



# COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENTRE ROTAS DE TRANSPORTE DE SOJA, USANDO ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

**ISOTILIA COSTA MELO** - isotilia@gmail.com  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

**PAULO NOCERA ALVES JUNIOR** - pjnocera@yahoo.com.br  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP - SÃO CARLOS

**GABRIELA CELESTINI** - gcelestini@gmail.com  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCAR

**DAISY APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO** - daisy@sc.usp.br  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

**Área:** 6 - PESQUISA OPERACIONAL

**Sub-Área:** 6.4 - MODELAGEM, ANÁLISE E SIMULAÇÃO

**Resumo:** O OBJETIVO DESTE TRABALHO É APRESENTAR A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) COMO UMA POSSÍVEL FERRAMENTA DE SOLUÇÃO PARA AFERIR A EFICIÊNCIA DE ROTAS DE TRANSPORTE DE CARGA. OS ESTADOS UNIDOS E O BRASIL PRODUZEM MAIS DE 80% DOS GRÃOS DE SOJA DO MUNDO. ISSO REPRESENTA 1,7% DAS EXPORTAÇÕES AMERICANAS, E 10% DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS, QUE É UMA ECONOMIA MENOR. TRANSPORTAR A SOJA, ENTRE OUTROS PRODUTOS DE EXPORTAÇÃO, DAS FAZENDAS ATÉ OS PRINCIPAIS PORTOS, DE FORMA MAIS EFICIENTE, É O FOCO DOS PROGRAMAS DE INVESTIMENTO BRASILEIROS. UMA FERRAMENTA CONSOLIDADA PARA A COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENTRE ROTAS IRÁ AJUDAR OS TOMADORES DE DECISÃO A DIRECIONAR INVESTIMENTOS. ESTE ARTIGO DETERMINA AS ROTAS DAS PRINCIPAIS MICRORREGIÕES PRODUTORAS ATÉ OS PRINCIPAIS PORTOS DE AMBOS OS PAÍSES, CONSIDERANDO A COLHEITA DE 2014. O USO DE DEA SBM (SLACK BASEADO MEASURE) E AS VARIÁVEIS INICIAIS SÃO PROPOSTOS. AS VARIÁVEIS SÃO VALIDADAS POR MEIO DE CORRELAÇÃO, REGRESSÃO LINEAR E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA). APÓS A APLICAÇÃO DO MODELO, FOI USADO O MÉTODO DE DESEMPATE QUANTITATIVO DO ÍNDICE COMPOSTO LETA ET AL., ( 2005). OS RESULTADOS SÃO COERENTES COM A LITERATURA SALIN (2015) OLIVEIRA E CICOLIN (2016).

**Palavras-chaves:** DATA ENVELOPMENT ANALYSIS; MODELAGEM DE TRANSPORTE; SOJA; SLACK BASED METHOD; EFICIÊNCIA DE ROTA.

## EFFICIENCY BENCHMARK AMONG SOYBEAN TRANSPORT ROUTES, USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)

**Abstract:** *THE PURPOSE OF THIS PAPER IS TO PRESENT DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA) AS A POSSIBLE SOLUTION TOOL FOR BENCHMARKING FREIGHT TRANSPORT ROUTE EFFICIENCY . UNITED STATES AND BRAZIL PRODUCES MORE THAN 80% OF THE WORLD SOYBEANS. THAT REPRESENTSS 1.7% OF AMERICAN EXPORTS, BUT 10% OF BRAZILIAN EXPORTS, WHICH IS A SMALLER ECONOMY. TRANSPORTING SOYBEANS, AMONG OTHER EXPORT PRODUCTS, FROM FARMERS TO EXPORT PORTS MORE EFFICIENTLY IS THE FOCUS OF BRAZILIAN INVESTMENT PROGRAMS. A DEVELOPED TOOL FOR BENCHMARKING ROUTE WILL HELP DECISION MAKERS TO DIRECT INVESTMENTS PROPERLY. THIS PAPER DETERMINES ROUTES FROM MAIN PRODUCING MICRO-REGIONS TO MAIN EXPORT PORTS IN BOTH COUNTRIES, CONSIDERING THE HARVEST OF 2014. THE USE DEA SBM (SLACK BASED MEASURE) AND INITIAL VARIABLES ARE PROPOSED. THE VARIABLES ARE VALIDATED THROUGH CORRELATION, LINEAR REGRESSION AND PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA). AFTER THE APPLICATION OF THE MODEL, THE QUANTITATIVE TIEBREAKING METHOD OF COMPOSED INDEX LETA ET AL., (2005) WAS APPLIED. THE RESULTS ARE COHERENT WITH LITERATURE SALIN (2015) OLIVEIRA E CICOLIN (2016).*

**Keyword:** *DATA ENVELOPMENT ANALYSIS; FREIGHT TRANSPORT MODELING; SOYBEANS; SLACK BASED METHOD; ROUTE ANALISYS.*

## 1. Introdução

O objetivo do trabalho é demonstrar que a análise envoltória de dados (DEA) é uma ferramenta de solução para comparação de eficiência entre rotas de transporte de carga, mesmo se eles estiverem em diferentes contextos econômicos. Para alcançar este objetivo, é necessário para mostrar que os obstáculos encontrados por Panagakos (2016) podem ser superados com DEA.

