

# SELEÇÃO DE ROTA MARÍTIMA DE CONTÊINERES

**Marcio Arzua Caillaux**  
**Annibal Parracho Sant'anna**  
**Lidia Angulo Meza**  
**João Carlos Correia Baptista Soares de Mello**  
Universidade Federal Fluminense  
Escola de Engenharia

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a escolha da rota marítima mais adequada para um contêiner entre dois portos. Possíveis rotas do contêiner são analisadas utilizando-se a Análise Envoltória de Dados (DEA), a composição de probabilidades de otimizar e o método de Copeland. As variáveis consideradas são tempo de transporte, produtividade e custos dos terminais portuários, tais como: armazenagem do contêiner e custo da operação de transbordo. São usados dados reais de uma empresa brasileira de transporte marítimo que possui rotas de navios fixas e regulares entre os portos da costa leste da América do Sul.

## ABSTRACT

This paper aims the selection of the most suitable maritime route for a container between two ports. Possible routes are analyzed by means of Data Envelopment Analysis (DEA), the probabilistic composition of optimizing and the Copeland method. The variables taken into account are time of transportation, productivity and cost of the port terminals, such as: container storage and operational transshipment cost. The analysis employs data of a Brazilian shipping company which has vessels in fixed and regular routes along South America east coast.

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo desse trabalho é apoiar o transportador marítimo na tomada de decisão, definindo a rota mais vantajosa, em forma de ordenação, para um contêiner entre a origem e destino solicitados pelo cliente. Os resultados são obtidos através da DEA, do método multicritério ordinal de Copeland e da comparação probabilística de probabilidades de atingir a fronteira assumindo-se as observações como sujeitas a erros com distribuição de Pareto.

O presente trabalho usa dados de uma empresa que atua há mais de 50 anos na prestação de serviços de transporte marítimo entre diversos portos do mundo. Atualmente, o serviço foco da empresa é o que envolve os portos da costa leste da América do Sul. Neste serviço, são treze navios distribuídos em três rotas fixas e regulares.

Em diversos casos, uma única rota de navios não escala diretamente a origem e destino solicitado pelo cliente ao transportador marítimo. Esta impossibilidade de conexão direta é consequência da configuração do serviço, onde nenhuma das três rotas existentes escala diretamente todos os onze portos. Neste caso, haverá a necessidade de transbordar a carga de uma rota de navios para outra, em algum porto determinado. Também há casos em que o tempo em trânsito da carga pode ser menor caso o contêiner seja transbordado de uma rota de navios para outra, em algum momento da operação, ao invés de seguir diretamente através de uma única rota.

No serviço em estudo, existem diferentes caminhos que um contêiner pode percorrer entre uma determinada origem e destino. O transportador marítimo nem sempre escolhe a melhor alternativa disponível por falta de um instrumento que compare todas as opções e aponte a mais vantajosa.

A seguir, faz-se a apresentação das três técnicas utilizadas para a apuração e ordenação das

rotas mais vantajosas. Na seção 3, são apresentadas algumas aplicações de uma das metodologias utilizadas na área de transportes. Na seção 4, passa-se à descrição do caso de estudo. Na seção 5, a metodologia desenvolvida para a escolha e ordenação das rotas são descritas, em suas linhas gerais. Adicionalmente, algumas comparações das técnicas utilizadas nessa ordenação são realizadas. Finalmente, na seção 6, apresentam-se as conclusões deste trabalho.

## **2. TÉCNICAS UTILIZADAS**

A fim de apurar, conhecer e finalmente selecionar a rota mais adequada entre duas localidades, foram utilizadas três técnicas. A Análise Envoltória de Dados (DEA) pode ser vista como um método de composição de critérios com a importância atribuída a cada critério variando de acordo com a posição relativa. Um método clássico de composição de critérios com esta característica é o método ordinal de Copeland (que pode ser considerado um meio termo entre os métodos de Borda e Condorcet). Uma outra abordagem com a mesma característica é a composição de probabilidades de atingir a fronteira desenvolvida em Sant'Anna (2002). Este último tem em comum com a DEA a característica de atribuir maior importância às distâncias entre as unidades comparadas que, de alguma forma, possam ser consideradas mais próximas de uma fronteira de referência.

