio e América do Sul. Pelo fato de esses destinos estarem relacionado a volumes pequenos de importação de grãos do Mato Grosso, para fins de análise do modelo matemático, essa quantidade foi distribuída proporcionalmente para os portos da Ásia e da Europa.

Foram determinados dois países centroides, sendo um representante do continente asiático e outro do continente europeu. Os portos de Shangai e Rotterdam são os portos considerados como destino final no modelo matemático aqui apresentado, sendo aproximadamente 24,6 e 4,3 milhões de toneladas de grãos, respectivamente, o valor considerado como exportado para cada um dos destinos.

Pertinente aos valores de frete marítimo praticados no mercado internacional, foram utilizados dados do levantamento realizado pelo ESALQ-LOG (2017). A base de dados utilizada é composta por informações de frete marítimo praticados no mercado para o transporte de soja e milho de portos brasileiros até portos do continente europeu e da Ásia, em navios do tipo *Panamax*. Com base nas informações disponibilizadas, as quais fazem referência ao ano de 2015, foi estruturado um modelo de regressão linear simples para estimativa do valor do frete em função da distância marítima entre os portos, obtida junto ao Sea-Distance (2017). Tal modelo é apresentado na Equação 17, o qual apresenta um coeficiente de determinação igual a 0,9186.

$$F_m = 0,0006 * dist + 16,82 \quad (17)$$

Onde:

F_m = o frete marítimo, em R\$/tonelada de soja transportada;
 $dist$ = distância marítima percorrida pelo navio, em quilômetros (Sea-Distance, 2017).

A partir do modelo matemático estruturado e dos dados considerados na análise, cinco cenários foram construídos de forma a analisar os impactos da Ferrogrão nas exportações de grãos do Mato Grosso. Cada cenário tem o seguinte conjunto de características:

- i. Cenário 01: esse cenário é caracterizado por ser o mais próximo da realidade, ao considerar como capacidades de exportação portuária os volumes de exportação de grãos de cada um dos portos no ano de 2015 e não considerar a existência da Ferrogrão. Ele foi estruturado de tal forma que o modelo aloque os fluxos de forma a minimizar os custos de transporte da exportação de grãos do estado, para se obter a dimensão dos custos logísticos e uma estimativa matriz OD.
- ii. Cenário 02: em termos de capacidade de cada uma das infraestruturas consideradas na análise, esse cenário é similar ao Cenário 01. A diferença reside no fato de este cenário considerar a possibilidade do transporte de carga ser realizado via Ferrogrão, sendo que cada um dos possíveis terminais de transbordo dessa ferrovia deve ter uma capacidade de movimentar 10 milhões de toneladas de grãos. Vale a ressalva de que o modelo matemático irá decidir por apenas um terminal de transbordo, sendo este o de maior potencial para a redução dos custos de transporte no Mato Grosso.
- iii. Cenário 03: da mesma forma como o primeiro cenário, este não considera a existência da Ferrogrão. Porém, são consideradas como irrestritas as capacidades de exportação de cada um dos portos, o que permitirá uma análise do potencial de exportação de cada porto e das infraestruturas de transbordo consideradas.
- iv. Cenário 04: esse cenário também não impõe limites nas capacidades de exportação dos portos analisados. Além disso, a análise deste cenário considera como existente a infraestrutura da Ferrogrão.
- v. Cenário 05: diferente dos cenários anteriores, este considera como irrestrito as capacidades operacionais de todas as infraestruturas (portos, terminais de transbordo ferroviário e terminais de transbordo hidroviário), inclusive a Ferrogrão. Tal situação permite uma análise da área de influência potencial de cada uma das soluções logísticas do transporte de grãos.

A Tabela 3 consolida as principais características que diferenciam cada um dos cenários analisados neste artigo.

Tabela 3: Principais diferenças entre os cenários analisados.

Item		Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04	Cenário 05
Ferrogrão		Inexistente	Existente	Inexistente	Existente	Existente
Capacidade dos Terminais de Transbordo da Ferrogrão (toneladas)	Sinop (MT)	-	10.000.000	-	10.000.000	Irrestrito
	Lucas do Rio Verde (MT)	-	10.000.000	-	10.000.000	Irrestrito
	Colíder (MT)	-	10.000.000	-	10.000.000	Irrestrito
	Peixoto de Azevedo (MT)	-	10.000.000	-	10.000.000	Irrestrito
	Santos (SP)	14.854.453	14.854.453	Irrestrito	Irrestrito	Irrestrito
Capacidade de Exportação dos Portos (toneladas)	Vitória (ES)	2.753.958	2.753.958	Irrestrito	Irrestrito	Irrestrito
	Itacoatiara (AM)	2.335.762	2.335.762	Irrestrito	Irrestrito	Irrestrito
	Barcarena (PA)	2.167.843	2.167.843	Irrestrito	Irrestrito	Irrestrito
	Santarém (PA)	2.087.221	2.087.221	Irrestrito	Irrestrito	Irrestrito
	São Luís (MA)	1.727.534	1.727.534	Irrestrito	Irrestrito	Irrestrito
	Paranaguá (PR)	3.014.907	3.014.907	Irrestrito	Irrestrito	Irrestrito
	Aracaju (SE)	28.728	28.728	Irrestrito	Irrestrito	Irrestrito

