

## APLICAÇÃO DE MODELAGEM MATEMÁTICA PARA OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE EXPORTAÇÃO DO MILHO DO ESTADO DO MATO GROSSO

Andréa Leda Ramos de Oliveira\*

Calistênia Mascarenhas\*\*

Bruna Fernanda Ribeiro Lopes\*\*\*

Cristiano Morini\*\*\*\*

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho é estimar os fluxos das principais rotas do milho brasileiro produzido no Estado do Mato Grosso com destino à exportação. As estimativas foram feitas por meio de um modelo matemático baseado em matrizes origem-destino e avaliaram-se dois cenários: no primeiro analisou-se apenas as rotas que utilizam o modal rodoviário e, no segundo, acrescentaram-se rotas intermodais selecionadas. Como principais resultados, tem-se que o Porto de Santos é o principal destino da rota de exportação do milho mato-grossense, seguido pelo Porto de Paranaguá. No cenário dois, com a inclusão das opções intermodais de escoamento, a função objetivo teve uma redução de 6,3%. A rota rodo-hidroviária com destino ao Porto de Santarém/Manaus possui destacada vantagem competitiva, em termos de custos logísticos, para o milho produzido no Norte do Mato Grosso. Também se observou que a intermodalidade é uma das melhores formas para se alcançar uma maior eficiência na cadeia do milho, pois, além de reduzir os custos com frete, poderá refletir vantagens competitivas no mercado internacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Intermodalidade; Matriz Origem-Destino; Rotas Logísticas.

## THE APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING FOR THE LOGISTIC OPTIMIZATION OF CORN EXPORTS IN THE STATE OF MATO GROSSO, BRAZIL

---

\* Docente do curso de Engenharia Agrícola da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP; Doutora em Desenvolvimento Econômico pela Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), Brasil; E-mail: [andrea.oliveira@fca.unicamp.br](mailto:andrea.oliveira@fca.unicamp.br).

\*\* Mestre em Pesquisa Operacional pela Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas (SP), Brasil.

\*\*\* Mestre em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas (SP), Brasil.

\*\*\*\* Docente do curso de Administração da Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas (SP), Brasil; Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba (SP), Brasil.

---

**ABSTRACT:** Current analysis estimates the flow of the main routes of Brazilian corn produced in and exported from the state of Mato Grosso, Brazil. A mathematical model based on origin-end matrixes produced estimates and evaluated two cases: the first case investigated highway routes, whilst the second added selected intermodal ones. Results show that the Port of Santos, followed by that of Paranaguá, is the final destination of corn from Mato Grosso for export. The second scenario, featuring the inclusion of intermodal options, the aim function had a 6.3% decrease. The highway-waterway route for the Port of Santarém/Manaus has highly competitive advantages, in terms of logistic costs, for corn produced in the northern region of the state of Mato Grosso. Intermodality is perhaps one of the best ways for higher efficiency in the corn chain. Besides decreasing freight costs, it has competitive advantages in the international market.

**KEY WORDS:** Intermodality; Origin-End matrix; Logistic Routes.

## INTRODUÇÃO

A expansão do agronegócio tem sido marcante na economia brasileira, caracterizando-se por cadeias produtivas cada vez mais integradas e pelo uso intensivo de capital nos diversos segmentos que o compõe. Considerando-se alguns aspectos, tais como: a elevada participação no Produto Interno Bruto (PIB), manutenção do superávit da balança comercial e a contribuição para o controle da inflação, evidencia-se sua importância como setor econômico pujante (GASQUES, 2010).

Apesar da recente crise financeira mundial, o PIB do agronegócio vem se mantendo nos últimos anos. Em 2013, o PIB do setor foi de R\$ 1,09 trilhões, alta de 3,9% em comparação com 2012, o que representou 22,6% do PIB nacional. Parte deste bom desempenho se deve ao crescimento firme de algumas atividades, a exemplo da soja e do milho (CEPEA, 2013).

A produção de milho no Brasil, juntamente com a de soja, contribui aproximadamente com 85% da produção de grãos no país (CONAB, 2014). Diferentemente da soja, a qual possui liquidez imediata, o milho brasileiro tem sua produção voltada para o abastecimento interno. Porém, recentemente, as exportações desse grão vêm sendo realizadas em quantidades expressivas e contribuindo para

maior sustentação dos preços internos do milho. Em 2013, foram exportados 26,6 milhões de toneladas de milho, crescimento de 34,5% em relação ao ano anterior (MDIC, 2014).