A DEA considera as variáveis na escala em que foram naturalmente medidas. No método de Copeland, consideram-se apenas os postos segundo cada critério, mais especificamente, a relação entre os postos de cada par de alternativas. Na composição probabilística, a proximidade da fronteira é medida em termos de probabilidades de cada opção atingir a fronteira.

Outra diferença importante entre a DEA, o método de Copeland e a composição probabilística é que, nestas duas últimas abordagens, a medida de preferência atribuída a cada opção segundo cada critério depende da sua posição relativa a todas as outras opções, e não apenas àquelas na fronteira.

### **2.1. DEA**

A história da Análise Envoltória de Dados começa com a tese para obtenção de grau Ph.D. de Edward Rhodes sob a supervisão de W.W. Cooper, publicada em 1978 (Charnes *et al.*, 1978). O objetivo da tese foi desenvolver um modelo para estimar a eficiência técnica sem recorrer ao arbítrio de pesos para cada variável de input ou output, e sem converter todas as variáveis em valores econômicos comparáveis.

Em contraste com as aproximações paramétricas, cujo objetivo é determinar um hiperplano de regressão ótimo, DEA otimiza cada observação individual com o objetivo de calcular uma fronteira de eficiência.

A eficiência 100% é atingida por uma unidade quando comparações com as outras unidades não provem evidência de ineficiência no uso de qualquer input ou output. Este conceito permite diferenciar entre estados de produção eficientes e ineficientes. Descrevem-se a seguir dois modelos DEA clássicos: o modelo CRS (ou CCR) e o VRS (ou BCC).

O modelo CCR determina uma fronteira CRS (Constant Returns to Scale) que indica que

crescimentos proporcionais dos inputs produzirão crescimentos proporcionais dos outputs. O modelo VRS (Variable Returns to Scale) diferencia-se do modelo CRS por considerar a possibilidade de rendimentos crescentes ou decrescentes de escala na fronteira eficiente.

Modelos com orientação ao input indicam que se deseja minimizar a utilização de recursos tal que o nível dos outputs não se reduza. Modelos com orientação ao output indicam que o objetivo é maximizar os produtos obtidos sem alterar o nível atual dos inputs.

DMUs são as unidades tomadoras de decisão (Decision Making Units) e, geralmente, são representadas pelas empresas, setores ou instituições a serem avaliadas. Estas devem ser homogêneas, ou seja, atuam no mesmo tipo de negócio, realizam as mesmas tarefas com os mesmos objetivos e estão trabalhando nas mesmas condições de mercado. As variáveis utilizadas para cada DMU devem ser iguais.

Em sua formulação matemática, considera-se que cada DMU  $k$ ,  $k = 1, \dots, n$ , é uma unidade de produção que utiliza  $n$  inputs  $x_{ik}$ ,  $i = 1, \dots, r$ , para produzir  $m$  outputs  $y_{jk}$ ,  $j = 1, \dots, s$ . O modelo CCR maximiza o quociente entre a combinação linear dos outputs e a combinação linear dos inputs, com a restrição de que, para qualquer DMU, esse quociente não pode ser maior que 1. Assim, para uma DMU  $o$ ,  $h_o$  é a eficiência;  $x_{io}$  e  $y_{jo}$  são os inputs e outputs da DMU  $o$ ;  $v_i$  e  $u_j$  são os pesos calculados pelo modelo para inputs e outputs, respectivamente. A seguir, encontra-se o modelo CCR:

Maximizar

$$h_o = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}}$$

Sujeito a

(1)

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} &\leq 1, \quad k = 1, \dots, n \\ u_j, v_i &\geq 0 \quad \forall i, j \end{aligned}$$

Mediante alguns artifícios matemáticos, esse modelo pode ser linearizado, transformando-se em um Problema de Programação Linear (PPL) apresentado a seguir:

Maximizar

$$h_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo}$$

Sujeito a

(2)

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \quad k = 1, \dots, n$$

$$u_j, v_i \geq 0 \quad \forall i, j$$

Embora os modelos DEA tenham a vantagem de permitir fazer ordenações sem depender de opiniões de decisores, são extremamente benevolentes com as unidades avaliadas. Estas podem ser eficientes ao considerar apenas algumas das variáveis, a saber, aquelas que lhes são mais favoráveis. Uma interpretação não matemática desse fato pode ser encontrada em Novaes (2001). Essa característica de benevolência dos modelos DEA faz com que ocorram empates para as unidades 100% eficientes, o que provoca uma baixa discriminação entre as DMUs.