Capacidade das Infraestruturas Intermodais (toneladas)	Porto Velho (RO)	5.000.000	5.000.000	5.000.000	5.000.000	Irrestrito
	Itaituba (PA)	7.000.000	7.000.000	7.000.000	7.000.000	Irrestrito
	Rondonópolis (MT)	15.000.000	15.000.000	15.000.000	15.000.000	Irrestrito
	Araguari (MG)	2.753.958	2.753.958	2.753.958	2.753.958	Irrestrito

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Resultados

Para melhor apresentação, os resultados serão analisados de forma a traçar comparativos que levem a uma análise crítica da área de influência da Ferrogrão. De forma didática, inicialmente será discutido o Cenário 01, o qual ilustra uma situação mais próxima da realidade atual na movimentação de grãos do Mato Grosso. Na sequência é apresentado o Cenário 03 o qual considera como irrestrita as capacidades portuárias e permite a identificação da melhor opção logística para cada localidade produtora, dentre as opções disponíveis atualmente.

O Cenário 05 é o terceiro cenário discutido nessa seção de resultados, o qual discute a solução logística de menor custo para cada um dos municípios do Mato Grosso, já considerando a possibilidade de movimentar pela Ferrogrão. Posteriormente o Cenário 04 é discutido, o qual considera a possibilidade de movimentação pela Ferrogrão e como irrestrita as capacidades de movimentações nos portos. Por fim, o Cenário 02 é apresentado e evidencia o impacto da Ferrogrão nas movimentações do Mato Grosso, considerando as restrições operacionais atualmente existentes.

Em um cenário mais próximo da realidade do Mato Grosso em termos de infraestruturas disponíveis, o Cenário 01, ao alocar os fluxos de forma a minimizar o custo logístico total do Estado, aponta que R\$ 297,39 por tonelada é o custo médio de transporte de grãos. Sem a presença da Ferrogrão, o custo total estimado atrelado à cadeia de exportação de soja e milho em 2015 foi da ordem de R\$ 8,6 bilhões.

Os terminais ferroviários de Rondonópolis (MT) e Araguari (MG) movimentaram, respectivamente, 14,85 e 2,75 milhões de toneladas de grãos, totalizando um volume de 17,6 milhões de toneladas sendo movimentados pela ferrovia. Comparativamente, o modal hidroviário movimenta um total de 6,59 milhões de toneladas – 2,33 milhões via terminal de Porto Velho (RO) e 4,25 milhões via Itaituba (PA).

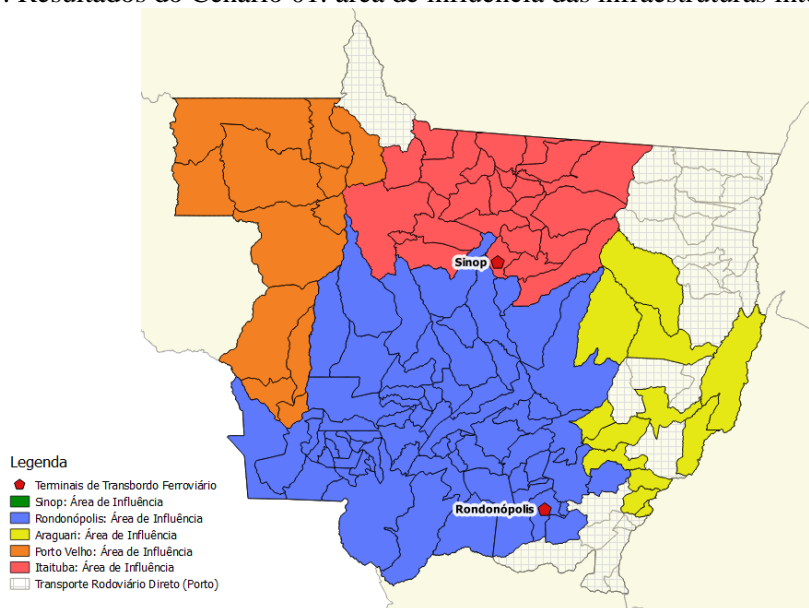
Em termos comparativos, 66 municípios do Mato Grosso (46,8% do total) fazem parte da área de influência do terminal de Rondonópolis (MT). Um total de 12, 13 e 26 municípios fazem parte da área de influência dos terminais intermodais de Araguari (MG), Porto Velho (RO) e Itaituba (PA), respectivamente. A Figura 4 ilustra a área de influência das infraestruturas intermodais, de acordo com os resultados do Cenário 01, além de discriminar também os municípios do estado que não fazem o uso de soluções logísticas multimodais (transporte realizado apenas via modal rodoviário). Tais resultados evidenciam a influência que o Terminal de Rondonópolis (MT) tem para a cadeia de exportação de grãos do Mato Grosso nos dias atuais, além da importância dos terminais de transbordo hidroviários, os quais também tem uma grande área de influência.

