

## Determinação da área de influência dos portos na logística de exportação da soja de Mato Grosso

### Determination of the seaports influence area in the export logistics of soy from Mato Grosso

Anderson dos Santos<sup>1</sup>  
Andréa Leda Ramos de Oliveira<sup>2</sup>  
Marlon Fernandes de Souza<sup>3</sup>

#### RESUMO

No Brasil, o transporte da lavoura até o porto representa uma parcela significativa no preço final das *commodities* agrícolas. De forma que o planejamento operacional da logística de exportação de grãos é fundamental para melhor a gestão dos custos. A participação do transporte intermodal na movimentação de cargas não está alinhada com a grande extensão territorial, o que impacta principalmente as regiões mais distantes dos portos marítimos. O objetivo do artigo é construir um modelo para determinação da área de influência dos portos brasileiros na logística da soja do estado de Mato Grosso destinada à exportação. O modelo identificou o porto de destino potencial, segundo os custos de transporte referenciados no espaço. A modelagem adotada pode ser também aplicada para avaliação da dinâmica logística de outros produtos agroindústrias. Destaca-se, que em todas as bacias logísticas delimitadas no estado de Mato grosso o escoamento da soja se dá prioritariamente por mais de um modal de transporte. Assim, os portos que influenciaram a logística no estado têm ligações ferroviárias ou hidroviárias, que são acessadas através de rodovias conectadas às regiões produtoras.

**Palavras-chave:** bacias logísticas, espacialização dos custos logísticos, regionalização produtiva, alocação.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas. Membro bolsista de iniciação científica do Laboratório de Pesquisa em Logística e Comercialização Agrícola (LOGICOM) na Universidade Estadual de Campinas. E-mail : [15andersonsantos@gmail.com](mailto:15andersonsantos@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7399-5318>

<sup>2</sup> Professora Associada (Livre Docente) da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP) e coordenadora do Laboratório de Pesquisa em Logística e Comercialização Agroindustrial (LOGICOM). Atua nas linhas de pesquisa em Logística Agroindustrial, Pesquisa Operacional e Comercialização Agrícola. Foi docente da Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas (FCA/UNICAMP) e Coordenadora de Extensão da FCA/UNICAMP. Doutora em Desenvolvimento Econômico pelo Instituto de Economia (IE/UNICAMP). Mestre em Engenharia pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC/UNICAMP). Graduada em Engenharia Agrônoma pela ESALQ-USP.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2074-0076>

<sup>3</sup> Doutorando em Engenharia Agrícola, na área de Gestão de Sistemas de Agricultura e Desenvolvimento Rural, pela Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Unicamp e membro do Laboratório de Pesquisa em Logística e Comercialização Agrícola (LOGICOM). Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais no Instituto de Geociências da UFMG (2019).

ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0002-7929-5790>

## ABSTRACT

In Brazil, the transport from farm to port represents a significant portion of the final price of agricultural commodities. Thus, the operational planning of grain export logistics is essential for better cost management. The share of intermodal transport in cargo distribution is not in line with the large Brazilian territory, which mainly impacts regions further away from seaports. This study aims to propose a model for determining the Brazilian ports' influence area in soy logistics from the state of Mato Grosso intended for export. The model identified the potential destination port according to the transportation costs referenced in the space. This modeling can also be applied to assess the logistic dynamics of other agro-industrial products. It is noteworthy that in all logistical basins delimited in the state of Mato Grosso, the soybean flow occurs primarily through more than one transportation modal. Thereby, the ports that obtained logistical influence in the state have rail or waterway transshipments connections, which are accessed through roads linked to the producing regions.

**Keywords:** logistic basins, spatialization of logistical costs, productive regionalization, allocation.

**Classificação JEL:** O13; R12; R42

## INTRODUÇÃO

O planejamento da logística de exportação de grãos é fundamental para melhor alocação de recursos empreendidos nesse processo. Parte dos ganhos da produção agrícola são perdidos devido à ineficiência logística e deficiências da infraestrutura (ROULET; CAIXETA-FILHO e YOSHIZAKI, 2016). A falta de planejamento implica aumento dos custos e impacta a competitividade do agronegócio brasileiro. Atualmente, a participação do transporte intermodal na movimentação de cargas não está alinhada com a grande extensão territorial brasileira, o que impacta principalmente as regiões mais distantes dos portos marítimos, como o estado de Mato Grosso, que ocupa posição de destaque na produção de grãos.

O transporte da lavoura até o porto representa uma parcela significativa do preço final das *commodities* agrícolas, sendo que, em muitas regiões este fluxo de escoamento para o mercado externo possui poucas alternativas viáveis. De acordo com a CNT (2017), o impacto do custo de transporte é maior naqueles produtos de baixo valor agregado, caso das *commodities* agrícolas como a soja e o milho. Na soja, esse estágio absorve cerca de 29% dos custos de produção no Brasil (OLIVEIRA et al., 2015). Quando comparado com o principal concorrente brasileiro em exportações dessa *commodity*, os Estados Unidos, a participação do escoamento é de apenas 14%. Isso porque, 20% da produção de soja estadunidense é escoada por rodovias, 31% por ferrovias e 49% por hidrovias. No Brasil a lógica é distinta, em que o país utiliza 65% do transporte por rodovias, 26% por ferrovias e 9% por hidrovias (CNT, 2017).

O planejamento logístico brasileiro deve ser orientado de forma a promover a intermodalidade e atendendo aos interesses da diversidade do setor agrícola. A utilização da intermodalidade traz vantagens econômicas e ambientais, especialmente para longas distâncias (VURAL et al., 2020). A consolidação de um sistema logístico de distribuição integrado aliado com a utilização dos modais de

transporte baseados na sua vocação econômica e racionalidade operacional, é capaz de promover a redução dos custos de escoamento e de elevar a competitividade do agronegócio brasileiro no cenário internacional.

Apesar dos entraves para o escoamento dos produtos agrícolas, avanços vêm ocorrendo. Isso porque a logística superou o paradigma da simples movimentação de mercadorias e passou a imprimir um papel estratégico na tomada de decisão nos diferentes segmentos do agronegócio (OLIVEIRA, 2014).

Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi construir um modelo para determinação da área de influência dos portos brasileiros na logística da soja do estado de Mato Grosso com destino à exportação. O recorte temporal adotado na análise é de 2018.

A contribuição científica é relevante, pois a modelagem adotada pode ser aplicada para avaliação da dinâmica logística de outros produtos agroindústrias, e também da contribuição de sistemas logísticos intermodais. Além de possibilitar a adição de outros elementos geradores de custos, como declividade e áreas sensíveis ou restritas. Inspirado no conceito criado pela Embrapa Territorial (CASTRO et al., 2015, 2019; EMBRAPA, 2016), o modelo proposto neste artigo se baseou na maneira como o escoamento superficial ocorre em uma bacia hidrográfica para identificar o porto de destino potencial segundo os custos de transporte referenciados no espaço e, assim, delimitar as bacias logísticas esperadas.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O conhecimento da logística é essencial para a identificação dos custos envolvidos na movimentação dos produtos agrícolas, possibilitando também sua avaliação, e assim, a criação de soluções que minimizem os custos e as perdas de produtos (KUSSANO e BATALHA, 2012). O Brasil possui grande extensão territorial, possibilitando que melhorias logísticas possam representar ganhos superiores aos de adoção de novas tecnologias nas lavouras em regiões produtoras como o Centro-Oeste (EMBRAPA, 2016).

Vários trabalhos têm focado na busca por melhorias na logística brasileira. A maioria dos trabalhos têm utilizado modelos matemáticos de otimização do uso da infraestrutura existente para aumentar a eficiência, como Mapa e Lima (2012); Morales et al. (2013); Milanez (2014); Oliveira et al. (2015); Lopes; Lima e Ferreira (2016); Oliveira e Alvim (2017); Silva Neto (2018); Coleti e Oliveira (2019), entre outros. Em geral, esses estudos adotam as origens e destinos como critérios previamente estabelecidos e, a partir destes, os modelos avaliam a eficiência ou buscam sua otimização. Dessa forma, os fluxos de escoamento selecionados para a aplicação do modelo foram escolhidos por conveniência.

Roulet, Caixeta-Filho e Yoshizaki (2016) empregaram a Análise Multicritério (AMC) para propor um modelo de apoio a tomada de decisões quanto ao transporte rodoviário de grãos. Os autores identificaram que estratégias de transporte verticalizadas apresentaram melhor desempenho em relação ao transporte terceirizado.

Santos, Sproesser e Batalha (2018), Oliveira, Cicolin e Filassi (2019), e Fatoetto e Oliveira (2019), adotaram a Análise Envoltória de Dados (DEA), também para avaliar o desempenho do transporte de produtos agrícolas e observaram uma maior eficiência em sistemas intermodais para a movimentação de grãos. Para Santos, Sproesser e Batalha (2018) a contribuição do estudo realizado é o de beneficiar novos entrantes no setor, uma vez que estes seriam capazes de escolher o melhor posicionamento de

mercado de acordo com os recursos disponíveis, ao comparar diferentes terminais intermodais.

Fatoretto e Oliveira (2019) ranquearam as principais rotas logísticas para a soja do Mato Grosso, considerando múltiplos fatores, confirmaram a forte influência dos portos das regiões Sul e Sudeste, e concluíram que o Arco Norte é uma opção logística promissora que demanda investimentos. Contudo, a seleção das principais rotas e maiores municípios produtores influencia as análises. A seleção mascara uma visão mais ampla, em detrimento de regiões onde a expansão da produção de grãos ainda está em curso, e não dispõe de opções consolidadas de modais. O comportamento da logística agroindustrial é dinâmico, sendo influenciado por fatores relacionados aos custos de transporte, que podem ser alterados a cada safra, modificando o *trade-off* de destino em cada origem produtora (EMBRAPA, 2016).

Trabalhos que analisam os projetos de infraestrutura logística planejados também são frequentemente encontrados, como Lopes; Lima e Ferreira (2016) e Branco et al. (2020). Ambos os trabalhos utilizam de modelos de otimização para explorar diferentes cenários e infraestruturas ainda em planejamento e seus impactos na rede logística brasileira. Os resultados dos trabalhos indicam a necessidade de investir e focar as exportações da soja brasileira nos portos do Norte do Brasil, a fim de aumentar a competitividade do agronegócio do país.

Lopes, Lima e Ferreira (2016) mostram que rotas para os portos como Santarém e Barcarena devem ser mais exploradas e suas vias de acesso a partir das principais áreas produtoras mais estruturadas. Importante destacar a respeito da possibilidade de sobrecapacidade dos portos nas Regiões Sul e Sudeste, indicando também a necessidade de rotas alternativas de transporte para exportar soja no Brasil. Contudo, não fica claro quais os limites geográficos da influência dessas estruturas, principalmente sobre o estado maior produtor de soja, uma vez que possui grande dimensão e suas porções norte e sul possuem dinâmicas e rotas distintas, e entre elas há diversos municípios produtores ainda em expansão.

Vários modelos utilizam Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para representação dos dados e dos resultados (MAPA; LIMA, 2012; OLIVEIRA, CICOLIN e FILASSI, 2019; BRANCO et al., 2020), mas apenas uma parcela adota a modelagem espacialmente explícita como em Costa (2013) e Castro et al. (2015).

Costa (2013) caracterizou as principais rotas utilizadas para a exportação da soja produzida no Brasil, analisando o custo de transporte, a influência e a efetividade dos investimentos previstos, utilizando a base de dados do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) de 2010. Para isso, utilizou médias nacionais de fretes para cada modal e construiu superfícies de fricção para a análise. O trabalho chega a revelar regiões de influência dos portos brasileiros para a exportação de soja, porém ao longo dos anos novas estruturas foram construídas, alterando significativamente a dinâmica de preços de fretes. Alguns exemplos dessas obras são o transbordo e armazém de grãos e açúcar do Terminal Integrador Uberaba (VLI, 2017), e a Estação de Transbordo de Carga (ETC) de Miritituba (HBSA, 2020).