## 2.2. MÉTODO DE COPELAND

Segundo Arrow (1951), citado por Barba-Romero e Pomerol (1997), não existe escolha justa, ou seja, não existe método multicritério, ou multidecisor “perfeito”. Considera-se como justo um método de escolha multidecisor que obedeça aos axiomas de universalidade, da unanimidade, da independência em relação às alternativas irrelevantes, da transitividade e da totalidade. O teorema de Arrow garante que, com exceção de métodos de ditador, nenhum método de escolha atende simultaneamente a esses axiomas.

No método de Copeland a avaliação de uma opção qualquer é dada pela diferença entre o número de opções que ela sobrepuja e o número de opções que a ela são preferíveis, não importando quantas opções sejam consideradas equivalentes a ela.

A diferença entre o método de Copeland e o método de Borda surge apenas quando há empates. A diferença entre o método de Copeland e o método de Condorcet surge apenas quando há ciclos de intransitividade. Para um aprofundamento da discussão sobre os métodos ordinais, recomenda-se Dias *et al.* (1996).

## 2.3. COMPOSIÇÃO PROBABILÍSTICA

Na composição probabilística, com o reconhecimento da presença de erros de medida aleatórios, os volumes de entradas e saídas observados passam a ser tratados como estimativas de parâmetros de posição de distribuições de probabilidades. Derivam-se, também, do conjunto de valores observados, estimativas para outros parâmetros dessas distribuições.

Segundo Sant’Anna (2002), a avaliação probabilística tende a atribuir menos medidas de eficiência elevadas às unidades de dimensão muito pequena ou muito grande em relação ao conjunto analisado. Unidades com valores extremos terão suas medidas de eficiência calculadas através do produto de probabilidades muito próximas de zero por probabilidades muito próximas de 1, enquanto as unidades com valores mais próximos da mediana terão suas medidas de eficiência calculadas através do produto de fatores mais homogêneos.

A abordagem probabilística, de um lado, eleva fortemente a medida de eficiência de qualquer unidade de produção sempre que apresente desempenho extremo seja na minimização do volume de algum recurso seja na maximização do volume de algum produto, mas, de outro lado, ameniza a influência desses pontos extremos, levando em conta o desempenho de mais

variáveis e de mais unidades de observação. Enquanto a fronteira de excelência tende a ser formada por desempenhos raros, a comparação em variáveis em que a unidade não apresente desempenho extremo e a comparação com um conjunto de observações com valores mais frequentes torna o procedimento de avaliação resistente a erros aleatórios.

É difícil dispor de informação *a priori* sobre a forma da distribuição das perturbações aleatórias e, nas primeiras aplicações, não é comum dispor de um número de observações, em cada unidade, suficiente para, mesmo assumindo as habituais hipóteses de normalidade e independência, estimar, com precisão satisfatória, seus parâmetros de dispersão. Neste trabalho se assumem distribuições de Pareto. É interessante notar que, embora as variáveis assumam valores inteiros e positivos, é recomendável o uso de uma aproximação contínua para suavizar as avaliações das probabilidades de maximizar. A influência dos empates no caso de se adotar uma distribuição discreta é exemplificada em Sant'Anna (2005).

Diferentes medidas podem ser construídas a partir da composição das probabilidades de atingir as fronteiras em cada variável, conforme utilizemos os conectivos “e” ou “ou” e conforme tomemos a fronteira inferior ou a fronteira superior como referência. O uso de formas diferentes de exigir que se atinja simultaneamente a maximização de saídas e a minimização de entradas permite avaliar os efeitos de pequenas diferenças. Uma classificação de pontos de vista em dois eixos subjetivos facilita a identificação dessas diferenças. Esses eixos são um eixo pessimista-otimista e um eixo conservador-progressista. Uma composição é otimista quando considera a probabilidade de atingir a fronteira de excelência (ou afastar-se da fronteira de pior desempenho) em pelo menos uma variável. É pessimista quando se baseia na exigência de aproximação da fronteira conjuntamente, em todas as variáveis. Por outro lado, uma composição é progressista quando toma como referência a fronteira de excelência e conservadora quando toma como referência a fronteira de pior desempenho.