O Cenário 03, ao considerar os portos sem restrição de capacidade de exportação, mostra que o custo médio das exportações de grãos do Mato Grosso é de R\$ 265,61 por tonelada exportada – custo total igual a R\$ 7,69 bilhões. Tem-se, portanto, uma redução de custos de R\$ 31,77 por tonelada, em comparação com Cenário 01, o que evidencia a dimensão do impacto econômico atrelado as restrições de capacidades portuárias atualmente existentes. Capacidades portuárias maiores, portanto, reduziriam em até 10% os custos de transporte da exportação de grãos do Mato Grosso.

Outra diferença existente é que o terminal de Rondonópolis que no Cenário 01 movimenta todo o volume de exportação direcionado ao Porto de Santos (aproximadamente 14,8 milhões de toneladas de grãos), passa a movimentar 5,1 milhões de toneladas no Cenário

03. Tal volume representa todo o volume movimentado pela ferrovia neste cenário, uma vez que o terminal de Araguari (MG) não teve carga alocada.

Figura 4: Resultados do Cenário 01: área de influência das infraestruturas intermodais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

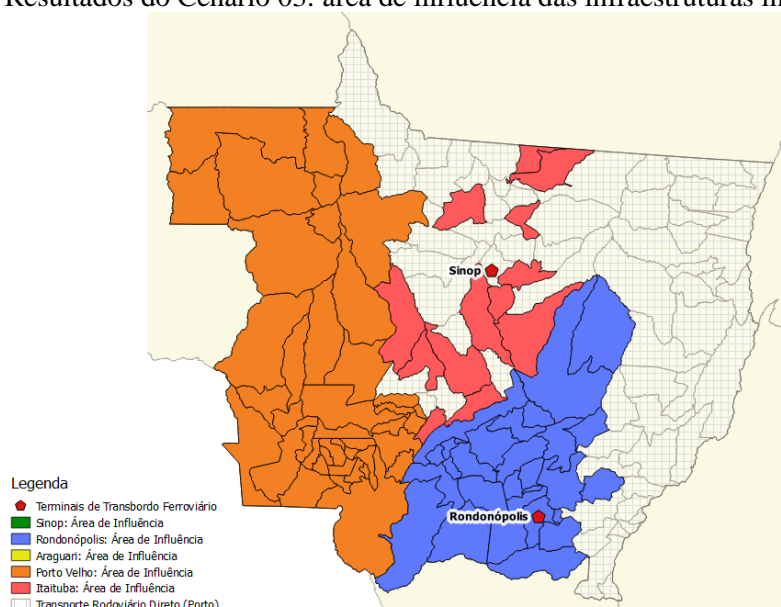
O terminal de Itaituba (PA) foi utilizado em sua capacidade máxima (7 milhões de toneladas) com fluxos direcionados ao Porto de Santarém, sendo R\$ 11,11 a redução de custo associada a cada tonelada adicional de capacidade operacional desse terminal hidroviário. Porto Velho (RO), por sua vez, movimenta um total de 4,7 milhões de toneladas, o que caracteriza uma participação maior do transporte hidroviário na matriz de transporte do Mato Grosso.

Os portos de Santarém, Santos, Itacoatiara e Barcarena foram os únicos portos que tiveram fluxos de grãos alocados no Cenário 03 – aproximadamente 47, 27, 16 e 9% do volume exportado, respectivamente. Além disso, um 12 milhões de toneladas foram chegaram aos portos de Santos, Barcarena e Santarém através da utilização do modal rodoviário. Tais informações apontam que a utilização de outros portos além deste acima mencionados é ruim para os fluxos de exportação originados no Mato Grosso, uma vez que são menos competitivos. O comparativo, portanto, evidencia que a baixa capacidade operacional dos portos na região Norte do país impõe restrições no volume de carga do Mato Grosso que é movimentado pelo modal hidroviário.

A Figura 5 apresenta a distribuição espacial da área de influência das infraestruturas intermodais, de acordo com os resultados obtidos pelas análises do Cenário 03. Nota-se, a partir do comparativo com a Figura 4, uma significativa redução da área de influência do Terminal de Rondonópolis (MT), decorrente de uma maior competitividade atrelada à existência de fluxos de exportação pelos portos da região Norte – neste cenário, tal terminal tem em sua área de influência um total de 27 municípios. Adicionalmente é possível notar que a área de influência do Terminal de Porto Velho (RO) passa a ser todos os municípios da região Oeste do Mato Grosso, ao passo que a Itaituba (PA) passa a ter uma área de influência mais dispersa nas regiões Central e Norte do estado.