Os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, China e Brasil. Na safra 2013/14, a produção norte-americana atingiu 353,7 milhões de toneladas, enquanto que a produção chinesa foi de 217,7 milhões de toneladas e a brasileira chegou a 76,0 milhões de toneladas (USDA, 2014).

Mas em termos de abastecimento do mercado mundial, este quadro se altera. Na safra 2013/14 a demanda foi atendida por quatro países: Estados Unidos (48 milhões de toneladas), Brasil (20,5 milhões de toneladas), Ucrânia (20 milhões de toneladas) e Argentina (9,5 milhões de toneladas), que juntos abasteceram 82% do mercado (USDA, 2014).

Uma das vantagens dos Estados Unidos e da Argentina diz respeito à logística. No caso dos Estados Unidos, os ganhos de competitividade deste mercado podem estar associados à favorável estrutura de transporte com a prática da intermodalidade, sobretudo com o uso de hidrovias para escoar os produtos agrícolas. Já no caso da Argentina, a proximidade das zonas produtoras com os portos de exportação apresenta-se como principal fator competitivo. No caso do Brasil, apesar de figurar entre os principais exportadores, tem sua competitividade afetada em função da infraestrutura de transporte deficitária, prejudicando o país na busca de uma presença maior e constante no comércio internacional de milho (LOPES, 2012).

Outro fator relevante para a contribuição do bom desempenho da produção de grãos é a expansão da fronteira agrícola para as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil. Tal acontecimento proporciona maiores ganhos de produção de importantes *commodities* agrícolas e uma maior inserção no comércio mundial de alimentos.

Na safra 2012/13 o milho deteve cerca de 43,2% da produção nacional de grãos, com um total de 81,5 milhões de toneladas. Os principais Estados produtores são Mato Grosso (24,4% da produção), Paraná (21,6%) e Mato Grosso do Sul (9,6%) (CONAB, 2014).

No Estado do Paraná, a produção de milho ocorre em decorrência da avicultura e suinocultura. Já no Mato Grosso, a indústria processadora e o mercado

internacional são os principais destinos. Em 2013, somente o Estado do Mato Grosso foi responsável por 58,9% das exportações brasileiras de milho. Segundo dados do MDIC (2014), as exportações mato-grossenses totalizaram 15,6 milhões de toneladas, seguidas pelo Estado do Paraná com 3,8 milhões de toneladas (14,4% das exportações).

Segundo Caixeta Filho (2001), o que é observado na economia agrícola brasileira nas últimas décadas é a verdadeira revolução em seu arranjo espacial. O agronegócio ocupou fronteiras como Norte e Centro-Oeste, avançando para o Nordeste. Em geral, por meio de atividades que incorporam modernas tecnologias de produção. Dessa maneira, introduzindo toda uma cadeia de apoio para o negócio principal, ou seja, fornecedores de insumos, armazenadores e indústrias de processamento se aglomeram ao redor das zonas de produção, com o objetivo de minimizar custos de transporte, e atendendo os princípios de racionalidade econômica.

Mas um contraponto dessa migração produtiva precisa ser mencionado. O custo logístico no Brasil, em que predominam rodovias em condições precárias, baixa eficiência e falta de capacidade das ferrovias e desorganização e excesso de burocracia dos portos, acaba onerando o bem movimentado (OLIVEIRA; SILVEIRA; ALVIM, 2012).

Uma característica da cadeia produtiva do milho é a versatilidade do seu uso, desde o consumo agroindustrial até a ração animal. Assim, é preciso destacar a localização das unidades industriais de suínos e aves no Brasil. A região Sul ainda concentra a maioria da produção desses animais e vem apresentando crescimento dessa atividade. Mais recentemente, a produção de suínos e de frangos na região Centro-Oeste vem mostrando forte expansão, vinculada à crescente produção de soja e milho nessa região.