Para cada alternativa  $j_0$  e critério  $i$ , sejam  $M_{j_0j}$  a probabilidade de a alternativa  $j_0$  apresentar, segundo o critério  $i$ -ésimo, avaliação maior que todas as outras e  $m_{j_0i}$  a probabilidade de tal alternativa apresentar avaliação menor ou igual a todas segundo o mesmo critério.

Com esta notação, a avaliação probabilística conservadora e pessimista da alternativa  $j$  par a produção de um conjunto de outputs utilizando um conjunto de inputs será proporcional ao produto  $\prod_s (1 - m_{js}) \times \prod_i (1 - M_{ji})$ , para  $\prod_s$  denotando produtório com  $s$  variando ao longo de todas as saídas e  $\prod_i$  produtório com  $i$  variando ao longo de todas as entradas. Para facilitar a comparação, o resultado desta operação é padronizado, dividindo por uma constante de modo que avaliação da unidade de avaliação mais alta seja sempre igual a 1.

Um método para assegurar que todas as variáveis tenham igual importância no contexto analisado é calcular a probabilidade de uma alternativa ser a preferida em pelo menos um dos critérios considerados. Matematicamente, esta composição é dada pelo produto  $1 - [\prod_{k=1}^{k=p} (1 - M_{i,k}) \times \prod_{j=1}^{j=n} (1 - m_{i,j})]$ .

No modelo DEA, o fato de uma unidade produzir em grande quantidade um determinado output ou utilizar pequena quantidade de determinado input fará com que a mesma se aproxime da fronteira de eficiência. A probabilidade de a unidade maximizar pelo menos um output e minimizar pelo menos um input corresponde a esta abordagem. Essa composição é

descrita pelo produto  $[1 - \prod_{k=1}^{k=p} (1 - M_{i,k})] \times [1 - \prod_{j=1}^{j=n} (1 - m_{i,j})]$ , que nada mais é do que a visão progressista e otimista, tanto para inputs quanto para outputs.

Neste trabalho, a composição probabilística será usada para propiciar uma visão pessimista, exigindo-se simultaneamente minimização das duas variáveis consideradas, custo e tempo. Manter-se-á, entretanto, a ótica progressista, dando maior importância às diferenças próximas à fronteira de melhor desempenho.

### 3. DEA EM TRANSPORTES

Na área de transportes são encontrados estudos utilizando-se DEA nos diversos modais de transporte. Novaes (2001) analisa a eficiência e ganhos de escala de 21 metrôes de diversas cidades do mundo, além de analisar o benchmarking de metrôes não eficientes, com ênfase ao metrô de São Paulo.

No setor aéreo, em Soares de Mello *et al.* (2003), é feito um estudo da eficiência e dos benchmarks para as companhias aéreas brasileiras. Ainda no transporte aéreo, estudos de eficiência que utilizam DEA e que consideram aspectos financeiros são encontrados em Fernandes e Capobianco (2000). Um modelo com aspectos financeiros e não financeiros é usado por Adler e Golany (2001). Para a avaliação de desempenho de companhias aéreas ou aeroportos, outras abordagens não financeiras são encontradas em, por exemplo, Charnes *et al.* (1996) e Fernandes e Pacheco (2002). Essas abordagens têm em comum o fato de calcularem uma única eficiência para cada DMU.