Os resultados obtidos no Cenário 05, ao ilustrar a existência da Ferrogrão sem considerar capacidades operacionais em portos e terminais, indicam um custo total da ordem de R\$ 7,4 bilhões, o que representa um custo médio de R\$ 258,58 por tonelada de soja exportada pelo Mato Grosso. A não existência de restrições operacionais nos terminais de transbordo e nos portos, acarreta em uma redução de 13% nos custos logísticos do Mato Grosso, em comparação com o Cenário 01 (redução do custo médio em R\$ 38,81 por tonelada de soja exportada).

Figura 5: Resultados do Cenário 03: área de influência das infraestruturas intermodais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

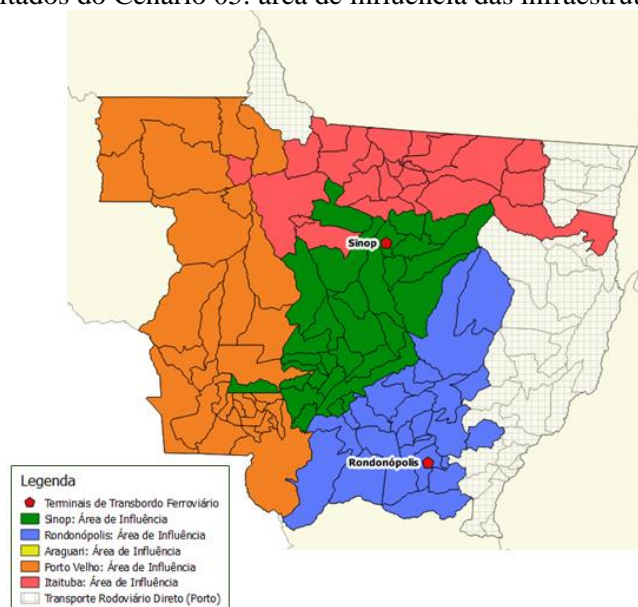
Tem-se, nesse caso, um maior equilíbrio na utilização das soluções logísticas multimodais atualmente existentes: 5,1, 4,5 e 2,0 milhões de toneladas de grãos são transportadas até os terminais de Rondonópolis (MT), Porto Velho (RO) e Itaituba (PA), respectivamente. Além dessas infraestruturas, 12,7 milhões de toneladas de grãos são transportadas pela Ferrogrão.

O município de Sinop (MT) é apontado pelo modelo como o com maior potencial para a redução dos custos de transporte de soja e milho do Mato Grosso. Tal região é caracterizada por ser a com maior volume de grãos produzidos no Estado, de acordo com dados do IBGE (2015), o que contribui para o aumento da demanda potencial pela infraestrutura da Ferrogrão. As análises evidenciam que se Lucas do Rio Verde (MT) fosse o município escolhido para a construção do terminal ferroviário, o custo médio do Mato Grosso seria R\$ 1,44 por tonelada maior – custo total da ordem de R\$ 41,8 milhões de reais a mais. Lucas do Rio Verde (MT) é tido como a segunda melhor opção para a construção do terminal e os municípios de Colíder (MT) e Peixoto de Azevedo (MT) como a terceira e a quarta opção, respectivamente.

A Figura 6 apresenta as áreas de influência das infraestruturas intermodais, conforme resultados obtidos no Cenário 05. Um total de 31 municípios da região Central do Mato Grosso faz parte da área de influência da Ferrogrão. Os resultados desse cenário indicam ainda que 4,5 milhões de toneladas de grãos chegam aos portos via utilização do modal rodoviário direto, conforme também destacado na Figura 6.

O aprofundamento dessa análise ocorre com resultados obtidos no Cenário 04, que considera a possibilidade da existência da Ferrogrão, mas impõe restrições operacionais nos terminais de transbordo ferroviário e hidroviário. O custo logístico total obtido no Cenário 04 é da ordem de R\$ 7,5 bilhões. Tal quantia acarreta em um custo médio de R\$ 259,05 por tonelada de grãos exportada pelo Mato Grosso. Tem-se, portanto, que o impacto monetário da Ferrogrão, em uma situação em que não são observadas restrições de capacidades nos portos, é de R\$ 38,34 por tonelada em comparação com o Cenário 01. Neste cenário, Santarém (PA), Santos (SP), Itacoatiara (AM) e Barcarena (PA) foram os portos utilizados e exportaram, respectivamente, 50, 27, 15 e 6% do volume total. Além disso, o resultado obtido no Cenário 04 evidencia também que o local ideal para a construção do terminal de transbordo da Ferrogrão é o município de Sinop (MT), convergindo com o resultado obtido no Cenário 05.