Esta breve caracterização indica que o gerenciamento e o planejamento de transporte apresentam-se como importante estratégia para ampliar a competitividade da cadeia do milho no Brasil. Por um lado, há uma tendência em se consumir o milho o mais próximo possível das áreas de produção, mas, por outro lado, quando se analisam as exportações do milho pelos portos brasileiros, encontram-se distâncias superiores a mil quilômetros a serem percorridas, o que implica em impacto de

custo de transporte (OLIVEIRA; SILVEIRA, 2013).

Desta forma, os custos de escoamento das safras têm sido um entrave para o Brasil transformar vantagens comparativas da produção em competitividade na comercialização. Isto ocorre em virtude da predominância do modal rodoviário na movimentação dos produtos, o que implica em uma redução de lucratividade dos produtores agrícolas em função do elevado custo de transporte.

Como afirmam Kerbache e Smith (2004), a realidade de muitas cadeias de suprimentos reside no fato de que os pontos de produção e consumo se encontram geograficamente muito dispersos, o que implica que os produtos sejam transportados por longas distâncias. Nesses casos, controlar os custos de transporte pode ser fundamental para a lucratividade do negócio.

Diante do avanço da exportação de milho no Brasil, estudos sobre o setor são relevantes e necessários. Como antes citado, o Estado do Mato Grosso é um importante produtor e exportador do grão e possui desvantagens locais em função das longas distâncias aos portos. Desse modo, o objetivo deste trabalho é a aplicação de um modelo matemático baseado no instrumental associado às matrizes origem-destino para estimar os fluxos ótimos de exportação do milho do Estado do Mato Grosso, e como hipótese de que o uso da intermodalidade é capaz de garantir vantagens competitivas e reduzir os custos logísticos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente artigo operacionaliza-se uma matriz de origem-destino, por programação linear, para estimar os fluxos de exportação do milho mato-grossense. Para alcançar o objetivo do estudo faz-se necessário formular um modelo matemático para identificar as rotas logísticas que impliquem em um menor custo para a movimentação do milho, cuja origem é o Mato Grosso e o destino são os portos que apresentaram maior escala de escoamento para a exportação do milho nos últimos anos.

Figueiredo, Leite e Caixeta Filho (2005) identificaram as melhores alternativas para o escoamento do algodão do Estado do Mato Grosso. Enquanto Martins e Caixeta Filho (1999) utilizaram um modelo de origem-destino para a racionalização

do uso da infraestrutura de transporte na comercialização da soja e do farelo no Estado do Paraná com base nos fretes, cujos resultados obtidos sinalizaram para o incremento muito significativo na utilização das ferrovias.

De forma geral, em uma matriz origem-destino as linhas e colunas representam cada uma das regiões envolvidas no modelo (Tabela 1). Os elementos  $T_{ij}$  representam as quantidades (produtos ou viagens) originados na região  $i$  e destinadas à região  $j$ . Já  $O_i$  representa o total de fluxo originado na zona  $i$ , enquanto  $D_j$  é o total de fluxo destinado à região  $j$ . O valor  $T$  é o fluxo agregado do produto entre as origens e destinos considerados. Os elementos da diagonal principal correspondem aos fluxos intra-regionais, e os demais representam fluxos inter-regionais (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 1995).

As linhas e as colunas representam cada uma das zonas/regiões pertencentes à área de estudo. Os elementos  $T_{ij}$  representam determinadas quantidades de fluxo de produto (no caso de cargas) ou de viagens (no caso de passageiros ou veículos) originados na zona  $i$  e destinados à zona  $j$ .

**Tabela 1.** Forma Geral de uma Matriz Origem-Destino.

Origens	Destinos							$\sum_j T_{ij} = T$
	1	2	3	...	$j$	...	$y$	
1	$T_{11}$	$T_{12}$	$T_{13}$	...	$T_{1j}$	...	$T_{1y}$	$O_1$
2	$T_{21}$	$T_{22}$	$T_{23}$	...	$T_{2j}$	...	$T_{2y}$	$O_2$
3	$T_{31}$	$T_{32}$	$T_{33}$	...	$T_{3j}$	...	$T_{3y}$	$O_3$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$i$	$T_{i1}$	$T_{i2}$	$T_{i3}$	...	$T_{ij}$	...	$T_{iy}$	$O_i$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$y$	$T_{y1}$	$T_{y2}$	$T_{y3}$	...	$T_{yj}$	...	$T_{yy}$	$O_y$
$\sum_i T_{ij}$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	...	$D_j$	...	$D_y$	$\sum_i T_{ij} = T$

Fonte: Martins e Caixeta Filho (1999).