No setor marítimo, os primeiros estudos utilizando-se DEA foram realizados no setor portuário por Roll e Hayuth (1993), que trabalharam com dados hipotéticos e demonstraram como suas eficiências poderiam ser mensuradas. Alguns outros poucos trabalhos nesta linha foram publicados, como, por exemplo, Martinez-Budría *et al.* (1999), que analisaram vinte e seis portos espanhóis no período de 1993 a 1997, em um total de 130 observações, utilizando três inputs (despesas com pessoal, taxas de depreciação e outros gastos) e dois outputs (total de carga movimentada e receita obtida no aluguel de facilidades). Tongzon (2001), com 16 terminais de diferentes países, utilizou um output (TEUs) e seis inputs (número de guindastes, número de berços, número de rebocadores, número de funcionários, área do terminal e tempo de espera) para realizar uma análise de suas eficiências. Itoh (2002) analisou a eficiência operacional dos oito maiores terminais de contêineres do Japão, utilizando como número de TEUs movimentados por ano e os inputs foram divididos em 3 categorias: infra-estrutura (área do terminal e número de berços), superestrutura (número de guindastes) e número de trabalhadores. Turner *et al.* (2004) mediram a eficiência de 26 terminais de contêineres dos Estados Unidos e Canadá entre 1984 a 1997. Os inputs escolhidos foram a área do terminal, número de guindastes e tamanho do berço. O output considerado foi o número de TEUs movimentados.

### 4. MODELAGEM

No serviço de cabotagem e Mercosul, oferecido pela empresa estudada, onze portos são escalados por treze navios, distribuídos em três rotas fixas e regulares (I, II e III), ao longo da costa leste da América do Sul, a saber: Manaus (AM), Vila do Conde (PA), Fortaleza (CE), Suape (PE), Salvador (BA), Vitória (ES), Sepetiba (RJ), Santos (SP), Rio Grande (RS), Montevidéu (Uruguai) e Buenos Aires (Argentina).

Existem, nesse serviço, 110 possíveis combinações origem-destino (nos sentidos norte e sul) oferecidas ao cliente pela empresa transportadora. Esta, dispondo de suas três rotas de navios, deve definir o trajeto que o contêiner percorrerá entre a origem e destino solicitados pelo cliente.

O presente trabalho limita-se a apenas 3 das 110 opções origem-destino, entre os portos da costa leste da América do Sul, oferecidas pela referida empresa. As opções em estudo são: Montevideu – Suape, Fortaleza – Rio Grande e Rio Grande – Fortaleza. A escolha desses pares de portos foi com base nos significativos volumes dos mesmos e, ao mesmo tempo, na sua importância no que se refere às suas localizações. Além disso, verifica-se, nos últimos anos, uma crescente evolução relacionada ao volume de carga transportada entre essas localidades. Pela estrutura do serviço em questão, existe a possibilidade, nos três casos, de transportar a carga diretamente (através de um único navio) ou por meio de transbordo (fazendo a conexão para outro navio).

As opções a serem comparadas (DMUs, na terminologia da DEA) são representadas pelas possíveis rotas entre cada par de localidades. Pela atual configuração do serviço em estudo, a Tabela 1 mostra a quantidade de alternativa de rotas sem e com transbordo para os três casos em questão.

**Tabela 01:** Pares de portos selecionados e suas quantidades de rotas por tipo

Porto de origem	Porto de destino	Alternativas de rotas sem transbordo	Alternativas de rotas com transbordo	Total de alternativas de rotas
Montevideu	Suape	01	06	07
Fortaleza	Rio Grande	01	11	12
Rio Grande	Fortaleza	02	16	18

No caso de uma rota com conexão, o contêiner deverá embarcar em um primeiro navio (da rota I, II ou III), fazer o transbordo em algum porto para, em seguida, embarcar em um segundo navio (da rota I, II ou III), conforme mostra a Tabela 2. No caso de uma rota direta (sem transbordo), as etapas 3 e 4 são desconsideradas.

**Tabela 02:** Etapas operacionais do transporte marítimo de contêiner com transbordo

Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5
Chegada do contêiner no porto de origem	Embarque do contêiner no porto de origem	Desembarque do contêiner no porto de transbordo	Embarque do contêiner no porto de transbordo	Chegada do contêiner no porto de destino
	1º navio (rota I, II ou III)		2º navio (rota I, II ou III)	

Dessa forma, o estudo foi limitado à utilização de duas variáveis de input, a saber:

Input 1: tempo

O tempo em trânsito da carga inicia-se com a chegada do contêiner no porto de origem (etapa 1) e encerra-se com a entrega do contêiner no porto de destino (etapa 5). Neste estudo é utilizado o calendário real do serviço, contendo as datas programadas para as escalas dos

navios das rotas I, II e III, nos onze portos. As rotas I e III possuem frequência semanal, e, a rota II, quinzenal. Foi determinada a data de 01/01/2007 para a chegada do contêiner no porto de origem.