A soja é considerada o 44º produto mais importante da economia mundial, numa lista de 1.238 itens. Em 2014, Estados Unidos (EUA) produziram 41 % da soja do mundo e o Brasil, 40%. Isso representou 1,7% do total de exportações americano e 10% do brasileiro Simoes e Hidalgo (2011). A infraestrutura americana para o transporte de soja dos agricultores até os principais portos de exportação está consolidada e tende a ser de baixo custo. Já o caso brasileiro é mais desafiador, o transporte de soja ainda enfrenta deficiências e se mostra mais oneroso. Para modificar a matriz de transporte, em 2007, o governo brasileiro criou o Plano de Aceleração do Crescimento 1 (PAC 1) e o integrou ao Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT). O PNLТ é executado pelos Ministérios dos Transportes e da Defesa. Planeja-se executá-lo em três fases, entre 2008 e 2023. Salin (2015).

Como a economia brasileira é dependente das exportações de soja, acredita-se que, com a realização deste artigo, os tomadores de decisão terão uma ferramenta confiável para indicar onde direcionar os investimentos em infraestrutura, promovendo maior crescimento econômico e desenvolvimento regional.

### 1.2 Conceitos Fundamentais

Não existe uma definição, comumente aceita na literatura, para rotas e corredores de transporte de carga. Considerando Arnold (2006), corredores incluem uma ou mais rotas que ligam centros de atividade econômica; as rotas têm traçados diferentes, mas pontos de transferência (i.e., *gateways* que permitem entrada e saída do corredor) e pontos finais comuns; as rotas são compostas das ligações em que os serviços de transporte de viagens e os nós que interligam os serviços de transporte.

Panagakos (2016) descreve o processo de desenvolvimento de um método par comparação de eficiência de corredores de transporte de carga. Inicialmente pensou-se em 11 etapas. Os primeiros passos incluem a escolha de um corredor com dados disponíveis e a determinação de seus segmentos críticos. Em seguida, a escolha de quatro ou cinco cargas

típicas deste corredor. Depois a partir seleção de cadeias deste tipo de carga, construir indicadores chave de desempenho (KPI) para as cadeias, identificar os obstáculos para cada KPI e transformar os KPI's em KPI's de corredor. Finalmente, no passo 10, transformar o conjunto de valores de KPI's em um *ranking* de eficiência de corredores. Pesos relativos devem ser dados a cada KPI no *ranking*. Espera-se que diferentes participantes da cadeia proponham diferentes pesos para este cálculo, conforme seus interesses, que podem ser antagônicos.

Panagakos (2016) aplicou este método a um dos corredores economicamente mais importantes da Europa. Entre os obstáculos enfrentados, foi mencionado que a amostra era muito pequena, o cenário resultante teria valor estatístico limitado. A DEA, proposta pelo presente trabalho, é não-paramétrica, portanto, não é afetada pelo tamanho da amostra.

Depois de várias discussões, Panagakos (2016) decide pela exclusão da etapa 10 do método. De acordo com o trabalho, o motivo para essa decisão foi a dificuldade de atribuir pesos aos KPI's. A DEA gera como resultado um ranking de unidades analisada (chamadas DMU's, *Decision Making Units*). Para o *ranking*, os modelos DEA escolhem automaticamente os pesos que são mais favoráveis para cada DMU e ignoram pesos menos favoráveis, atribuindo-lhes zero Coelli, Rao, Battese (1998), resolvendo obstáculos encontrados por Panagakos (2016). A ideia de combinar DEA com análise de eficiência de rotas de transporte de carga também foi desenvolvida, simultânea e independentemente do presente trabalho, por Oliveira e Cicolin (2016).

## 2. Métodos

O tipo de carga, soja, foi pré-definido em prol do desenvolvimento econômico nacional. A FIGURA 1 explica o método empregado para o desenvolvimento do *ranking* de eficiência de transporte, usando DEA.

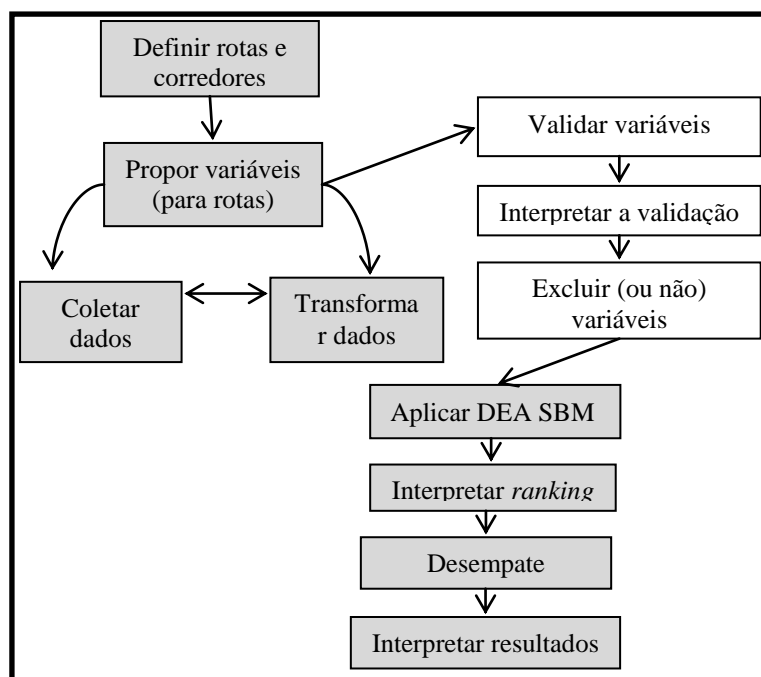


FIGURA 1 – Método proposto para construção do *ranking* de eficiência em rotas de transporte de carga.