A ETC rodo-hidroviária de Miritituba, inaugurada em 2016 no município de Itaituba-PA, recebe os caminhões que chegam com a mercadoria pela BR-163 e realiza o carregamento em barcaças, que conduzirão a mercadoria por hidrovia até o porto para exportação (HBSA, 2020).

A determinação da área de influência dos portos foi previamente apresentada pela Embrapa Territorial, que nomeou essas áreas de influência como bacias logísticas. As bacias logísticas exercem papel importante na determinação da eficiência de cadeias produtivas e ajuda a explicar os ganhos de competitividade potenciais. O

modelo de bacias logísticas da Embrapa (CASTRO et al., 2015, 2019) foi desenvolvido pelo Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE) da Embrapa Territorial no projeto Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrologística Agropecuária Brasileira (EMBRAPA, 2016). O trabalho identificou os fluxos de transporte de grãos (soja e milho) com destino aos portos de exportação na safra 2015. O modelo aponta o porto de destino mais praticado pelas regiões produtoras a partir dos dados de exportação e do fluxo de cargas.

Para ilustrar como a produção de grãos escoar para os portos, baseado em um conceito equivalente ao de bacias hidrográficas, as áreas de atendimento dos portos foram nomeadas como bacias logísticas (CASTRO et al., 2015, 2019). Um município pertencer a uma determinada bacia logística significa que ele, preferencialmente, envia suas cargas aos portos contidos nesta delimitação.

O presente trabalho utiliza de métodos geoestatísticos para a construção de superfícies de custos, considerando como principal variável de influência os fretes dos diferentes modais. A geoestatística possibilita que os dados amostrados possam ser usados para a estimação de valores nos lugares em que a variável não seja conhecida. Esse tipo de análise leva em consideração a autocorrelação das variáveis regionalizadas, onde deve existir uma dependência espacial. Essa dependência espacial pode ser visualizada a partir de um semivariograma, ferramenta fundamental para descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado (SILVA, 2016; SANTOS, 2010).

Com a confirmação da dependência espacial através da análise do semivariograma, a partir de suas propriedades características – amplitude, patamar e efeito pepita (YAMAMOTO, 1999), é possível fazer previsões em locais não amostrados, por meio de um preditor chamado de krigagem. Este, consiste em ponderar os vizinhos mais próximos do ponto a ser estimado, obedecendo os critérios de não tendenciosidade, que significa que em média, a diferença entre valores estimados e observados para o mesmo ponto deve ser nula e ter mínima variância. Isso é uma grande vantagem da krigagem em relação a outros métodos, já que os estimadores possuem a menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos (WEBER; ENGLUND, 1992; GREGO et al, 2014).

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A descrição da metodologia foi dividida em quatro subseções: (1) descrição da área de estudo e dos dados, (2) tratamento dos dados, (3) construção das superfícies de custo e (4) delimitação da área de influência dos portos.

### **Descrição da área de estudo e dos dados**

O estado de Mato Grosso, maior produtor de soja brasileiro, apresentou na safra 2019/2020 uma produção de cerca de 35 milhões de toneladas (IBGE, 2020). O estado também é líder em exportações de soja em grãos, cerca de 20 milhões de toneladas exportadas em 2019 (IMEA, 2020). O escoamento é direcionado principalmente para os portos de Santos (SP), Vitória (ES) e Paranaguá (PR), com o modal rodoviário sendo o mais utilizado (CNT, 2017).

O Frete unitário por rota rodoviária (FrtRt – R\$/tkm) corresponde ao preço em reais (R\$) para transportar uma tonelada (t) de carga por um quilômetro (km). O FrtRt

foi extraído de uma base com dados do relatório SIFRECA, produzidos pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG/USP). Foram utilizados dados de fretes mensais de soja de 2012 a 2018 para rotas com origem no estado de Mato Grosso e destinadas à exportação. Destes fretes, foram selecionados os meses de fevereiro, março e abril, pois representam o pico logístico da soja.

Os dados de frete unitário selecionados foram corrigidos pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) para 2018 (IBGE, 2019). O FrtRt foi utilizado em conjunto com as feições da infraestrutura logística (Tabela 1) para referenciamento no espaço e construção de uma superfície de custos rodoviários. O FrtRt foi validado com fretes médios determinados pelo Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (IMEA).

Os valores de fretes médios praticados por ferrovias e hidrovias do Brasil foram obtidos em IMEA (2016). O frete ferroviário médio foi 0,09844 R\$/t.km. O frete hidroviário médio foi 0,04377 R\$/t.km. As taxas de elevação portuária foram obtidas em Silva Neto (2018) e as tarifas de transbordo em Faretto e Oliveira (2019) e Milanez (2014). Todos os dados foram corrigidos para valores correntes de 2018, com base no IPCA.

**Tabela 1** – Fontes de dados de infraestrutura logística existente para construção da base.

<b>Tipo de infraestrutura</b>	<b>Fonte</b>	<b>Formato do arquivo</b>
Rodovias	IBGE (2014))	Shapefile
Hidrovias	IBGE (2014); ANTAQ (2014)	Shapefile
Ferrovias	IBGE (2014)	Shapefile
Transbordos	IBGE (2014)	Shapefile
Portos	IBGE (2014); BRASIL (2019)	Shapefile; Planilha eletrônica

Fonte: ANTAQ (2014), IBGE (2014) e BRASIL (2019)

Todas as rodovias estaduais e federais foram consideradas. Somente as hidrovias em situação de operação e navegáveis foram selecionadas. As ferrovias em operação onde ocorreu movimentação de produtos agrícolas no período 2012-2018 foram selecionadas. Todas as demais ferrovias foram desconsideradas. Os portos exportadores foram selecionados de acordo com o volume exportado de soja do Mato Grosso (BRASIL, 2019). Para os transbordos, foram considerados todos aqueles dentro das rotas identificadas no levantamento de dados. Além da infraestrutura física, também foram identificados as principais origens e destinos da soja (IBGE, 2020; BRASIL, 2019).