Input 2: custo

Três tipos de custos são considerados, a saber:

- a) Custo de armazenagem do contêiner antes do embarque, cobrado pelo terminal portuário do porto de origem (etapas 1 e 2);
- b) custos de armazenagem do contêiner durante a conexão, cobrado pelo terminal portuário do porto de transbordo (etapa 3 até 4);
- c) custo da operação de transbordo, cobrado pelo terminal portuário do porto de transbordo. Consideram-se, nesse item, as duas operações: desembarque do contêiner do primeiro navio e o embarque do mesmo, no segundo (etapas 3 e 4).

Os custos de embarque do contêiner no porto de origem e desembarque no porto de destino são desconsiderados, visto que eles são os mesmos para todas as opções.

Os custos acima citados cabem ao transportador marítimo. Este, ao receber o pedido de transporte do cliente, analisa os custos inerentes ao serviço de transporte que será realizado e, teoricamente, calcula o frete que será cobrado do cliente com base numa estimativa de custos que terá na operação completa, que inclui, dentre outros, os três citados acima.

Ressalta-se que, teoricamente, quanto menor for o custo do transportador marítimo na operação, menor será o frete cobrado do cliente.

Outro aspecto que deve ser ressaltado é que neste estudo são utilizados os custos reais de cada terminal portuário.

## **5. MODELOS UTILIZADOS**

Foram aplicadas as três técnicas (apresentadas na seção 2) a fim de obter uma ordenação das rotas descritas conforme o cenário apresentado na seção anterior.

Na DEA, a opção natural é o modelo CRS, visto que, com o output constante, não há que se levar em conta possíveis mudanças de escala. Da mesma forma, o modelo foi orientado a *input*, pois se deseja minimizar os recursos utilizados, com o output constante e unitário. Neste caso, o output unitário foi assumido com a finalidade de representar a própria existência da rota, numa abordagem semelhante à usada por Soares de Mello e Gomes (2004), de acordo com as considerações teóricas de Lovell e Pastor (1999).

Para o cálculo das eficiências, utilizou-se o software SIAD (Angulo Meza *et al.*, 2005). Este usa o algoritmo Simplex (Dantzig, 1963) para a resolução de Problemas de Programação Linear (PPL). Além disto, considera uma abordagem em Kuenzi *et al.* (1971) que inclui uma sub-rotina para evitar problemas de degeneração, um problema comum em DEA, devido à típica estrutura dos DEA PPLs.



A Tabela 3 mostra as duas composições de opções de rotas (DMUs) consideradas. O modelo 1 garante maior homogeneidade das DMUs, enquanto o modelo 2 permite comparar DMUs pertencentes a dois grupos diferentes.

**Tabela 03:** Modelos desenvolvidos e inputs e outputs considerados

Modelo	Modelo DEA	Orientação do modelo	Tipos de rotas	<i>Inputs</i>		<i>Output</i>
1	CRS	<i>input</i>	com transbordo	tempo	custo	unitário
2	CRS	<i>input</i>	sem e com transbordo	tempo	custo	unitário

A seguir, são apresentados os resultados em forma de ordenação (da rota mais vantajosa para a menos atrativa).

**Tabela 04:** Postos finais através das três técnicas para Montevidéu – Suape

modelo 1			Posto	modelo 2		
DEA	Pareto	Copeland		DEA	Pareto	Copeland
6	6	6	1º	7	7	7
1	1	1	2º	6	2	6
4	4		3º	1	6	1
2	5	2=4=5	4º	4	1	
5	3		5º	2	4	2=4=5
3	2	3	6º	3	3	
			7º	5	5	3

Conforme mostra a Tabela 4, ao comparar as rotas do percurso Montevidéu-Suape, os resultados obtidos através de DEA foram validados pelas duas outras metodologias (Probabilística e Copeland). Observou-se apenas uma alteração, no resultado obtido pela rota representada pela DMU 2. Neste caso, ela obteve um pior resultado sob a ótica probabilística relativamente às demais, no caso do modelo 1, que analisa somente as rotas com transbordo. No modelo 2, onde todas os tipos de rotas são analisados, a abordagem probabilística, ao contrário, melhora sua classificação em relação aos resultados obtidos através de DEA. Deve-se levar em conta, entretanto, que a abordagem probabilística indica preferência absoluta para a DMU 7 e preferências próximas de zero para todas as demais DMUs quando competem com ela. No modelo 1, a abordagem probabilística também atribui preferência próxima de zero para as DMUs 2 e 3.