As rotas foram definidas considerando a colheita de 2014 (um ano não afetados por eventos climáticos extraordinários). As rotas foram estabelecidas a partir das três principais micro-regiões produtoras de cada estado até os principais portos de exportação. No Brasil, de Rio Grande do Sul (RS), Paraná (PR), Mato Grosso do Sul (MS), Goiás (GO), Mato Grosso (MT) até os portos de Santos, Paranaguá e Rio Grande. Nos EUA, de Iowa (IA), Illinois (ILL), Missouri (MO), Minnesota (MN), e Indiana (IN) até os portos de Golfo de Missipi e *Pacific Northwest Complex* (NPW) Salin (2015). As distâncias rodoviárias, para ambos os países, foram determinadas usando o *Google Earth* (2016).

Para determinar a quantidade de soja colhida, no Brasil, foram consultados Imea (2015), Seab (2015), Emater (2014), Siga (2015) e Goiás (2015), e para determinar rotas e corredores, foram consultados Ibge (2015), Antaq (2011), Ahrana (2005, 2012, 2013), Macrologística (2011, 2013), All (2016), Ferroeste (2016), Aliança (2016), Viera (2002), Ojima (2004), Rocha e Parre (2009). Foram identificados nove corredores e 72 rotas.

Para determinar a quantidade de soja colhida, nos EUA, foi consultado Nass (2016), e para determinação de rotas e corredores, foram consultados Casavant et al. (2011), Salin (2015), US Corps of Engineers (2016), do Waterways Council (2016) e *National Oceanic and Atmospheric Administration*, Noaa (2016). Foram identificados cinco corredores e 30 rotas.

Todas as rotas recebeu um código, de acordo com os modais de transporte existentes e o país. Rotas americanas começam com *E*. Se houver modal rodoviário, o código da rota

recebe  $R$ . Se houver modal hidroviário fluvial, recebe  $H$ . Se houver modal ferroviário, recebe  $F$ .

A proposta inicial de variáveis foi: combustível consumido (diesel), como *input*, colheita (assumiu toda a colheita foi transportada), emissões e fator de descarga. Panagakos (2016) considera: origem /destino, tipos de carga, modais utilizados, rotas, desequilíbrio comercial, entre outros não especificados no texto. Oliveira e Cicolin (2016) adotam como variáveis, a composição da matriz de transporte, disponibilidade de estoque, custo de produção do milho, produtividade do milho, custo de transporte, fila em portos e navios, extensão da rota, velocidade média, consumo de combustível e idade da frota.

A variável *diesel* foi pensada para representar o custo de transporte. Pois o diesel é o combustível presente em todos os modais de ambos os países, cujo preço é regido por cotações internacionais. Ela foi calculada usando o método desenvolvida por *Texas Instruments* (TTI, 2012). A variável *emissões* é encontrada frequentemente na literatura Camiato, Mariano e Rebelatto (2014), para seu cálculo foi adotada o método *bottom-up* com os fatores do Greenhouse Gas Protocol (2016). A variável *fator de descarte* foi pensada para representar os resíduos gerados pelos modais após um ciclo econômico. Ela é calculada por meio da multiplicação de duas frações. A primeira fração é a duração de um ciclo econômico (assumido 100 anos) pela idade média da frota daquele modal. A segunda fração é o tamanho da frota de um modal necessária para transportar a colheita da microrregião estudada dividida pela frota necessária para transportar toda colheita nacional. No caso de uma rota com vários modais, o fator de descarte total é a soma do fator de descarte para cada modal.

Para validação das variáveis foi feita correlação linear, regressão linear e análise dos componentes principais, com auxílio do software STATA. A correlação indica a força e a direção da relação entre *inputs* e *outputs* Russo, (2004). A regressão linear determina a reta da equação e permite extrapolar os resultados de relação entre as variáveis dependentes e independentes (*ibid.*). Análise de Componentes Principais (PCA) é um método simples de análise multivariada. O objetivo da análise é tomar  $p$  variáveis e encontrar suas combinações para produzir índices (chamados componentes principais),  $Comp_1, Comp_2, Comp_3, \dots, Comp_p$ , que não estão relacionados em ordem de importância e descrevendo a variação de dados. A falta de correlação significa que os índices são medição diferentes correlações de dados e a ordem é tal que ,  $Var(Comp_1) \geq Var(Comp_2) \geq Var(Comp_3) \geq \dots \geq Var(Comp_p)$  denota a variância de  $Comp_n$  Hair et al., (1995).