### **Tratamento de dados**

As origens e destinos foram associados aos seus respectivos geocódigos, disponíveis pelo IBGE (2020), possibilitando a geração de informações numéricas concatenadas com origem/destino, para facilitar o relacionamento dos dados e o processamento computacional. Devido à existência de origens que não eram municípios e, portanto, não possuem geocódigo associado, foi realizada uma correção adicionando um zero no final de todos os municípios. Para as localidades não geocodificadas, foi adicionado um índice entre 1 e 9 ao final do geocódigo do município correspondente.

Verificou-se a existência de 789 rotas origens-destino, porém muitas com apenas um dado para todo o horizonte de tempo. Por isso, foram excluídas as rotas com percentual de dados faltantes superior a 70%. Também foram excluídos da análise as rotas cujo destino correspondia a complexos agroindustriais e não necessariamente direcionavam a soja para exportação. Na sequência foi realizada uma análise de outliers para identificar e excluir rotas com valores muito discrepantes. Além disso, foi realizado preenchimento de dados faltantes para as rotas que restaram. Após as correções e ajustes nos dados, as rotas foram reduzidas a 306, com 34 origens e 52 destinos únicos. O ano de 2018 foi definido como ano-base da análise, sendo que todos os dados de anos anteriores foram ajustados utilizando o IPCA.

Considerando que os trechos de ferrovias e hidrovias, geralmente, não possuem muitas opções de trajeto ao longo do percurso e costumam conectar a dois pontos específicos, todos os transbordos foram associados ao seu respectivo porto de exportação. Dessa forma, a modelagem foi feita apenas para a movimentação rodoviária, mas considerando as opções intermodais com seus respectivos custos.

Portos e transbordos foram reunidos em uma única base e definidos como destinos rodoviários. Para cada um destes destinos foi calculado um custo inicial. No caso dos portos, referentes à tarifa de recepção e elevação. Para os transbordos foram calculadas composições de custos, somando-se às taxas portuárias os custos de transbordo e frete, referentes a movimentação da soja de cada transbordo até seu respectivo porto exportador.

### Construção da superfície de custos

Os valores de fretes unitários rodoviários foram interpolados através de krigagem ordinária dos dados (KRIGE, 1966; WEBSTER e OLIVER, 2007; WEBER e ENGLUND, 1992). O modelo geoestatístico de interpolação foi ajustado levando em consideração a maneira como o  $FrtRt$  varia no espaço por meio do semivariograma (JOHNSTON et al., 2001; WEBSTER; OLIVER, 2007), que é a forma matemática utilizada para expressar a autocorrelação (Equação 1), um meio de explorar as relações espaciais.

O semivariograma empírico é a representação gráfica das semivariâncias médias, para cada bloco de pontos situados dentro de uma distância limite, em função do *lag* espacial. O ajuste do semivariograma ao modelo foi otimizado utilizando validação cruzada. O modelo estável da Figura 1 apresentou o melhor ajuste para o conjunto de dados de frete unitário.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (1)$$

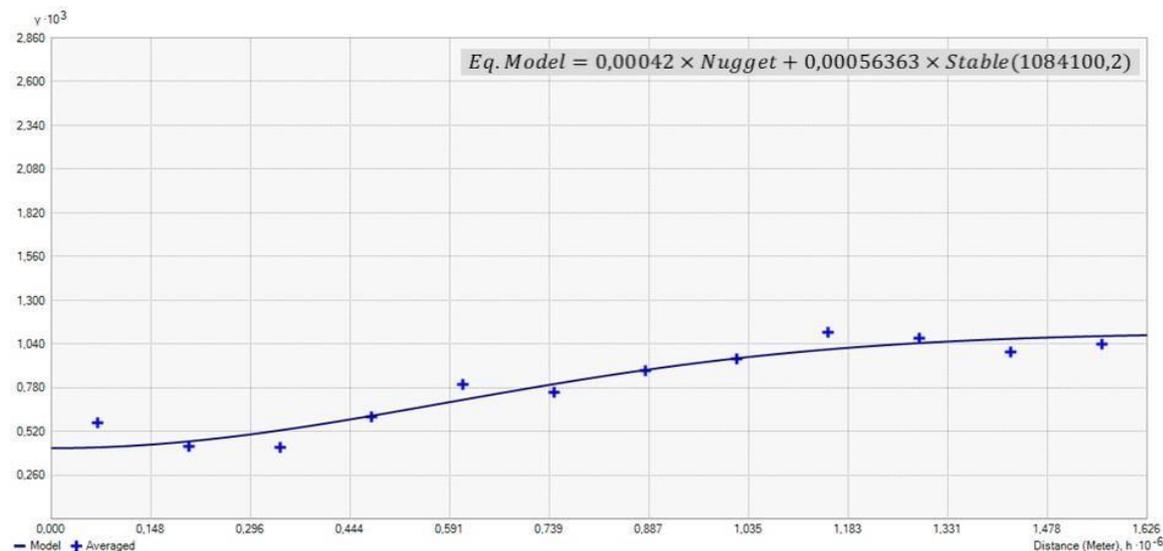
Onde:

$\gamma(h)$  é a semivariância para uma determinada distância  $h$

$Z(x)$  é o valor de uma função randômica em  $x$

A Figura 1 apresenta o ajuste dos dados ao modelo de semivariograma estável (Equação 2), modelo exponencial ponderado por um coeficiente  $\alpha$ , entre os modelos exponencial puro,  $\alpha=1$ , e o gaussiano,  $\alpha=2$ . A interpolação por krigagem ordinária foi realizada seguindo a equação indicada na mesma Figura 1.

**Figura 1** - Semivariograma otimizado do modelo de krigagem ordinária dos dados



Fonte: Elaborado pelos autores.