**Tabela 05:** Postos finais através das três abordagens para Fortaleza – Rio Grande

modelo 1			Posto	modelo 2		
DEA	Probabilidade	Copeland		DEA	Probabilidade	Copeland
7	6	6	1º	12	12	6=12
6	7	7	2º	6	6	
9	9	9	3º	9	9	7
2	2	2	4º	7	4	9
1	1	8	5º	2	7	2
8	8	1	6º	1	2	8
11	11	4	7º	4	1	1=4
4	10	11	8º	11	11	
3	4	3	9º	8	3	11
10	3	10	10º	3	8	3
5	5	5	11º	5	5	10
			12º	10	10	5

Na tabela 5, pode-se observar, no modelo 1, que as abordagens probabilística e de Copeland invertem as colocações das duas primeiras colocadas sob a ótica DEA (DMUs 7 e 6). Com relação às demais DMUs analisadas no modelo 1, observa-se que grande parte delas obteve a mesma colocação sob a ótica probabilística e de Copeland. O mesmo ocorreu no modelo 2, sendo que, dentre as primeiras colocadas, destaca-se, apenas, que a DMU 6 passa a ser equivalente à DMU quando se adota o método de Copeland.

**Tabela 06:** Postos finais através das três abordagens para Rio Grande – Fortaleza

modelo 1			Posto	modelo 2		
DEA	Probabilidade	Copeland		DEA	Probabilidade	Copeland
14	14	14	1º	18	18	18
11	11	11	2º	17	17	17
12	5	12	3º	14	14	14
5	12	5	4º	11	11	11=12
9	9	9	5º	15	15	
15	3	15	6º	12	12	5
3	4	4	7º	9	9	9
10	6	6	8º	5	6	15
2	15	13	9º	3	16	4
6	16	3	10º	6	1	6
4	8	16	11º	16	5	13
13	10	10	12º	8	3	3
16	2	2	13º	10	8	16
8	13	1	14º	1	10	10
1	1	8	15º	2	13	2
7	7	7	16º	13	4	1
			17º	4	2	8
			18º	7	7	7

Para o terceiro caso estudado, os resultados obtidos através das três metodologias são apresentados na Tabela 6. Há significativa similaridade no que se refere à classificação obtida pelas DMUs sob as três óticas estudadas. Foram observadas algumas alterações apenas nas posições intermediárias e inferiores da tabela de classificação.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada demonstrou a estabilidade da metodologia adotada quanto ao uso de diferentes alternativas de composição de critérios, além de demonstrar a viabilidade de ordenação de opções de rotas entre duas dadas localidades, sendo útil, nesse caso, para o tomador de decisões (transportador marítimo).

Tendo em vista a necessidade de fortalecer esse modal de transporte, tornando-o mais competitivo e contribuindo para uma logística integrada, esta ferramenta pode ser útil e aplicável a qualquer serviço oferecido pelas empresas de navegação em geral.

Atualmente, a empresa estudada não possui uma ferramenta de auxílio no apoio à decisão relacionada à seleção de rota marítima de contêiner na costa leste da América do Sul. Tampouco existe uma metodologia desenvolvida para medir a eficiência das rotas de cargas, a partir de rotas fixas de navios previamente definidas.