O modelo DEA SBM (*Slack-Based Measure*) foi aplicado com auxílio do *software MATLAB*. Sendo,  $X = (x_{ij}) \in R^{m \times n}$  e  $Y = (y_{ij}) \in R^{s \times n}$ , respectivamente, *inputs* e *outputs*, assumidos positivos, de uma DMU  $(x_0, y_0)$ . Este modelo SBM, criado por Tone (2001), é um avanço do modelo aditivo Mariano, Sobreiro e Rebelatto (2015), por ser invariante à unidade de medida, onde a eficiência obtida é um valor entre 0 e 1. A eficiência deste modelo é calculada com base na média das folgas relativas, eliminando o problema dos falsos eficientes (DMUs eficientes, mas com folgas), e não necessita de orientação (minimiza inputs e maximiza outputs ao mesmo tempo).

Não se deseja maximizar as variáveis emissões e fator de descarte, apesar delas serem *outputs*, pois elas representam um impacto negativo ao meio ambiente e à sociedade. Esse tipo de variável é chamado de *output* indesejável. Para minimizá-las com o aumento da eficiência, elas foram inseridas como *inputs*.

Um problema frequentemente encontrado no *ranking* gerado por meio do DEA é o número de empates, optou-se pelo uso do método quantitativo de desempate do índice composto Leta et al., (2005). Esse índice composto é a média normalizada da soma das eficiências padrão e invertida.

### 3. Resultados e discussões

O QUADRO 1 mostra a correlação entre as variáveis. Observa-se que *emissões* tem uma relação muito forte com *diesel* (0,9274) e fator de descarte com *produção* (0,9233). As relações entre *diesel* e *fator de descarte*; *diesel* e *produção*; e *produção* e *emissões* são fortes (respectivamente, 0,7311, 0,7792 e 0,9233). A relação entre *fator de descarte* e *emissões* é moderada (0,5998). O fato de o *input* se ter uma relação, no mínimo, forte no mesmo sentido dos *inputs* sugere que o modelo possui validade. O fato de os *outputs* possuírem relação, no mínimo, moderada entre si, pode indicar redundância de variáveis no modelo.

	<i>Diesel</i>	<i>Emissões</i>	<i>Fator de Descarte</i>	<i>Produção</i>
<i>Diesel</i>	1			
<i>Emissões</i>	0,9274	1		
<i>Fator de Descarte</i>	0,7311	0,5998	1	
<i>Produção</i>	0,7792	0,7019	0,9233	1

QUADRO 1 – Matriz de correlação entre *input* e *outputs*.

O QUADRO 2 mostra a regressão linear entre as variáveis dependentes, *outputs*, e a variável independente, *input*. O fator *R-sq* indica o encaixe dessa relação (independente-dependentes) numa linha reta. Quanto mais alto *R-sq*, mais perfeitamente as variáveis se encaixam e podem ser explicadas no modelo. E o fator *P* é comparável ao erro. Observa-se que existe uma alta relação para todas as variáveis e uma baixa relação com o erro.

<i>Equações</i>	<i>Obs</i>	<i>Parms</i>	<i>RMSE</i>	<i>R-sq</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
F. Descarte	102	2	0,5333174	0,5345	114,8026	0,0000
Emissões	102	2	17146,14	0,8600	614,4568	0,0000
Produção	102	2	1658213	0,6070	154,4762	0,0000

QUADRO 2 – Regressão linear das variáveis dependentes em relação à variável independente consumo de combustível (diesel).

A análise de PCA indicou que dois primeiros componentes principais explicam 96,80% do modelo. Como ilustrado no QUADRO 3, as variáveis apresentaram uma proporcionalidade semelhante em ambos os componentes, não justificando a exclusão de nenhuma delas. Dadas considerações até aqui mencionadas, as variáveis foram consideradas validadas.

<i>PCA</i>		
<i>Varáveis</i>	<i>Comp1</i>	<i>Comp2</i>
Diesel	0,5159	0,3757
Emissões	0,4842	0,6048
F. Descarte	0,4882	-0,5755
Produção	0,5110	-0,4025

QUADRO 3 – Composição dos componentes principais.

A execução do modelo DEA-SBM inicialmente resultou em 12 DMU's com 100% de eficiência. Após aplicação do método de desempate do índice composto Leta et al., (2005) não houve mais empates, a única DMU 100% eficiente foi a EH1, que representa a rota norte-americana exclusivamente hidroviária partindo do distrito de New Madrid, Missouri, até o Golfo do Mississippi. Os resultados das 30 rotas mais eficientes estão no ANEXO A – Resultados.

Foi feita uma regressão linear entre a distância da rota e os resultados de eficiência, mas uma relação fraca foi encontrada (0,2355), mesmo considerando-se apenas rotas com menos de 2.000 km, a relação muito fraca se manteve (0,1259). O QUADRO 4 sumariza os resultados encontrados para as 30 rotas mais e menos eficientes. Observa-se uma preponderância de rotas norte-americanas entre as mais eficientes e brasileiras entre as menos



eficientes. Entre os mais eficientes, predominam rotas com dois modais, entre os menos eficientes, rotas com três. O modal rodoviário é praticamente obrigatório em todas as rotas por ser um modal com a flexibilidade necessária para buscar a colheita em cada fazenda e levá-la até os pontos de transbordo para outros modais, portanto, o modal rodoviário é predominante entre todas as rotas. Em seguida, entre as eficientes predomina o modal ferroviário (bem próximo ao hidroviário). Entre as rotas ineficientes predomina, em seguida, o modal hidroviário.