Figura 6: Resultados do Cenário 05: área de influência das infraestruturas intermodais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

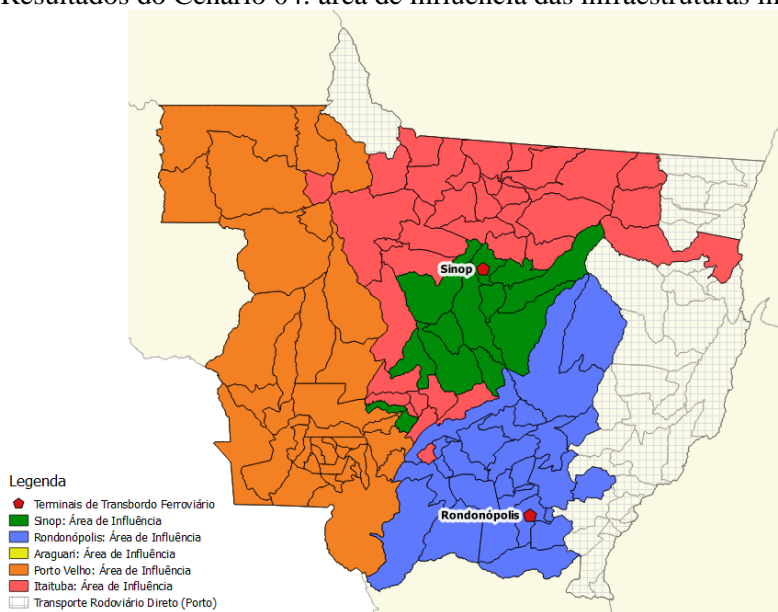
Adicionalmente, as análises mostram que nenhum terminal de transbordo hidroviário teve sua capacidade de movimentação totalmente utilizada. O mesmo acontece com o terminal de Rondonópolis (movimentação de aproximadamente 5,1 milhões de toneladas) e com o terminal de Araguari (sem fluxos de transporte alocado, da mesma forma como o observado no terceiro cenário). Por outro lado, toda a capacidade de transporte do terminal de Sinop (MT) foi utilizada no transporte de soja e milho exportados pelo estado.

A Figura 7 ilustra os resultados obtidos no Cenário 04, evidenciando a área de influência da Ferrogrão (terminal de transbordo em Sinop (MT), abrangendo um total de 15 municípios da região central do Mato Grosso), do Terminal de Porto Velho (35 municípios), do Terminal de Itaituba (34 municípios) e do Terminal de Rondonópolis (26 municípios).

Por fim, os resultados do Cenário 02 apontam para uma redução de R\$ 37,3 milhões no custo total, em comparação com o Cenário 01. A Ferrogrão, caso estivesse operando no ano de 2015, reduziria o custo logístico médio do Mato Grosso para R\$ 296,10 por tonelada, sendo o custo logístico total da ordem de R\$ 8,57 bilhões. Tal benefício econômico novamente está atrelado à localização do terminal de transbordo da Ferrogrão no município de Sinop (MT), sendo esta a localidade com maior impacto na redução dos custos logísticos do Estado, em linha com os demais cenários acima apresentados.

A subutilização da infraestrutura da Ferrogrão no Cenário 02 tem relação com as restrições operacionais dos portos de Santarém (PA) e Barcarena (PA) incorporadas no modelo. Esse projeto ferroviário, nesse cenário, foi responsável pela movimentação de 3,2 milhões de toneladas de grãos. Os terminais hidroviários de Porto Velho (RO) e Itaituba (PA) também foram subutilizados – 4,5 e 4,7 milhões de toneladas, respectivamente.

Figura 7: Resultados do Cenário 04: área de influência das infraestruturas intermodais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

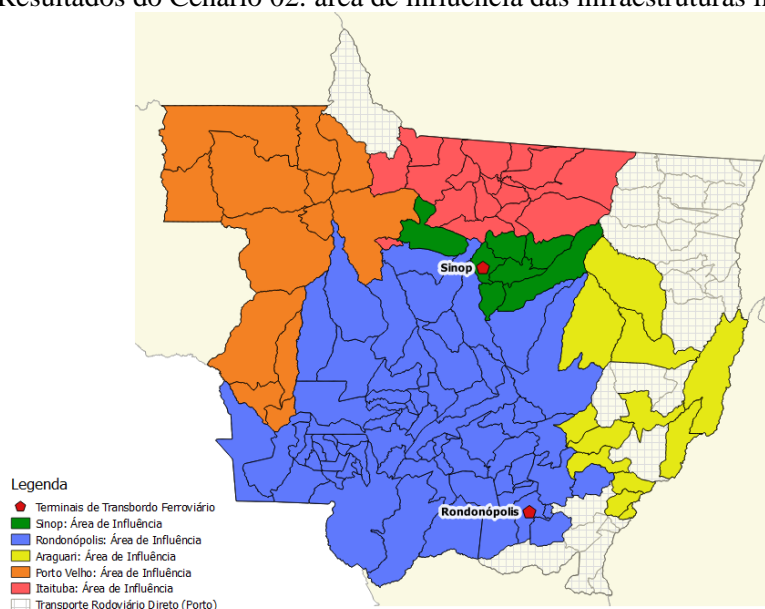
A análise de sensibilidade dos resultados do modelo mostra que o aumento de uma tonelada a mais na capacidade de exportação do Porto de Santarém acarretaria em uma redução de custo R\$ 159,80 no custo total de exportação do estado. Itacoatiara (AM) e Santarém (PA) também apresentam grande potencial para redução dos custos de exportação – R\$ 150,99 e R\$ 127,86 por tonelada, respectivamente. Tais indicadores, portanto, evidenciam o potencial de redução dos custos de transporte associado à maior utilização dos portos da região Norte do país, os quais se mostram essenciais para uma maior utilização da infraestrutura ferroviária pretendida no projeto da Ferrogrão.