Para Bovy e Stern (1990), um ponto relevante para a construção de uma matriz origem-destino é a delimitação da área de estudo, determinando assim as regiões de origem e destino. Kawamoto (1994) ressalta que a falta de informações sobre origens e destinos no planejamento de transporte pode ocasionar operação ineficiente do sistema, irracionalidade de custo e oferta insuficiente de transporte.

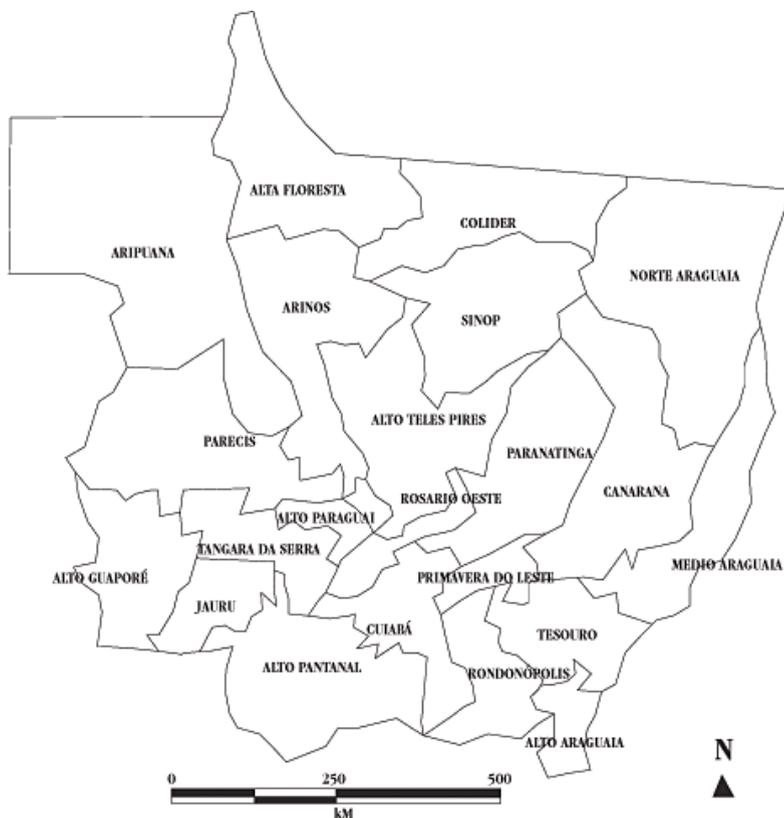
Segundo Hamerslag e Immers (1988), a matriz origem-destino é um instrumental adequado para estudos relacionados a transportes, dentre eles, programação e planejamento, avaliação das alternativas de escoamento e simulação de fluxos de tráfego.

Para compor o estudo foram utilizados dados referentes aos fretes praticados em 2012 (US\$/toneladas), que tiveram como fonte o Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA, 2012), enquanto dados referentes ao transbordo<sup>5</sup> e à tarifa portuária tiveram como base OLIVEIRA e SILVEIRA (2013). Os dados sobre o volume de exportação das microrregiões e a demanda dos portos tiveram como base os dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC, 2014). Em 2012, as exportações mato-grossenses de milho totalizaram 9.097,18 mil toneladas, sendo este o valor adotado.

Na busca de quantificar a oferta de milho no Estado do Mato Grosso, utilizou-se os dados de produção de 2012 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013). Foram consideradas 12 microrregiões mato-grossenses, de um total de 22, mais relevantes para a cultura do milho. São elas: Alto Teles Pires, Parecis, Primavera do Leste, Canarana, Sinop, Rondonópolis, Arinos, Tesouro, Alto Araguaia, Norte Araguaia, Paranatinga, Aripuanã, que correspondem a 96% de toda a produção estadual (Figura 1).

---

<sup>5</sup> Refere-se à transferência de uma carga de um modal para outro. Pode acontecer também na mudança de um veículo a outro.



**Figura 1.** Microrregiões do Estado do Mato Grosso

Fonte: ATANAKA-SANTOS et al. (2006).