<i>Resultados</i>	<i>Quantidade de Modais</i>				<i>Tipos de Modal</i>			<i>País</i>	
	<i>Empates</i>	<i>Um</i>	<i>Dois</i>	<i>Três</i>	<i>Rodoviário</i>	<i>Ferroviário</i>	<i>Hidroviário</i>	<i>EUA</i>	<i>Brasil</i>
30 mais eficientes	0	9	21	0	23	15	13	13	17
30 menos eficientes	0	9	6	15	29	8	15	2	28

QUADRO 4 – Resultados sumarizados por características de rotas mais e menos eficientes.

#### 4. Conclusões

Salin (2015) menciona que as rotas partindo do Mato Grosso(MT) tendem a custar mais do que as rotas norte-americanas, o que é validado pelos resultados encontrados neste trabalho. As rotas brasileiras menos eficientes tendem a ser aquelas que saem de MT. Além disso, Salin (2015) afirma que algumas rotas da região Sul do Brasil, destacadamente as do Paraná(PR), tendem a custar menos do que várias rotas norte-americanas, destacadamente as que partem do estado de Iowa para os portos do pacífico. Isso vai ao encontro dos resultados deste trabalho, pois as rotas brasileiras mais eficientes são da região Sul. A rota brasileira mais eficiente é a F3, de Guarapuava(PR) a Paraguá.

Oliveira e Cicolin (2016) também menciona que as rotas do Paraná se mostram mais eficientes. Os mesmos autores também afirmam haver relação entre eficiência e distância. Embora predominem rotas ineficientes entre aquelas com extensão superior a 2.000 km, o presente trabalho encontrou uma relação fraca entre extensão da rota e eficiência (0,2355). Oliveira e Cicolin (2016) concluem que as rotas com intermodalidade e com o modal hidroviário fluvial tendem a ser mais eficiente. Panagakos (2016) afirma que as rotas com intermodalidade são preferidas por priorizar a sustentabilidade. Marquez e Cantillo (2013), ao analisar custos internos e externos de rotas de exportação colombianas também concluem que o modal hidroviário fluvial possui menor custo, seguido pelo ferroviário. Isso corrobora os resultados de Oliveira e Cicolin (2016). O presente trabalho apresentou rotas com dois modais entre as mais eficientes, porém as com três modais estavam entre as menos eficientes, sugerindo qe existe um limite para a intermodalidade.

O modal ferroviário, no caso brasileiro, se mostrou mais eficiente que o hidroviário, enquanto, no caso americano, a situação se mostrou inversa. Uma explicação possível é o fato do presente trabalho considerar apenas as hidrovias do Paraná-Tietê e da Lagoa do Patos, cuja capacidade de carga é limitada devido a restrições estruturais (em média, um reboque empurra três barcaças com capacidade de carga máxima é, em média, de 1.287 toneladas) Ahrana (2013), Alianca (2016), enquanto, Oliveira e Cicolin (2016) analisou hidrovias na região Norte, cuja capacidade de carga é possivelmente maior. Por exemplo, nos EUA, em média, uma composição de barcaças é composta por três reboques empurrando 15 barcaça cuja capacidade de carga máxima é 1.620 toneladas, Waterways Council (2016). Ou seja, em uma viagem, as composições americanas transportam aproximadamente 6,2 vezes mais carga que as brasileiras. Isso é corroborado pela entrevista com o gestor da empresa Hidrovias do Brasil, que opera na região Norte, para os autores deste trabalho. Ele afirma que os comboios são compostos por até 15 barcaças transportando cerca de 2.000 toneladas cada Mansur (2016). O site da empresa afirma que as barcaças foram compradas de empresas que operam no rio Mississippi, EUA (HIDROVIAS DO BRASIL, 2016).

Considera-se que o presente trabalho demonstrou que a ferramenta DEA pode ser usada, com sucesso, para comparar a eficiência das rotas de transporte de carga. A DEA superou os problemas de distribuição de peso encontrados por Panagakos (2016). O problema de empates, gerado pela distribuição de pesos da DEA, foi superado com uso do método de desempate do índice composto e os resultados finais foram compatíveis com a literatura Salin (2015); Oliveira e Cicolin (2016). Não foi possível compartilhar os dados e resultados devido às limitações de formato para papers deste evento. Os interessados em saber mais podem consultar a dissertação de mestrado do primeiro autor, consultar publicações internacionais dos autores ou consultar os autores diretamente.

Para trabalhos futuros, recomenda-se expandir variáveis, tais como, custos de manutenção de rotas, desequilíbrio comercial, prazo de entrega, tipo de carga, disponibilidade de silos e uma variável que representam valores sociais, como a qualidade de vida do operador. Também é recomendado para explorar outras possibilidades modelos DEA, tais como, de rede e modelos dinâmicos; análise janela estrutural e de desempate com o índice de triplo Mariano e Rebelatto (2014).

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à *Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo* (FAPESP) por financiar este projeto. Agradecem também à empresa *Hidroviás do Brasil* por gentilmente fornecer uma entrevista.