Houve um crescimento exponencial da autocorrelação espacial (equivalente ao aumento da semivariância) seguido por um crescimento progressivo e um decréscimo exponencial, finalmente atingindo uma distância onde a autocorrelação entre os valores de FrtRt é zero.

$$\gamma(h; \theta) = \theta_s \left[ 1 - \exp \left( -3 \left( \frac{\|h\|}{\theta_r} \right)^\alpha \right) \right] \quad \text{para todo } h \quad (2)$$

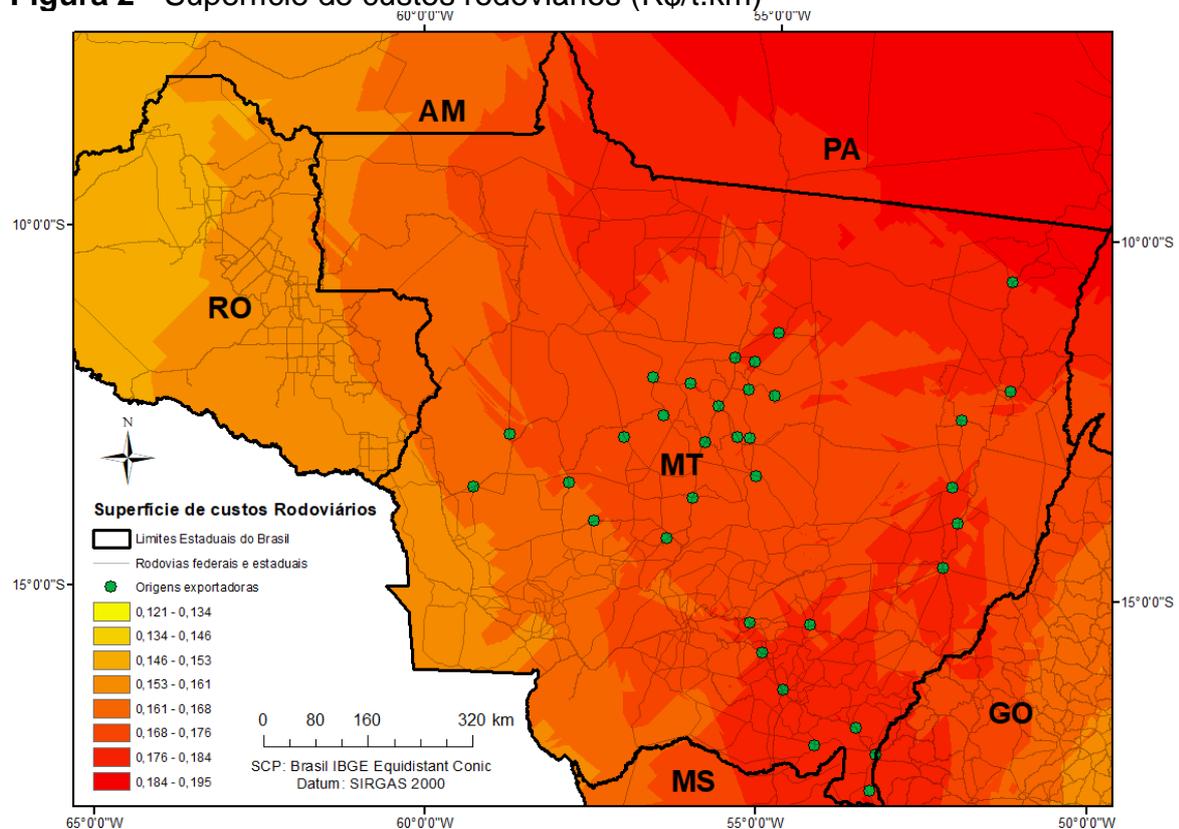
Onde:

$\theta_s \geq 0$  é o parâmetro patamar e  $\theta_r$  o alcance  
 $0 \leq \alpha \leq 2$

A interpolação dos valores de FrtRt, de acordo com o gráfico e equação apresentados na Figura 1, serviu para adicionar valores às rotas que não possuíam informações. Além disso, como a base geoespacial de infraestrutura logística não possui todas as vias existentes, foram atribuídos valores de frete unitário mais altos para as áreas fora das rodovias, de forma a permitir o deslocamento nessas áreas, porém com um custo maior (Figura 2).

A superfície de custo da Figura 2 indica que o frete rodoviário da soja com origem no Mato Grosso em direção aos portos da região Norte e Nordeste é maior. A região Norte do estado detém os maiores custos em R\$/t.km, ficando entre 0,184-0,195 (Figura 2). Esta distribuição dos custos também permite avaliar o impacto do frete na determinação das regiões de influência dos portos.

**Figura 2 - Superfície de custos rodoviários (R\$/t.km)**



Fonte: Elaborado pelos autores.

## Delimitação das áreas de influência dos portos

Baseado no conceito de bacias logísticas criado pela Embrapa (CASTRO et al., 2015, 2019; EMBRAPA, 2016), foi proposta uma metodologia que transpõe os conceitos de direção de fluxo e acumulação de fluxo, utilizados na hidrologia, para delimitação das áreas de influência dos portos exportadores. A direção de fluxo foi determinada para todos os pixels da superfície de custos previamente construída.