Entre os possíveis desenvolvimentos futuros desta pesquisa, destaca-se o transporte de outros tipos de contêineres, incluindo o específico para carga refrigerada, que possui diferentes custos de armazenagem nos terminais portuários. Um outro possível ponto a ser abordado é o transporte de mais de um contêiner, considerando as capacidades dos navios.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os colegas que ajudaram com informações e sugestões ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, N. e B. Golany (2001) *Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe*. European Journal of Operational Research, North-Holland, p. 260-273.
- Angulo-Meza, L.; L. B. Neto; J. C. C. B. Soares de Mello; E. G. Gomes (2005) *ISYDS - Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model*. Pesquisa Operacional, (25), 3, p 493-503.
- Arrow, K. J. (1951) *Social Choice and Individual Values*. Wiley, New York, EUA.
- Barba-Romero, S. e Pomerol, J.C. (1997) *Decisiones Multicriterio: Fundamentos Teóricos e Utilización Práctica*. Colección de Economía, Universidad de Alcalá, Espanha.
- Charnes, A.; A. Gallegos e H. Li (1996) *Robustly efficient parametric frontiers via Multiplicative DEA for domestic and international operations for the Latin America airline industry*. European Journal of Operational Research, North-Holland, p. 525-536.
- Charnes, A.; W. W. Rhodes e E. Rhodes (1978) *Measuring the Efficiency of Decision Making Units*. European Journal of Operational Research, North-Holland, p. 429-444.
- Copeland, A. H. (1951) *A reasonable social welfare function*. Mimeo, University of Michigan.
- Dantzig, G. B. (1963) *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.
- Dias, L. M. C.; Almeida, L. M. A. T. e Clímaco, J. C. N. (1996) *Apoio Multicritério à Decisão*. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Fernandes, E. e H.M.P. Capobianco (2000) *Eficiência e estratégia financeira de empresas de aviação: uma comparação internacional*. Editora COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 85-102.
- Fernandes, E. e R. R. Pacheco (2002) *Efficient use of airport capacity*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, North-Holland, p. 225-238.
- Gonçalves, L. C. N. I. (2005) *Avaliação de eficiência na logística de distribuição: estudo de caso na entrega*

- domiciliar de jornais no Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Itoh, H. (2002) *Efficiency changes at major container ports in Japan: A window application of DEA*. *Rurds*, v. 14, n. 2.
- Kuenzi, H.P.; H.G. Tzschach e C. A. Zehnder (1971) *Numerical Methods of Mathematical Optimization*. Academic Press, NY, USA.
- Lovell, C.A.K. & Pastor, J.T. (1999). *Radial DEA models without inputs or without outputs*. *European Journal of Operational Research*, 118, 46-51.
- Martinez-Budria, E.; R. D. Armas; M. N. Ibanez e R. Mesa (1999) *A study of the efficiency of spanish port authorities using Data Envelopment Analysis*. *International Journal of Transport Economics*, v. 26, n. 2, p. 237-253.
- Novaes, A.G.N. (2001) *Rapid-transit efficiency analysis with the assurance-region DEA method*. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 179-197.
- Roll, Y e Y. Hayuth (1993) *Port performance comparison applying DEA*. *Maritime Policy and Management*, v. 20, n. 2, p. 153-161.
- Sant'Anna, A. P. (2002) *Cálculo Probabilístico de Produtividades Globais*. *Anais do XXXIV SBPO*, Rio de Janeiro.
- Sant'Anna, A. P. (2005) *Weighting Points of View in the Composition of Correlated Criteria of Variable Importance*. *Anales de la XVI EPIO*, Córdoba.
- Soares de Mello, J. C. C. B.; L. A. Meza; Gomes, E.G.; Serapião, P. B. e M. P. E. Lins (2003) *Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras*. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 325-345.
- Tongzon, N. J. (2001) *Efficiency Measurement of select Australian an international port using Data Envelopment Analysis*. *Transportation Research*, North-Holland, part A, v. 35, p. 113-128.
- Turner, H.; R. Windle e M. Dresner (2004) *North American container port productivity*. *Transportation Research*, North-Holland, part E, v. 40, p. 339-356.

---

Marcio Arzua Caillaux ([arzuabr@yahoo.es](mailto:arzuabr@yahoo.es))

Annibal Parracho Sant'anna ([aparracho@uol.com.br](mailto:aparracho@uol.com.br))

Lidia Angulo Meza ([lidia@metal.eeimvr.uff.br](mailto:lidia@metal.eeimvr.uff.br))

João Carlos Correia Baptista Soares de Mello ([jcsmello@producao.uff.br](mailto:jcsmello@producao.uff.br))

Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria, 156 – Niterói, RJ, Brasil