## Referências

- ALIANÇA (Rio Grande do Sul). *Trevisa Investimentos, Frota*. Disponível em: <<http://www.trevisa.com.br/alianza/frota.html>>. Acessado em: Jun. 2016.
- ALL - AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA S.A. (Brasil). Disponível em: <[http://pt.rumolog.com/default\\_pti.asp?idioma=0&conta=45](http://pt.rumolog.com/default_pti.asp?idioma=0&conta=45)> Acessado em: Jun. 2016.
- AHRANA, Administração da Hidrovia do Paraná. *Dados e Informações Hidrovia do Rio Paraná*. São Paulo: Ahrana, 2012, 52 p. Disponível em: <[http://www.ahrana.gov.br/dados\\_informacoes.html](http://www.ahrana.gov.br/dados_informacoes.html)>. Acessado em: Jun. 2016.
- \_\_\_\_\_. *Estatísticas de Movimentação de Carga*. São Paulo: Ahrana, 2013, 26 p. Disponível em: <[http://www.ahrana.gov.br/dados\\_operacionais.html](http://www.ahrana.gov.br/dados_operacionais.html)>. Acessado em: Jun. 2016.
- \_\_\_\_\_. *A Hidrovia do Paraná*. São Paulo: Ahrana, 2005, 28 p. Disponível em: <<http://www.cooperhidro.com.br/palestras/ruy-ahrana.pdf>>. Acessado em: Jun. 2016.
- ARNOLD, J., *Best practices in Management of International Trade Corridors*. Trade Logistics Group. Transport Papers TP-13. The World Bank Group, Washington. DC, 2006 Disponível em: <[http://www.mcli.co.za/mcli-web/downloads/docs/Best\\_Practices\\_in\\_Management\\_of\\_International\\_Trade\\_Corridors.pdf](http://www.mcli.co.za/mcli-web/downloads/docs/Best_Practices_in_Management_of_International_Trade_Corridors.pdf)> Acessado em: Jun. 2016.
- CAMIOTO, F. C., MARIANO, E. B., REBELATTO, D. A. N. *Efficiency in Brasil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development*. Environmental Science & Policy . London, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901113001561>>. Acessado em: Jun. 2016.
- CASAVANT, K., DENICOFF, M. R., JESSUP, E., TAYLOR, A., NIBARGER, D., SEAR, D., KHACHATRYAN, H., MCCracken, V., PRATER, N., MARVIN, J. E., OLEARY, N., MARATHON, N., MCGREGOR, B., OLOWOLAYEMO, S., BLANTON, B. *Study of Rural Transportation Issues*. No 147544. Research Reports. United States Department of Agriculture. Agricultural Marketing Service. Transportation and Marketing Program, 2010 Disponível em: <<http://ntl.bts.gov/lib/32000/32800/32855/STELPRDC5084108.pdf>> Acessado em: Jun. 2016.
- COELLI, T.J.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E.. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. 2. ed. Massachussets: Springer, 1998, 341 p. Disponível em: <[http://facweb.knowlton.ohio-state.edu/pvitor/courses/crp394/coelli\\_Intro\\_effic.pdf](http://facweb.knowlton.ohio-state.edu/pvitor/courses/crp394/coelli_Intro_effic.pdf)>. Acessado em: Jun. 2016.
- EMATER. *Acompanhamento da Safra: Safra 2014/2015*. Porto Alegre: Emater, 2014, 6 p. (Séries Históricas). Disponível em: <<http://www.emater.tcche.br/site/servicos/informacoes-agropecuarias.php#acompanhamento-de-safra>>. Acessado em: Jun. 2016.
- FERROESTE (Paraná). Secretaria de Infraestrutura e Logística. *Mallha ferroviária*. Disponível em: <<http://www.ferroeste.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acessado em: Jun. 2016.