No Cenário 01, toda a carga exportada pelo Porto de Santos chegou ao porto com a utilização terminal de transbordo de Rondonópolis (MT) no Cenário 02. Além disso, os portos de São Luís (MA), Paranaguá (PR) e Aracaju (SE) receberam grãos via utilização exclusiva do transporte rodoviário.

Apesar das restrições de capacidade portuária, a Ferrogrão contribui para o aumento da intermodalidade no transporte de grãos do Estado, reduzindo, conseqüentemente, a distância média do transporte rodoviário de algumas regiões produtoras. Os municípios de Cláudia (MT), Feliz Natal (MT), Ipiranga do Norte (MT), Santa Carmem (MT), Sinop (MT), Tabaporã (MT), União do Sul (MT) e Vera (MT) tiveram seus fluxos de transporte alterados no Cenário 02, sendo captados pela Ferrogrão. Trata-se de um volume total de 3,2 milhões de toneladas de soja e milho, o qual, no Cenário 01, era direcionado ao terminal hidroviário de Itaituba a partir da utilização do modal rodoviário.

A área de influência das infraestruturas intermodais no Cenário 02 é apresentada na Figura 8. Nota-se influência bastante significativa do terminal de Rondonópolis nas movimentações de grãos do Mato Grosso – no total, 66 municípios mato-grossenses exportam grãos a partir da utilização desse terminal. Na sequência, o terminal de Itaituba também exerce grande influência nos municípios do Estado: 17 municípios.

Figura 8: Resultados do Cenário 02: área de influência das infraestruturas intermodais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O comparativo entre os cenários analisados permite inferir também sobre a influência dos portos da região Norte nas movimentações de grãos produzidos no Mato Grosso. Nos cenários em que não foram consideradas restrições nas capacidades operacionais dos portos (03, 04 e 05), nota-se aumento na utilização dos portos da região Norte do país. De toda carga exportada pelo Estado, aproximadamente 21,1 milhões de toneladas são alocadas para serem exportadas pelos portos de Santarém (14,7 milhões de toneladas no Cenário 05), Itacoatiara (4,5 milhões) e Barcarena (1,8 milhões). O Porto de Santos é único porto da região Sul utilizado nesses cenários – aproximadamente 7,8 milhões de toneladas no Cenário 05.

Pertinente ao fluxo de navios dos portos brasileiros até os centros consumidores, os resultados indicam que os portos das regiões Norte e Nordeste são alocados para o atendimento da demanda do mercado europeu. No Cenário 01 e Cenário 02 os portos de Barcarena, São Luís e Santarém são utilizados nos fluxos de transporte de grãos para a Europa, com 50,3, 40,2 e 9,5% da quantidade demandada por esse mercado. Situação diferente é observada nos demais cenários analisados.

No Cenário 03, 63,2% da demanda europeia é exportada pelo Porto de Barcarena, sendo o restante movimentado via Santarém. No Cenário 04, Barcarena é apontado como responsável por 43,8% das exportações para a Europa, e o restante do volume é exportado pelo Porto de Santarém. Já no Cenário 05, o Porto de Santarém movimenta todo o volume de soja demandando pelo mercado Europeu, dado à influência da Ferrogrão na movimentação da produção. A maior proximidade com os países da Europa faz com que esses portos sejam utilizados com maior frequência para o atendimento da demanda desse continente, em um contexto de minimização dos custos de toda a cadeia de exportação. Tal constatação é complementar à consideração sobre a necessidade de investimentos para ampliação das capacidades portuárias no norte do país, como forma de reduzir os custos com transporte de toda a cadeia de exportação.

Cabe ainda a consideração de que a Ferrogrão tem um grande potencial para a movimentação de grãos no Mato Grosso, podendo, se concretizado o projeto de investimento, ser a principal infraestrutura intermodal do Estado em termos de volume embarcado. Os resultados são claros ao mostrar a dinâmica de alteração dos fluxos de transporte, o que não reflete necessariamente em alteração significativa na matriz de transporte do Estado – aproximadamente 60% da produção atual continuaria a ser movimentada pelo modal ferroviário, conforme ilustrado na Tabela 4, que sintetiza o comparativo entre todos os cenários analisados neste artigo. É evidente a necessidade de investimentos complementares em infraestrutura

portuária na região Norte do Brasil para que seja possível usufruir de todo o potencial de transporte atrelado a essa infraestrutura ferroviária.

Tabela 4: Comparativo entre os cenários.