É importante destacar que não está disponível a quantidade total exportada de cada microrregião mato-grossense, portanto no presente estudo adotou-se o coeficiente de participação de cada microrregião na produção total do Estado sobre o volume de exportação total estadual, resultando em uma estimativa das exportações por microrregião.

Já na quantificação da demanda, considerou-se o volume de exportações do Estado do Mato Grosso por meio dos principais portos, são eles: Santos (SP), Paranaguá (PR), Santarém (AM) e Manaus (AM). No estudo foi somada a quantidade demandada dos dois últimos portos, pois apresentam a mesma rota de transporte.

O custo total do transporte foi obtido por meio do frete praticado, acrescido da tarifa portuária de cada porto e da taxa de transbordo para as opções intermodais.

Após a coleta dos dados, foram construídos dois cenários. O cenário 1 considerou que as 12 microrregiões escoariam sua produção de milho apenas pelo modal rodoviário e, ainda, teriam como destino apenas os portos de Santos (SP) e Paranaguá (PR).

### Cenário 1

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^2 C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

s.a

$$\sum_{j=1}^2 X_{ij} \geq O_i, \text{ para todo } i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{12} X_{ij} \leq D_j, \text{ para todo } j \quad (3)$$

onde:

$$C_{ij} = F_{ij} + P_j$$

em que:

$Z$  = valor da função objetivo.

$C_{ij}$  = custo total de transporte entre a microrregião de origem  $i$  e o porto de destino  $j$ .

$F_{ij}$  = custo do frete entre a microrregião de origem  $i$  e o porto de destino  $j$ .

$P_j$  = custo portuário do porto de destino  $j$ .

$X_{ij}$  = quantidade exportada de milho entre a microrregião de origem  $i$  e o porto de destino  $j$ .

$O_i$  = quantidade ofertada de milho pela microrregião  $i$ .

$D_j$  = quantidade demanda de milho pelo porto  $j$ .

No Cenário 2, além das rotas praticadas no Cenário 1, foram incluídas as opções intermodais.

A opção rodoferroviária com a ALL (América Latina Logística) faz a ligação do Mato Grosso ao Porto de Santos. O milho parte das regiões produtoras por caminhão até o município de Alto Araguaia (MT), que dispõe de um terminal de transbordo ferroviário, e parte daí por ferrovia para o Porto de Santos. Ainda para os Estados do Centro-Oeste, outra opção logística que vem sendo utilizada também é a opção rodoferroviária com a ALL. O milho segue de caminhão dessas regiões produtoras até Londrina (PR) e segue de ferrovia aos portos do Sul

Uma rota alternativa utilizada principalmente pelo Norte do Mato Grosso é a Hidrovia do Madeira. O milho segue de caminhão até Porto Velho (RO), município no qual se localiza um terminal de transbordo hidroviário, e daí segue por hidrovia para o Porto de Santarém (AM) e Manaus (AM).

Assim, no Cenário 2 considerou-se as seguintes rotas:

- rodoviário direto para o Porto de Santos;
- rodoferroviário para o Porto de Santos via terminal de transbordo em Alto Araguaia (MT);
- rodoviário direto para o Porto de Paranaguá;
- rodoferroviário para o Porto de Paranaguá via terminal de transbordo em Londrina (PR);
- rodo-hidroviário para o Porto de Santarém/Porto de Manaus via terminal de transbordo em Porto Velho (RO);

### Cenário 2

$$MinZ = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^5 C_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

s.a

$$\sum_{j=1}^5 X_{ij} \geq O_i, \text{ para todo } i \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{12} X_{ij} \leq D_j, \text{ para todo } j \quad (6)$$

onde:

$$C_{ij} = CR + CM + T + P_j$$

em que:

$Z$  = valor da função objetivo.

$C_{ij}$  = custo total de transporte entre a microrregião de origem  $i$  e o porto de destino  $j$ .

$CR$  = custo do frete rodoviário entre a microrregião de origem  $i$  e o terminal ferroviário ou hidroviário.

$CM$  = custo do frete entre o terminal ferroviário ou hidroviário e o porto de destino  $j$ .

$T$  = custo do transbordo do modal rodoviário para o modal ferroviário ou hidroviário

$P_j$  = custo portuário do porto de destino  $j$ .

$X_{ij}$  = quantidade exportada de milho entre a microrregião de origem  $i$  e o porto de destino  $j$ .