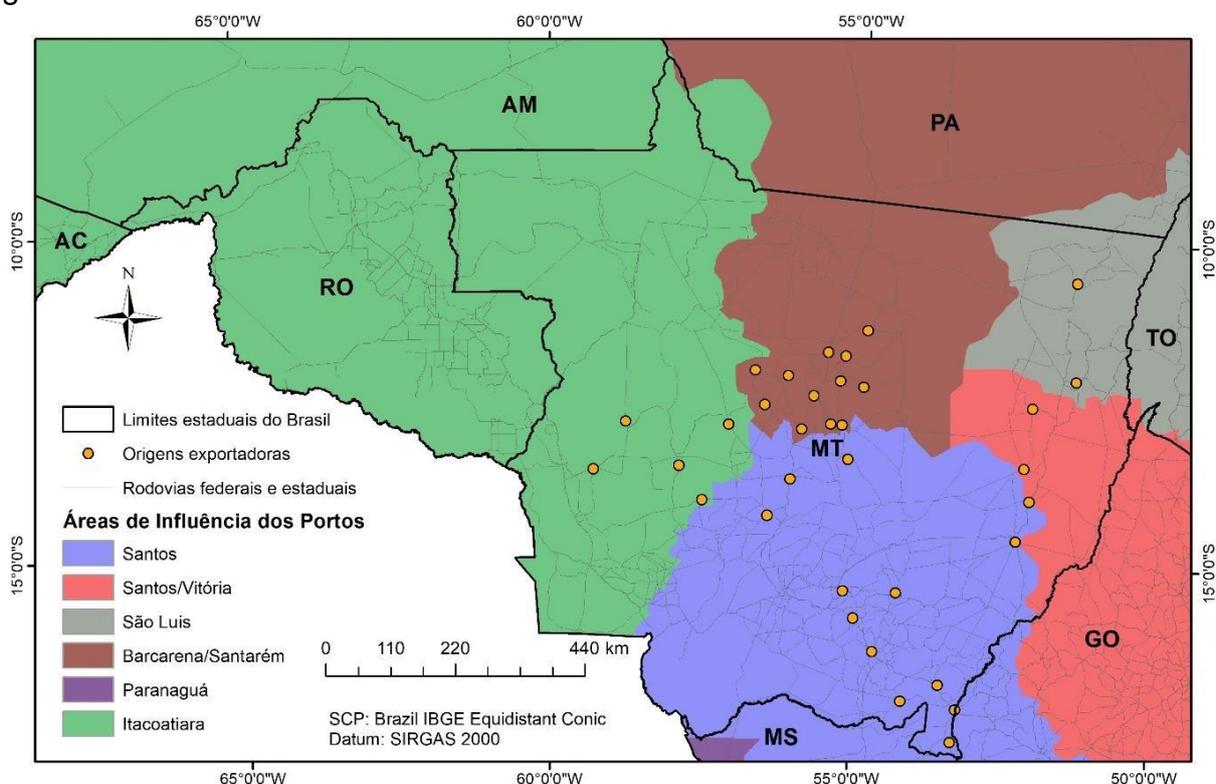
A delimitação das áreas de influência dos portos foi realizada por alocação de custos. Foram inseridos os custos iniciais para todas as localidades identificadas como destinos, e a partir delas geraram-se zonas ponderadas de acordo com os custos rodoviários. O modelo utilizou a teoria dos grafos (BONDY e MURTY, 2008) para calcular em cada célula da superfície de custos sua célula fonte de menor custo. Na sequência, novamente para cada célula, foi determinado o menor custo acumulado partindo de um porto exportador. A reunião das diversas células que apontam para um mesmo porto delimitou uma bacia logística, ou área de influência do porto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os onze portos selecionados para estudo, foram delimitadas cinco bacias logísticas cujas áreas alcançam o estado do Mato Grosso (Figura 3). Nenhum porto da região sul apresentou área de influência que alcançasse os limites mato-grossenses, contrariando o que ocorreu na prática entre 2012 e 2018, em que os portos de Paranaguá (PR) e Rio Grande (RS) receberam cargas de soja para exportação.

Os resultados corroboram a importância da bacia logística de Santos (SP) para a soja, também observada em Castro et al. (2019). O porto paulista exerce grande influência na região central, sudoeste e leste do estado mato-grossense, principalmente devido à existência dos transbordos rodoferroviários de Rondonópolis, Itiquira, Alto Araguaia e Alto Taquari.

**Figura 3** - Áreas de influências dos portos exportadores de soja em território mato-grossense.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A região do Triângulo Mineiro é um destino rodoviário para a soja das regiões centro-leste mato-grossense e Vale do Araguaia, que apresenta duas opções de portos para exportação. A região destacada em vermelho na Figura 3 representa uma bacia de indiferença logística, onde as cargas de Mato Grosso preferencialmente seguem de caminhão até o Triângulo Mineiro e lá acessam transbordos rodoferroviários com destino ao porto de Vitória (ES) ou de Santos (SP). A bacia logística do porto de Vitória foi a única com influência na região centro-leste de Mato Grosso até 2016.

De acordo com o estudo realizado pela Embrapa (2016), os transbordos de Uberlândia e Araguari escoavam seus grãos de soja para o porto de Vitória, sendo o transbordo localizado no município de Araguari o principal destino rodoviário da soja mato-grossense. Entretanto, em junho de 2016, o transbordo e armazém de grãos e açúcar do Terminal Integrador Uberaba passou a ser operado pela empresa VLI Logística para integrar ao Terminal Integrador Portuário Luiz Antônio Mesquita

(Tiplam), em Santos (VLI, 2017; ALVES e BARBOSA, 2017), fazendo com que a região também estivesse sob influência do porto santista.

A partir do modelo os portos de Santarém (PA) e Barcarena (PA) apresentaram grande área de influência na região centro-norte do Mato grosso. Contudo, a movimentação de cargas para esses portos do Arco Norte é muito inferior quando comparadas aos portos do Sudeste, sendo em alguns casos preteridas. Isso ocorre, pois, o transporte de cargas até os portos ou transbordos possui uma quantidade baixa de opções rodoviárias, tendo como principal opção a BR-163. Esta rodovia, iniciada ainda na década de 1970, teve sua pavimentação entre os municípios de Sinop (MT) e Miritituba (PA) concluída em 2020 (DNIT, 2020). O custo do transporte passa a ser favorável após o transporte ser realizado em hidrovia, através do transbordo de Miritituba (PA), que passou a operar em 2017 (MENEZES, 2017). Essa bacia compreende uma região de fronteira agrícola que tem aumentado a produção nos anos recentes. O município de Sorriso (MT) – maior produtor de soja do Brasil – localiza-se nessa bacia, mas próximo da divisa com a bacia do porto de Santos (SP).

A bacia do porto de São Luís (MA) é o principal destino para a produção do centro-leste do estado mato-grossense. O modelo confirma a preferência para a região do Vale do Araguaia por este porto (Figura 3). Isso deve-se à forte influência do valor de frete relacionado a ferrovia Norte-Sul, mostrando a importância dos transbordos de Porto Nacional (TO) e Palmeirante (TO) para esta região.

O porto de Itacoatiara (AM), mostrou influência para as regiões oeste e noroeste do estado de Mato Grosso (Figura 3). Isso ocorreu devido à presença do transbordo rodo- hidroviário de Porto Velho (RO). A soja chega ao porto amazonense através de um trecho rodoviário até o transbordo e segue pela hidrovia do Rio Madeira.