Variável		Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03	Cenário 04	Cenário 05
Custo Logístico (R\$/t)		297,39	296,1	265,61	259,05	258,58
Demanda Potencial dos Terminais de Transbordo (milhões de toneladas)	Sinop (MT)	-	3,25	-	10,00	12,71
	Rondonópolis (MT)	14,85	14,85	5,15	5,15	5,10
	Araguari (MG)	2,75	2,75	0,00	0,00	0,00
	Porto Velho (RO)	2,33	2,33	4,72	4,52	4,52
	Itaituba (PA)	4,25	1,01	7,00	4,70	2,04
Matriz de Transporte do Mato Grosso (%)	Transporte Ferroviário	60,8%	72,0%	17,8%	52,3%	61,5%
	Transporte Rodoviário	16,5%	16,5%	41,7%	15,8%	15,8%
	Transporte Hidroviário	22,7%	11,5%	40,5%	31,8%	22,7%
Utilização dos Portos nas Exportações do Mato Grosso (%)	Região Nordeste	6,1%	6,1%	0,0%	0,0%	0,0%
	Região Norte	22,8%	22,8%	72,9%	72,9%	73,1%
	Região Sudeste	60,8%	60,8%	27,1%	27,1%	26,9%
	Região Sul	10,4%	10,4%	0,0%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaborado pelos autores.

5. Conclusões

Conforme demonstrado nas discussões da seção anterior, em uma análise dos custos de transporte entre o local de produção e os centros consumidores, o município de Sinop (MT) é apontado como o com maior potencial de redução de custo na escolha da localização para o terminal de transbordo da Ferrogrão. Esse resultado foi observado nas análises dos três cenários que consideraram a presença dessa infraestrutura entre os estados do Mato Grosso e Pará – Cenário 02, Cenário 04 e Cenário 05. Os demais municípios considerados como potenciais para a localização do terminal contribuem em menor grandeza para a minimização dos custos de transporte.

Pertinente ao potencial de redução de custos de transporte da cadeia de exportação do Mato Grosso, o comparativo entre o Cenário 01 e o Cenário 02 pontua que em 2015, caso a infraestrutura da Ferrogrão estivesse em operação, tal custo seria reduzido em R\$ 37,3 milhões (redução de 0,43% no custo médio de transporte). Sem considerar restrições de capacidade portuária, 2,47% é a redução de custo estimada – comparativo entre o Cenário 03 e Cenário 04. Nota-se, portanto, um potencial de redução de custos significativo atrelado à presença da infraestrutura da Ferrogrão, o qual aumenta a competitividade do produção mato-grossense no mercado internacional.

Os resultados evidenciam também a dependência da Ferrogrão da capacidade de exportação dos portos da região Norte do país – no caso deste estudo, foram considerados os portos de Santarém (PA) e Barcarena (PA). Nota-se um aumento significativo da área de influência da Ferrogrão no comparativo entre o Cenário 02, Cenário 04 e Cenário 05. Tal relação de dependência é determinante do volume de carga transportado pela infraestrutura ferroviária analisada. Destaque também deve ser feito à dependência da Ferrogrão em relação ao terminal de Itaituba – todo o volume de carga transportado por essa ferrovia é transferido, neste terminal, para a hidrovia para que a produção chegue aos portos.

É demonstrado também que a área de influência da Ferrogrão é localizada na região central do Mato Grosso, englobando municípios que atualmente têm (i) fluxos de transporte direcionados para o Porto de Santos a partir da utilização do terminal de transbordo de Rondonópolis e (ii) fluxos de transporte sentido portos da região Norte a partir com o transporte rodoviário da carga ocorrendo até o terminal hidroviário de Itaituba. Conforme destacado no Cenário 01, sem a Ferrogrão, o terminal ferroviário de Rondonópolis exerce influência muito grande nas movimentações de grãos do Mato Grosso. Na presença dessa nova infraestrutura, as exportações via portos da região Norte ocorrem com maior intensidade, aumentando a área de captação de carga da Ferrogrão no Estado. Tal resultado é convergente com o exposto por Rocha et al. (2017), que apontam para uma diminuição na área de influência das movimentações do terminal de Rondonópolis, em detrimento do aumento de capacidade das exportações pelos portos do Arco Norte.

Por fim, sugestões de trabalhos futuros derivados das análises aqui apresentadas podem incluir também possíveis efeitos de outras infraestruturas de transporte na área de influência da Ferrogrão e outras infraestruturas existentes. Além disso, o fato de o projeto da Ferrogrão atualmente estar vinculado apenas as movimentações de grãos preocupa alguns agentes do mercado, principalmente em períodos de redução na quantidade de grãos produzida (quebra de safra). Dessa forma, trabalhos futuros podem considerar também a possibilidade de transporte de outras cargas, além de questões que envolvam políticas de precificação e concorrência entre os operadores logísticos multimodais.

Agradecimentos. Os autores agradecem ao Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG) pelo suporte e disponibilização dos dados para a realização das análises apresentadas no artigo.