$O_i$  = quantidade ofertada de milho pela microrregião  $i$ .

$D_j$  = quantidade demanda de milho pelo porto  $j$ .

A demanda dos portos foi ajustada pela oferta da produção mato-grossense, pois na cultura do milho esses portos exportam 89% de toda a produção do Mato Grosso.

Para o processamento das informações para o modelo de movimentação do milho do Estado do Mato Grosso com destino à exportação foi utilizado o programa computacional *General Algebraic Modeling System* - GAMS (BROOKE; KENDRICK; MEERRAUS, 1995).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos fluxos de exportação do Cenário 1 são mostrados na Tabela 2. Para esta análise, considerou-se a saída por dois portos (Santos e Paranaguá), fazendo uso apenas do modal rodoviário.

**Tabela 2.** Fluxos de origem e destino para o Milho para o Cenário 1, Estado do Mato Grosso, 2013 (mil t)

Microrregiões	Porto de Santos	Porto de Paranaguá	Total
Alto Teles Pires	3.354,70	-	3.354,70
Parecis	1.520,19	-	1.520,19
Primavera do Leste	834,01	-	834,01
Canarana	691,18	-	691,18
Sinop	-	688,29	688,29
Rondonópolis	546,66	-	546,66
Arinos	4,33	404,42	408,75
Tesouro	309,00	-	309,00
Alto Araguaia	269,21	-	269,21
Norte Araguaia	191,06	-	191,06
Paranatinga	151,95	-	151,95
Aripuanã	132,18	-	132,18
Total	8.004,47	1.092,71	9.097,18

Função objetivo  $Z = 941.807.529$

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

Analisando os resultados é perceptível que a dinâmica da exportação do milho foi de utilizar o Porto de Santos para o escoamento de 88% da carga, o que se deve à menor distância, e conseqüentemente ao custo do frete, que são menores para este destino.

As microrregiões Sinop e Arinos ficaram responsáveis por compor a exceção, pois ambas escoam sua carga para o Porto de Paranaguá, devido a uma maior viabilidade econômica, sendo assim aumentada sua competitividade logística.

Como já apontam Amaral, Almeida e Morabito (2012), as rotas intermodais podem ser vantajosas em muitas situações, especialmente nos casos de escoamento de produtos agrícolas para exportação. Contudo, a possibilidade de redução dos custos logísticos depende da existência de instalações que permitam o transbordo de carga e a integração entre os modais disponíveis.

Isto posto, no Cenário 2 foram acrescentadas as opções intermodais para os Portos de Santos e Paranaguá, além de incluir a opção rodo-hidroviária para os Portos de Santarém/Manaus. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Nesta opção, verificou-se que o resultado ótimo encontrado na Função objetivo Z foi minimizado em 6,3% quando comparado com o resultado ótimo obtido no Cenário 1, o que indica que a adoção da intermodalidade gera ganhos no transporte de carga do milho mato-grossense para exportação.

A dinâmica das exportações no Cenário 2 mostrou-se mais viável, devido ao fato de que, para todos os portos, utilizou-se a opção intermodal. O destaque foi para o Porto de Santos, que deteve 79% das exportações. Nas saídas via Santos o volume movimentado de 6319,09 mil toneladas foram escoadas via opção intermodal o que significou 88% das movimentações neste porto. O Porto de Paranaguá deteve 11% das saídas, seguido pelos portos de Santarém/Manaus (10%).

Os portos de Santarém e de Manaus foram incluídos na tentativa de avaliar novas rotas potenciais para a exportação do milho, por se tratar de uma opção hidroviária. Neste caso, tal opção foi viável apenas para a microrregião de Parecis, que exportou 780,62 mil toneladas de milho, e para a microrregião Aripuanã, que exportou 132,18 mil toneladas de milho. O que fica claro, se considerarmos que essa região está localizada ao Norte do Mato Grosso, sendo mais viável escoar pelo Norte do país.

Vale ressaltar que a carga com destino ao Porto de Paranaguá foi escoada 100% via opção intermodal, enquanto para o Porto de Santos a carga foi escoada 88% via opção intermodal.