## CONCLUSÕES

O modelo construído delimitou as áreas de influência logística dos portos brasileiros para a soja com origem no estado de Mato Grosso. A delimitação foi feita segundo os custos de transporte. Foram considerados conjuntamente uma superfície de custos rodoviários e uma base de custos logísticos agregados - dos destinos rodoviários até a exportação. Comparações com estudos anteriores foram realizadas a fim de validar os resultados alcançados e discutir as diferenças encontradas.

Os resultados corroboram a influência do porto de Santos (SP) para a soja mato-grossense, assim como a importância da pavimentação da BR-163 para a logística da região Centro-Norte do estado. Além disso, foi possível a identificação de uma região de indiferença logística para a soja produzida no leste mato-grossense, que apresenta duas opções de portos exportadores como destino, Santos (SP) e Vitória (ES).

A soja é uma das principais cargas na logística agropecuária do país. Os fluxos de exportação do grão e sua forma de utilização dos modais contribuem na determinação do escoamento de outros produtos agropecuários. O escoamento da soja de Mato Grosso acontece prioritariamente por mais de um modal para todas as regiões de influências encontradas no estado. Assim, destaca-se que os portos que apresentaram influência logística no estado obtiveram tal resultado devido às suas ligações ferroviárias ou hidroviárias, que são acessadas através de rodovias conectadas às regiões produtoras de soja.

Existem muitas aplicações práticas para os resultados deste estudo, uma vez que o artigo avaliou a dinâmica de exportação de um dos principais produtos de

exportação do Brasil. Um exemplo é a comparação das bacias esperadas a partir dos custos de transporte *versus* as bacias praticadas, com desdobramento sobre o planejamento operacional. Outra aplicação é o subsídio ao planejamento dos transportes, na avaliação de possíveis obras e projetos. O setor portuário também pode ser beneficiado para ajustar a infraestrutura dedicada a movimentação de grãos agrícolas, bem como na avaliação da estrutura atual.

Considerando os resultados obtidos, trabalhos futuros incluem a repetição do modelo utilizando um banco de dados de fretes rodoviários de todo território brasileiro. Outra possibilidade é a aplicação da metodologia em diferentes locais e/ou produtos. Além disso, o modelo proposto possibilita a simulação de cenários futuros. Por fim, pode-se aprofundar os estudos sobre o conceito de regiões de indiferença de custos logísticos, desenvolvido a partir do modelo apresentado.

A ampliação do estudo para todo território brasileiro possibilita reavaliar e expandir o modelo em um novo contexto. Apesar da consistência de resultados, o modelo apresenta limitações quanto às geometrias esperadas fora dos limites do estado de Mato Grosso. À medida que a distância em relação ao referido estado aumenta, as áreas sofrem pequenas distorções e podem não representar a realidade com exatidão. Isso acontece devido à própria limitação do banco de dados utilizado, que contou com dados de fretes rodoviários apenas de origens mato-grossenses.

O conceito de bacias logísticas é principalmente relevante em análises de macro logística, que subsidiem o planejamento estratégico. A compreensão dos fluxos na cadeia de grãos, e seus subprodutos, é fundamental para planejar obras e intervenções na macro logística que ampliem a competitividade da agropecuária brasileira (EMBRAPA, 2016). Portanto, destaca-se a importância da ampliação do estudo para todo território brasileiro e as possibilidades criadas pela simulação de cenários futuros, que incorporem projetos logísticos ainda não existentes.

A simulação de cenários permite avaliar a mudança na configuração das bacias e o possível impacto na dinâmica logística causados por novos projetos de infraestrutura. A avaliação da metodologia em um produto agrícola que apresente uma dinâmica logística diferente também seria interessante para reavaliar a metodologia proposta e identificar possíveis adaptações.

O estudo das regiões de indiferença logística é o trabalho futuro mais promissor, devido à importância estratégica destas regiões para o escoamento de produtos agrícolas. Localizadas onde ocorre o *trade-off* de destino exportador, elas oferecem mais possibilidades para o produtor e possivelmente reduzem o custo logístico para o escoamento dos produtos. No presente artigo, a região do Triângulo Mineiro foi assim identificada pelo modelo. Todavia estudos específicos e mais detalhados podem ser realizados com objetivo de identificar e avaliar apenas essas regiões.

## **Agradecimentos**

A pesquisa foi parcialmente financiada pelo Projeto Processo nº 2018/19571-1, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com a bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ. **Hidrovias Brasileiras: Indicadores dos transportes de carga**, 2014. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/index.php/estatisticas/estatisticas-da-navegacao-interior/>. Acessado em 01 de agosto de 2019.

ALVES, F.O.; BARBOSA, D.D.G. Agência de Promoção de Investimento e Comércio Exterior de Minas Gerais - INDI. **A Força do Triângulo Mineiro**, 2017. Disponível em: <http://www.indi.mg.gov.br/a-forca-do-triangulo-mineiro/>. Acessado em 01 de maio de 2020.

BRANCO, J.E.H.; BARTHOLOMEU, D.B.; ALVES JUNIOR, P.N.; CAIXETA FILHO, J.V. Evaluation of the economic and environmental impacts from the addition of new railways to the Brazilian's transportation network: An application of a network equilibrium model. **Transport Policy**, In Press, March, 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. **COMEX STAT**, Estatísticas do Comércio Exterior, 2019. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acessado em 12 de abril de 2019.

BONDY, J. A., MURTY, U.S.R. **Graph Theory**. New York: Springer, 2008. 651 p.

CASTRO, G. S. A. et al. **Delimitação das Bacias Logísticas**. Embrapa Territorial. Campinas, SP: Embrapa, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/macrologistica/bacias>. Acesso em: 20 maio. 2020.

CASTRO, G. S. A. et al. Macrologística: Caracterização das bacias logísticas da agropecuária brasileira. (D. F. M. Gherardi, I. D. Sanches, L. E. O. e C. Aragão, Eds.). **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Santos, SP, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/>. Acesso em: 17 jun. 2020.

Confederação Nacional do Transporte - CNT. **Transporte & Desenvolvimento Entraves Logísticos ao Escoamento de Soja e Milho**, 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/pesquisas>. Acessado em 07 de abril, 2019.