- GOIÁS. Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos. Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. *Estatísticas Municipais: Séries Históricas*, 2015. Disponível em: <<http://www.imb.go.gov.br/>>. Acessado em: Jun. 2016.
- GOOGLE COMPANY (Estados Unidos). *Google Earth*. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acessado em: Jun. 2016.
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL. World Resources Institute (wri). *Calculating CO2 Emissions from Mobile Sources*. 1.3. Washington, 2016, 11 p. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/co2-mobile.pdf>>. Acessado em: Jun. 2016.
- HAIR, J.F., ANDERSON, R.R., TATHAM, R.L., BLACK, *Multivariate Data Analysis*. Prentice-Hall: Englewood Cliffs. NJ, 1995.
- HIDROVIAS DO BRASIL. *Projeto Grãos - Sul*. Disponível em: <<http://hbsa.com.br/projetos-logisticos/projeto-graos-sul/>>. Acesso em: 22 jun. 2016.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento. *Divisão Regional*. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default\\_div\\_int.shtm?c=1](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_div_int.shtm?c=1)>. Acessado em: Jun. 2016.
- IMEA. *Boletim Semanal de Soja*. 358. ed. Cuiabá: Imea, 2015, 12 p. Disponível em: <[http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R404\\_2015\\_06\\_19\\_BSSoja.pdf](http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/R404_2015_06_19_BSSoja.pdf)>. Acessado em: Jun. 2016.
- LETA. F.R.; SOARES DE MELLO. J.C.C. B.; GOMES. E. G., ÂNGULO MEZA. L.. *Métodos De Melhora De Ordenação em DEA Aplicados à Avaliação Estática de Tornos Mecânicos*. Investigação Operacional. v. 25. n. 2. p: 229-242, 2005. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/228375009\\_Metodos\\_de\\_melhora\\_de\\_orderacao\\_em\\_DEA\\_aplicado\\_s\\_a\\_avaliacao\\_estatica\\_de\\_tornos\\_mecanicos](https://www.researchgate.net/publication/228375009_Metodos_de_melhora_de_orderacao_em_DEA_aplicado_s_a_avaliacao_estatica_de_tornos_mecanicos)> Acessado em: Jun. 2016.
- MACROLOGÍSTICA (Brasil). CNI - Confederação Nacional da Indústria. *Projeto Centro-Oeste Competitivo*. São Paulo, 2013, 75 p. Disponível em: <[http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_18/2015/10/22/9958/ProjetoCentro-OesteCompetitivo.pdf](http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2015/10/22/9958/ProjetoCentro-OesteCompetitivo.pdf)>. Acessado em: Jun. 2016.
- MACROLOGÍSTICA (Brasil). CNI - Confederação Nacional da Indústria. *Projeto Sul Competitivo*. São Paulo, 2013, 75 p. Disponível em: <<http://www.macrologistica.com.br/images/stories/palestras/Projeto-Sul-Competitivo-Relatorio-Institucional-Porto%20Alegre-28-de-Junho-2011.pdf>>. Acessado em: Jun. 2016.
- MANSUR, Jorge. *Re: Hidrovias do Brasil - Contato Projeto de Pesquisa*. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <isotilia@gmail.com>. em: 22 jun. 2016.
- MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. N.. *Transformation of wealth produced into quality of life: analysis of the social efficiency of nation-states with the DEA's triple index approach*. Journal Of The Operational Research Society. New York, p. 1664-1681, 2014. Disponível em: <<http://www.palgrave-journals.com/jors/journal/v65/n11/abs/jors2013132a.html>>. Acessado em: Jun. 2016.
- MARQUEZ. L.. CANTILLO. V. *Evaluating strategic freight transport corridors including external costs. Transportation Planning and Technology*.: 36:6. 529-546, 2013. Available at. <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03081060.2013.830892>> . Acessado em: Jun. 2016.
- NASS. *National Agricultural Statistics Services. Statistics by State*. Disponível em: <[https://www.nass.usda.gov/Statistics\\_by\\_State/](https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/)> Acessado em: Jun. 2016.

- NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION, *State Traffic Safety Info*. Disponível em: <[http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-30/ncsa/STSI/USA WEB REPORT.HTM](http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-30/ncsa/STSI/USA_WEB_REPORT.HTM)>. Acessado em: Jun. 2016.
- NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. *Distances Between United States Ports*. 12. ed. Washington: Noaa, 2012, 56 p. Disponível em: <<http://www.nauticalcharts.noaa.gov/nsd/distances-ports/distances.pdf>>. Acessado em: Jun. 2016.
- OJIMA, A. L. R. O., *Análise da Movimentação Logística e Competitividade da Soja Brasileira: Uma Aplicação de Um Modelo Espacial de Programação Quadrática*. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação. Universidade de Campinas. Campinas, 2004. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000317206>>. Acessado em: Jun. 2016.
- OLIVEIRA, A. L. R.; CICOLIN, L. O. M.. *Evaluating the logistics performance of Brazil's corn exports: A proposal of indicators*. **African Journal Of Agricultural Research**. Johannesburg, p. 693-700. fev. 2016. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/F2DD9F657318>>. Acesso em: Jun.2016.
- PANAGAKOS, G.. *Green Corridors, Basics*. In: PSARAFTIS, H. N. (Ed.). *Green Transportation Logistics: The Quest for Win-Win Solution*. Switzerland, Springer, 2016, Cap. 3. p. 81-121. (International Series in Operations Research & Management Science). Disponível em: <<http://www.springer.com/gp/book/9783319171746>>. Acessado em: Jun. 2016.
- ROCHA, C. B.; PARRÉ, J. L., *Estudo da Distribuição Espacial do Setor Agropecuário do Rio Grande do Sul*. Análise Econômica. Porto Alegre. p. 139-160. set. 2009. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/AnaliseEconomica/article/view/5159>>. Acessado em: Jun. 2016.
- RUSSO, R. *Statistics for the Behavioural Sciences: An introduction*. New York. NY: Taylor & Francis Group, 2004.
- SALIN, D. , *Soybean Transportation Guide: Brazil, 2014*, U.S. Dept. of Agriculture. Agricultural Marketing Service, 2015 Disponível em: <<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Brasil%20Soybean%20Transportation%20Guide%202014.pdf>>Acessado em: Jun. 2016.
- SEAB. *Estimativas de Safra. 2015*. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/>>. Acessado em: Jun. 2016.
- SIGA. Associação dos Produtores de Soja de Mato Grosso do Sul. *Circular Técnica: Acompanhamento da Safra 2013/2014*. 56. ed. Campo Grande: Siga. 2014. 9 p. Disponível em: <<http://sigaweb.aprosojams.org.br/>>. Acessado em: Jun. 2016.
- SIMÕES, A. J. C., HIDALGO, C.A., *The Economic Complexity Observatory: An Analytical Tool for Understanding the Dynamics of Economic Development*. Workshops at the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2011. Disponível em: <<http://atlas.media.mit.edu/pt/resources/permissions/>> Acessado em: Jun. 2016.
- TONE, K.. *A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis*. European Journal Of Operational Research. London, p. 498-509, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221799004075>> Acessado em: Jun. 2016.