**Tabela 3.** Fluxos de origem e destino para o Milho para o Cenário 2, Estado do Mato Grosso, 2013 (mil t)

Microrregiões						(continua)
	R1	R2	R3	R4	R5	Total
Alto Teles Pires		3.354,70				3.354,70
Parecis		739,57			780,62	1.520,19
Primavera do Leste		834,01				834,01
Canarana	691,18	0,00				691,18
Sinop		113,99		574,30		688,29
Rondonópolis		546,66				546,66
Arinos		0,00		408,75		408,75
Tesouro		309,00				309,00

					(conclusão)
Alto Araguaia		269,21			269,21
Norte Araguaia	191,06	0,00			191,06
Paranatinga		151,95			151,95
Aripuanã				132,18	132,18
Total	882,24	6.319,09	983,05	912,80	9.097,18

Função objetivo  $Z = 882.706.242$

R1 - rodoviário direto para o Porto de Santos

R2 - rodoferroviário para o Porto de Santos via terminal de transbordo em Alto Araguaia (MT)

R3 - rodoviário direto para o Porto de Paranaguá

R4 - rodoferroviário para o Porto de Paranaguá via terminal de transbordo em Londrina (PR)

R5 - rodo-hidroviário para o Porto de Santarém/Porto de Manaus via terminal de transbordo em Porto Velho (RO)

Fonte: Dados da pesquisa, 2014.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura brasileira tem apresentado um bom desempenho nos últimos anos, resultado das safras recordes, dos ganhos de produtividade e da expansão da fronteira. Os avanços do agronegócio estão sendo acompanhados com sincronia pelos demais agentes que compõem este importante segmento da economia. Contudo, quando se analisa a questão logística, diversas fragilidades são reveladas, seja pela infraestrutura inadequada para escoar a produção, seja pela incapacidade de armazenar de forma adequada a safra nacional.

Com as crescentes exportações de milho, o Brasil vem se tornando um grande *player* nesse mercado. Os custos logísticos ainda são componentes relevantes para a formação do preço final do milho, em função da dispersão espacial da produção e das longas distâncias envolvidas no comércio intra e inter-regional.

A predominância do transporte rodoviário no Brasil para movimentação de cargas pelo país, tanto agrícolas como industriais, pode ser explicada pela dificuldade que outros modais enfrentam para o atendimento eficiente dos aumentos de demandas em áreas afastadas do país, regiões que muitas vezes não são providas de

ferrovias e hidrovias. Além da escassez de malha ferroviária, aspectos como o uso de vagões inadequados, a pequena oferta de material rodante e a baixa qualidade do existente promovem ainda mais a ineficiência do setor.

No âmbito de hidrovias, o Brasil apresenta um imenso potencial para utilização da navegação fluvial, com mais de 40 mil quilômetros potencialmente navegáveis. Contudo, a navegação comercial ocorre em pouco mais de 13 mil quilômetros, com significativa concentração na Amazônia (ANTAQ, 2009). Soma-se a isso a baixa capacidade de intermodalidade e comboio, além de oferecer pouca atratividade de investimentos devido às barreiras ambientais, o que gera um quadro limitante para o desempenho desse modal.

Portanto, a forma que a infraestrutura logística se apresentada tem como consequência a perda de competitividade com o aumento do “Custo Brasil”, que descreve o conjunto de dificuldades estruturais, econômicas e burocráticas que acabam por encarecer os investimentos no Brasil.

A pesquisa demonstra que o resultado ótimo encontrado pelo modelo rodado para o Cenário 2, o qual utiliza-se da intermodalidade, foi minimizado em 6,3%, em comparação ao Cenário 1, o qual utiliza apenas o modal rodoviário. Também aponta que, no Cenário 1, o ideal seria escoar aproximadamente 88% da produção de milho com destino ao Porto de Santos. Em comparação ao Cenário 2, a produção possui uma distribuição mais uniforme, de acordo com as distâncias percorridas e com a disponibilidade de infraestrutura logística. O que é exemplificado pela maneira como as produções das microrregiões de Parecis e Aripuanã são escoadas, ambas estão localizadas no Norte do Mato Grosso e escoam sua produção pelos Portos de Santarém/Manaus, o que se deve principalmente pela distância, isso comprova a viabilidade de utilizar a intermodalidade.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que, em geral, a intermodalidade é uma das melhores formas para se obter uma maior eficiência na cadeia do milho, além de reduzir os custos com frete, o que pode resultar em ganhos de competitividade no mercado internacional. Porém vale ressaltar que é extremamente importante a busca pelas combinações entre os modais que se mostrem mais eficientes.