COLETI, J.C.; OLIVEIRA, A.L.R. A intermodalidade no transporte de etanol brasileiro: aplicação de um modelo de equilíbrio parcial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, n. 1, p. 127-144, 2019.

COSTA, W.L.S. **Modelagem e caracterização das rotas de exportação da Soja**. Dissertação de mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Brasil. 2013.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Pavimentação da BR- 163/PA: momento histórico para infraestrutura brasileira**. 2020. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/noticias/>. Acessado em 01 de maio de 2020.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Embrapa Territorial. **Macrologística da Agropecuária Brasileira: Delimitação das Bacias Logísticas**. Estudos Logísticos, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/macrologistica/estudos-logisticos>. Acessado em 07 de abril, 2019.

FATORETTO, S.L.R.; OLIVEIRA, A.L.R. A eficiência logística das rotas de exportação de soja: um indicador baseado na Análise Envoltória de Dados (DEA). **Agrarian**, v. 12, n.45, p. 383-398, 2019.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C. et al. (Ed. Tec.) **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**, Brasília, DF: Embrapa, 2014, p. 74, cap.5.

Hidrovias do Brasil S.A. - HBSA. **Projetos Logísticos**, 2020. Disponível em: <http://hbsa.com.br/projetos-logisticos>. Acesso em: novembro de 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Geociências: redes e fluxos geográficos**, 2014. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: agosto de 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo**, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos>. Acesso em: outubro de 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**, 2020. Disponível em: <https://sidra.isbge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: julho de 2020.

Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária - IMEA, **Relatórios de Mercado Soja**, 2016. Disponível em: <http://www.imea.com.br>. Acesso em: setembro de 2019.

Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária - IMEA, **Relatórios de Mercado Soja**, 2020. Disponível em: <http://www.imea.com.br>. Acesso em: agosto de 2020.

JOHNSTON, K.; VER HOEF, J. M.; KRIVORUCHKO, K.; LUCAS, N.. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst** ESRI. Redlands, CA: ESRI, 2001.

KRIGE, D. G. Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for revaluation. **Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 66, p. 13–38, 1966.

KUSSANO, M.R.; BATALHA, M.O. Custos logísticos agroindustriais: avaliação do escoamento da soja em grão do Mato Grosso para o mercado externo. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 3, p. 619–632, 2012.

LOPES, H.S.; LIMA, R.S.; FERREIRA, R.C. A cost optimization model of transportation routes to export the Brazilian soybean. **Custos e Agronegocio Online**, v. 12, n. 4, p.90-109, 2016.

MAPA, S.M.S.; LIMA, R.S. Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p. 119–136, 2012.

MENEZES, K. **Corredor Logístico do Arco Norte**, Secretária de Transportes do Pará. 2017. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/pa/sala-de-imprensa/documentos/2017>. Acessado em 01 maio de 2020.

MILANEZ, A.P. **Um modelo de design de rede para exportação de soja do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, 2014.

MORALES, P.R.G.D., D'AGOSTO, M. A.; SOUZA, C.D.R. Otimização de rede intermodal para o transporte de soja do norte do Mato Grosso ao porto de Santarém. **Journal of Transport Literature**, vol. 7, n. 2, pp. 29-51, 2013.

OLIVEIRA, A. L. R. A logística do agronegócio: para além do apagão logístico. In: BUAINAIN, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M. F. J.; NAVARRO, Z. (Orgs.). **O mundo**

**rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola.** 1ed. Brasília: Embrapa, 2014, v. 1, p. 337-370.

OLIVEIRA, A.L.R.; MASCARENHAS, C.; LOPES, B.F.R.; MORINI, C. Aplicação de Modelagem Matemática para Otimização da Logística de Exportação do Milho do Estado do Mato Grosso. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, p. 505-522, 18 nov. 2015.

OLIVEIRA, A.L.R.; ALVIM, A.M. The supply chain of Brazilian maize and soybeans: the effects of segregation on logistics and competitiveness. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 20, n.1, p. 1-18, 2017.

OLIVEIRA, A. L. R.; CICOLIN, L.; FILASSI, M. The logistic performance of Brazilian grains transportation. **Agrarian**, v. 12, n. 46, p. 521-527, 2019.

ROULET, M.C.; CAIXETA-FILHO, J.V.; YOSHIZAKI, H. T. Y. A Multiple-Criteria analysis application for vertical coordination in the transportation of agricultural commodities in Brazil. **Journal of Food Products Marketing**, v. 22, p. 1-13, 2016.

SANTOS, A.B.; SPROESSER, R.L.; BATALHA, M.O. Exploring strategic characteristics of intermodal grain terminals: Empirical evidence from Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 66, p. 259–267, jan. 2018.

SANTOS, A.P. **Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais com uso de estatística espacial.** Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2010.

SILVA, M. F. P. T. **Aplicação de técnicas estatísticas e geoestatísticas para estimativa de teores de ouro e modelamento de um depósito mineral - estudo de caso de Pilar de Goiás (GO).** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2016

SILVA NETO, S. **Impactos de investimentos em infraestrutura logística na Cadeia de Grãos do Brasil: Uma Aplicação de Programação Linear.** Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil. São Paulo, 2018.

VLI Logística – VLI. **Conheça a VLI: Terminal Integrador Uberaba (MG)**, 2017. Disponível em: <http://www.vli-logistica.com.br/conheca-a-vli/terminais/ti-uberaba/>. Acessado em 01 maio de 2020.

VURAL, C. A.; ROSO, V.; HALLDÓRSSON, Á., STÅHLE, G.; YARUTA, M. Can digitalization mitigate barriers to intermodal transport? An exploratory study.

**Research in Transportation Business and Management**, v. 37, p.100525, 2020. Disponível em :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210539519302585?via%3Dihub> . Acesso em 30 de setembro de 2021

WEBER, D.; ENGLUND, E. Evaluation and comparison of spatial interpolators. **Mathematical Geology**, v. 24, n. 4, p. 381–391, 1992.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2007.

YAMAMOTO, J. K; CONDE, R. P. Classificação de Recursos Minerais Usando a Variância de Interpolação. **Brazilian Journal of Geology**, 29,n.3, p. 349-356, 1999.