TTI - Texas Transportation Institute. *A Modal Comparison of Domestic Freight Transportation Effects on the General Public*: Final Report. Houston, National Waterway Foundation, 2007, 69 p. Disponível em:

<[http://www.marad.dot.gov/wp-content/uploads/pdf/Phase\\_II\\_Report\\_Final\\_121907.pdf](http://www.marad.dot.gov/wp-content/uploads/pdf/Phase_II_Report_Final_121907.pdf)>. Acessado em: Jun. 2016.

US CORPS OF ENGINEERS. U.S. ARMY. *Planning Center of Expertise for Inland Navigation (PCXIN)*, 2016.

Disponível em: <<http://outreach.lrh.usace.army.mil/>>. Acessado em: Jun. 2016.

VIEIRA, N. M. *Caracterização da Cadeia Produtiva da Soja em Goiás*. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção. Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/83611>>. Acessado em: Jun. 2016.

WATERWAYS COUNCILW. *Waterways Systems*. Disponível em: <<http://waterwayscouncil.org/waterways-system/>>. Acessado em: Jun. 2016.

## ANEXO A – Resultados

Rank	Cód.	Eficiência Padrão	Eficiência Invertida	Índice Composto	Distância Total(km)	Rotas
1	<b>EH1</b>	1,0000	1,0000	1,0000	650,3	New Madrid - Golfo do Mississippi
2	<b>F3</b>	1,0000	0,9692	0,9841	414,7	Guarapuava - Paranaguá
3	<b>F2</b>	1,0000	0,9683	0,9785	537,0	Londrina - Paranaguá
4	<b>F1</b>	1,0000	0,9571	0,9742	627,0	Santa Maria - Rio Grande
5	<b>F5</b>	1,0000	0,9531	0,9459	1183,9	Chapadão do Sul - Santos
6	<b>RH6</b>	1,0000	0,9484	0,9347	245,5	Bagé - Rio Grande
7	<b>RF2</b>	1,0000	0,9456	0,9333	639,0	Ijuí - Rio Grande
8	<b>F4</b>	0,9074	0,9434	0,9265	663,3	Cascável - Paranaguá
9	<b>FH1</b>	0,7188	0,9166	0,8440	640,0	Santa Maria - Rio Grande
10	<b>R1</b>	1,0000	0,9105	0,7998	593,0	Ijuí - Rio Grande
11	<b>ERH12</b>	0,5259	0,9045	0,7395	1286,3	Faribault - Golfo do Mississippi
12	<b>ERH9</b>	0,5338	0,9038	0,7386	745,7	Montgomery - Golfo do Mississippi
13	<b>RH7</b>	0,7301	0,9011	0,7066	804,0	Ijuí - Rio Grande
14	<b>ERH8</b>	0,4823	0,8918	0,6917	796,0	Clinton - Golfo do Mississippi
15	<b>RF1</b>	0,5330	0,8914	0,6913	634,5	Londrina - Paranaguá
16	<b>R3</b>	0,5292	0,8872	0,6859	257,0	Bagé - Rio Grande
17	<b>ERH3</b>	0,4596	0,8850	0,6820	961,4	McLean - Golfo do Mississippi
18	<b>RH4</b>	0,7411	0,8695	0,6808	516,5	Ijuí - Rio Grande
19	<b>ERH4</b>	0,4447	0,8689	0,6806	1224,3	Plymouth - Golfo do Mississippi
20	<b>ERH14</b>	0,4472	0,8666	0,6788	951,5	Audrain - Golfo do Mississippi
21	<b>ERH1</b>	0,4381	0,8593	0,6647	977,6	Edgard - Golfo do Mississippi
22	<b>ERH6</b>	0,4227	0,8552	0,6633	1204,4	Webster - Golfo do Mississippi
23	<b>RH1</b>	0,7095	0,8498	0,6595	710,0	Ijuí - Rio Grande
24	<b>ERH2</b>	0,4304	0,8427	0,6588	982,6	Champaign - Golfo do Mississippi
25	<b>RF10</b>	1,0000	0,8362	0,6579	1981,0	Canarana - Santos
26	<b>R6</b>	0,5097	0,8277	0,6481	353,0	Guarapuava - Paranaguá
27	<b>ERH11</b>	0,3776	0,8274	0,6312	1356,6	Cottonwood - Golfo do Mississippi
28	<b>ERH7</b>	0,3828	0,8141	0,6190	961,9	Knox - Golfo do Mississippi
29	<b>ERH10</b>	0,3570	0,8088	0,6129	1375,3	Lac Qui Parle - Golfo do Mississippi
30	<b>RHF6</b>	1,0000	0,7939	0,6124	1886,0	Primavera do Leste - Santos

QUADRO 5 – Resultado final das 30 rotas mais eficientes.