Referências

- ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. *Programa de investimentos em logística (PIL)*. 2015. Disponível em: <http://pilferrovias.antt.gov.br/>. Acesso em: 02/10/2017.
- Bartholomeu, D. B., Caixeta-Filho, J. V., Xavier, C. E. O. e Branco, J. E. H. Modelagem matemática para localização de unidades de tratamento de resíduos de serviços de saúde: uma aplicação no interior do estado de São Paulo. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, v. 6, n. 1, p. 81-109, 2014.
- Branco, J. E. H. e Caixeta-Filho, J. V. Estimativa da demanda de carga captável pela estrada de ferro Norte-Sul. *Journal of Transport Literature*, v. 5, n. 4, p. 17-50, 2011.
- Branco, J. E. H., Caixeta-Filho, J. V., Xavier, C. E. O., Lopes, R. L. e Gameiro, A. H. Desenvolvimento de modelo matemático de otimização logística para o transporte multimodal de safras agrícolas pelo corredor Centro-Oeste. *Informe Gepec*, v. 14, n. 1, p. 84-100, 2010.
- Brito, R. e Castro, E. Desenvolvimento e conflitos na Amazônia: um olhar sobre a colonialidade dos processos em curso na BR-163. *Revista NERA*, v. 21, n. 42, p. 51-73, 2018.
- Caixeta-Filho, J. V. e Martins, R. S. (org.) *Gestão Logística do Transporte de Cargas*. São Paulo: Editora Atlas SA, 2001.
- Caixeta-Filho, J. V., Silva, N. D. V., Gameiro, A. H., Lopes, R. L., Galvani, P. R. C., Martignon, L. M. e Marques, R. W. C. *Competitividade no Agribusiness: A questão do transporte em um contexto logístico*. Piracicaba – SP: PENSA/FIA/FEA/USP, 1998.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. *PIB do agronegócio*

brasileiro. 2016. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 02/10/2017.

CNA - Confederação Nacional da Agricultura. *Milho no Nordeste em tempos de estiagem: como a logística e infraestrutura adequada podem garantir o abastecimento?* 2016. Disponível em: <http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/34-artigo.pdf/>. Acesso em: 21/05/2018.

ESALQ-LOG - Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial. *Base de dados de fretes marítimos para o transporte de soja*. 2017. Disponível em: <http://esalqlog.esalq.usp.br/>. Acesso em: 02/11/2017.

GAMS - General Algebraic Modeling System. *Software*. 2018. Disponível em: <https://www.gams.com/>. Acesso em: 21/11/2018.

Guia Quatro Rodas. *Distâncias rodoviárias*. 2017. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/>. Acesso em: 19/10/2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Agropecuária Municipal: Edição de 2015*. 2015. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02/11/2017.

João, A. M., Vettorazzi, A. C., Rocha, F. V., Bartholomeu, D. B. e Caixeta-Filho, J. V. Emissão de CO₂ na logística de exportação de soja do Mato Grosso: o caso das exportações pelo arco norte. In: *Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, São Paulo. 2016. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/39.pdf>. Acesso em: 05/11/2017.

MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. *Estatísticas de exportação de soja e de milho em 2015*. 2015. Disponível em: <http://aliceweb.mdic.gov.br/>. Acesso em: 02/10/2017.

MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. *Estatísticas de exportação de soja e de milho em 2016*. 2016. Disponível em: <http://aliceweb.mdic.gov.br/>. Acesso em: 02/10/2017.

PPI - Programa de Parceria de Investimentos. *Ferrogrão*. 2017. Disponível em: http://www.projetcrescer.gov.br/ef_170_mt_pa_ferrograo/. Acesso em: 02/10/2017.

Rocha, F. V., Detoni, G., Grisotto, M. C. e Caixeta-Filho, J. V. A competitividade do transporte rodoferroviário da soja no Mato Grosso frente aos investimentos no Arco Norte. In: *Anais do II SGAgro - Simpósio em Gestão do Agronegócio*. 2017. Disponível em: <http://www.sgagro.org/>. Acesso em: 02/11/2017.

Sea-Distance. *Distances*. 2017. Disponível em: <https://sea-distances.org/>. Acesso em: 02/10/2017.

SIARMA - Sistema de Informações de Armazenagem. *Simulador de estratégias logísticas*. 2017. Disponível em: <http://esalqlog.esalq.usp.br/siarma/>. Acesso em: 02/11/2017.

SIFRECA - Sistema de Informações de Fretes. *Base de dados do ano de 2015: fretes de soja e milho*. 2015. Disponível em: <http://esalqlog.esalq.usp.br/sifreca/>. Acesso em: 02/11/2017.

Silva, A. C., Lima, E. P. C. e Batista, H. R. A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. In: *Anais do V Encontro de*

Economia Catarinense, Florianópolis, SC. UNESC, 2011.

Silva-Neto, S. da, Rocha, F.V., Pera, T. G. e Caixeta-Filho, J. V. Impacto do transporte rodoviário na receita dos produtores de soja dos estados do Paraná e Mato Grosso. In: *Anais do SIICUSP 2014 – 22º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP*, Piracicaba, SP. 2014.