Dessa maneira, como proposta para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação do modelo matemático baseado em matrizes de origem-destino às outras regiões

de importante significância para as exportações do milho brasileiro, tanto quanto estender aos demais portos, se assim for necessário. Espera-se que esse trabalho possa contribuir para estudos relacionados com a minimização de custos e melhor fluxo do escoamento da produção agrícola.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, M.; ALMEIDA, M. S.; MORABITO, R. Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 717-732, 2012.

ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Panorama Aquaviário 2009**. Brasília: ANTAQ, 2009. 97 p.

ATANAKA-SANTOS, M.; CZERESNIA, D.; SOUZA-SANTOS, R.; OLIVEIRA, R. M. Comportamento epidemiológico da malária no Estado de Mato Grosso, 1980-2003. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, Uberaba, v. 39, n. 2, pp. 187-192, abr. 2006.

BOVY, P. H. L.; STERN, E. **Route choice: wayfinding in transport networks**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERRAUS, A. **GAMS: a user's guide**. Redwood: The Scientific Press, 1995. 289p.

CAIXETA FILHO, J. V. Especificidade das modalidades de transporte para a movimentação de produtos agrícolas. In: CAIXETA-FILHO, J. V.; GAMEIRO, A. H. (Org.). **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001. 218p.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio - Dados de 1994 a 2013**. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>>. Acesso em: 01 jun. 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Previsão de safra**. Disponível em <http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 01 jun. 2014.

FIGUEIREDO, M. G.; LEITE, S. C. F.; CAIXETA FILHO, J. V. Fluxos de algodão em pluma para exportação no estado do Mato Grosso: uma aplicação de programação linear. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., 2005, Ribeirão Preto. Anais... Brasília: SOBER, 2005.

GASQUES, J. G. *et al.* Produtividade total dos fatores e transformações da agricultura brasileira: análise dos dados dos censos agropecuários. In: GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. (Org.). **A Agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2010. 298 p.

HAMERSLAG, R.; IMMERS, B. H. Estimation of trip matrices: shortcomings and possibilities for improvement, **Transportation Research Record**, n. 1203, p. 27-39, 1988.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=11>>. Acesso em: 01 nov. 2013.

KAWAMOTO, E. Verificação da matriz ponto-de origem/ponto-de-destino de uma linha de transporte coletivo obtida a partir de dados de embarque e desembarque. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 8., 1994, Recife. **Anais...** Recife: ANPET, 1994.

KERBACHE, L.; SMITH, J. M. Queueing networks and topological design of supply chain systems. **International Journal of Production Economics**, v. 91, p. 251-272, 2004.

LOPES, B. F. R **Análise dos impactos logísticos sobre a competitividade do milho**. 2012. 60f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas, São Paulo, 2012.

MARTINS, R. S.; CAIXETA FILHO, J. V. Subsídios à tomada de decisão da escolha da modalidade para o planejamento dos transportes no estado do Paraná. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 3, n. 2, p.75-96, maio/ago. 1999.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Estatísticas do Comércio Exterior**: Sistema Aliceweb. Disponível em: <<http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2014.

OLIVEIRA, A. L. R.; SILVEIRA, J. M. F. J.; ALVIM, A. M. Cartagena protocol, biosafety and grain segregation: the effects on the soybean logistics in Brazil. **E3 Journal of Agricultural Research and Development**, v. 2, p. 17-30, 2012.

OLIVEIRA, A. L. R.; SILVEIRA, J. M. F. J. Restructuring of the corn supply chain in Brazil: facing the challenges in logistics or regulation of biotechnology. **The International Food and Agribusiness Management Review**, v. 16, p. 1-24, 2013.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling transport**. 2nd. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1995.

SIFRECA. Sistema de Informações de Fretes. **Fretes rodoviários e ferroviários: milho 2012**. Disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/index.php>>. Acesso em: 01 nov. 2013.

USDA. United States Department of Agriculture. **Commodities and Products**. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/commodities>>. Acesso em: 03 abr. 2014.

*Recebido em: 13 de junho de 2014*

*Aceito em: 21 de agosto de 2014*