

## Questões de Capacidade e Determinantes de Eficiência em Terminais Graneleiros Brasileiros

**Peter Fernandes Wanke<sup>†</sup>**

*Instituto COPPEAD de Administração*

**Rebecca de Mattos<sup>Ω</sup>**

*Instituto COPPEAD de Administração*

### RESUMO

Este documento apresenta uma análise de eficiência de terminais graneleiros brasileiros construída com base no uso conjunto da Análise de Envelopamento de Dados e da técnica de *bootstrapping*. Intervalos de confiança (IC) e estimativas centrais com viés corrigido foram usados como ferramentas fundamentais, não apenas para testar diferenças significativas em resultados de eficiência e suas recíprocas, mas também sobre indicadores de retornos de escala fornecidos por diferentes modelos de AED. Os resultados do estudo sugerem que a maioria dos terminais graneleiros brasileiros apresenta retornos de escala crescentes, isto é, eles são pequenos demais em comparação com as tarefas realizadas, indicando uma falta de capacidade. Os resultados sugerem também caminhos para melhorar os níveis de eficiência em um cenário de baixos investimentos e limitações de capacidade: privatização e especialização de carga. Uma contribuição final para a literatura consiste no desenvolvimento de uma metodologia simples para avaliar retornos de escala baseados em resultados de *bootstrap*.

**Palavras-chave:** Análise de envelopamento de dados. *Bootstrapping*. Retornos de escala. Convexidade. Portos.

### Agradecimento

*Essa pesquisa teve o apoio da FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro). ID do projeto: E-26/103.286/2011.*

*Recebido em 22/08/2012; revisado em 14/12/2012; aceito em 20/06/2013; divulgado em 21/10/2014*

### \*Autor para correspondência:

<sup>†</sup>. DSc pela COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Vínculo: Professor Associado do Instituto COPPEAD de Administração

Endereço: Rua Paschoal Lemme, Rio de Janeiro – RJ - Brasil

E-mail: [peter@coppead.ufrj.br](mailto:peter@coppead.ufrj.br)

Telefone: (21) 25989896

*Nota do Editor: Esse artigo foi aceito por Emerson Mainardes.*

<sup>Ω</sup> MSc pela COPPEAD da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Vínculo: Pesquisadora do Instituto COPPEAD de Administração

Endereço: Rua Paschoal Lemme, Rio de Janeiro – RJ - Brasil

E-mail: [rebeccademattos@gmail.com](mailto:rebeccademattos@gmail.com)

Telefone: (21) 25989896



## 1 INTRODUÇÃO

**E**xiste um consenso de que portos são um elo vital na cadeia de comércio, devido à contribuição dos mesmos à competitividade internacional de uma nação no cenário da globalização. Autoridades portuárias do mundo todo têm sido pressionadas a melhorar a eficiência dos portos a fim de apoiar o desenvolvimento econômico orientado para o comércio (TONGZON, 1989; CHIN; TONGZON, 1998). No Brasil, o crescimento econômico acelerado aumentou essa demanda por serviços portuários. De 2006 a 2010, a produção global agregada física processada por portos brasileiros (medida em toneladas/ano) cresceu a uma média de 10% ao ano (CEL, 2009). Essa demanda crescente por serviços confiáveis colocou uma enorme pressão sobre a infraestrutura dos portos brasileiros.

A gestão de operações portuárias no Brasil era, até meados dos anos 90, completamente regulamentada e controlada pelo governo federal. Qualquer investimento na infraestrutura portuária só poderia ser executada pela Companhia Docas, uma empresa estatal. Somente em 1993, quando a lei federal brasileira 8630, conhecida também como Lei de “Modernização de Portos”, foi publicada, o caminho para privatização dos portos, aluguel de terminais, instalação de autoridades portuárias locais e desregulamentação de mão de obra começou a ser pavimentado (CURCINO, 2007). Embora os investimentos na expansão da capacidade tenham sido mínimos desde aquele período até os dias atuais, a comparação de diversos portos em termos de suas eficiências gerais se tornou parte essencial da agenda da reforma microeconômica brasileira para sustentar crescimento econômico com base no comércio exterior (FLEURY; HIJJAR, 2008).

Em 2006, quando uma autoridade federal ligada ao Ministério dos Transportes foi criada para alocar investimentos no setor, as medições de desempenho dos portos e terminais começaram a ser realizadas de forma mais sistemática. Tradicionalmente, o desempenho dos portos e terminais tem sido avaliado de forma diversa por meio de tentativas de calcular e buscar otimizar a produtividade operacional do manuseio de carga no ancoradouro e na área do terminal (CULLINANE *et al.*, 2006). Nos últimos anos, métodos como a Análise de Envolvimento de Dados (AED) têm sido cada vez mais utilizados para analisar a produção e o desempenho de portos e terminais.

A AED é um modelo não paramétrico baseado em programação linear (PL) utilizada para abordar o problema de calcular eficiência relativa para um grupo de Unidades de

Tomada de Decisão (UTD) usando múltiplas medidas de entradas e saídas. Entretanto, estudos aplicados que utilizaram a AED normalmente apresentam estimativas pontuais de ineficiência, sem qualquer medida ou mesmo discussão da incerteza que circunda essas estimativas (CESARO *et al.*, 2009). Para resolver esses problemas, técnicas de *bootstrapping* foram introduzidas na AED (CESARO *et al.*, 2009), permitindo que a sensibilidade dos resultados da eficiência relativos à variação da amostragem do limite fosse analisada, evitando problemas de distribuições assintomáticas de amostragem.

Inspirado no debate atual no setor portuário brasileiro, no qual evidências incidentais sugerem uma falta de capacidade (AGÊNCIA BRASIL, 2004; DOCTOR, 2003; SALES, 2001), este trabalho apresenta uma análise dos terminais graneleiros brasileiros construídos com a técnica de *bootstrapping*. A ideia básica é usar intervalos de confiança e estimativas centrais de viés corrigido como ferramentas de base para avaliar a questão da eficiência em terminais graneleiros, não só para testar diferenças significativas nos resultados da eficiência e suas recíprocas (isto é, suas funções de distância), mas também nos indicadores de retornos de escala fornecidos por diferentes modelos de AED.

Os resultados desse estudo são duplos. Primeiramente, eles corroboram o fato que os terminais graneleiros brasileiros estão ficando com pouca capacidade, acentuando a questão de como realizar ganhos de produtividade no curto e médio termo, sem expandir a capacidade. Em segundo lugar, eles lançam um pouco de luz sobre essa questão, não só demonstrando que os terminais públicos tendem a ser menos eficientes do que os privados, mas também que terminais fluviais são mais eficientes do que os marítimos, devido à especialização fornecida pelo manuseio e movimentação de soja pelos produtores. Esse segundo aspecto reforça a função da desregulamentação/privatização dos portos e a especialização de carga na busca por níveis mais elevados de eficiência nos terminais brasileiros.

O restante do trabalho se desenvolve como segue: a Seção 2 apresenta estudos anteriores sobre medição de eficiência nos portos/terminais brasileiros. A Seção 3 fornece os dados a serem analisados, bem como informações adicionais sobre a metodologia utilizada, como a AED, caracterização do Retorno de Escala e *bootstrapping* na AED. A Seção 4 apresenta os resultados sobre a metodologia aplicada a uma amostra de 35 terminais graneleiros no Brasil. As conclusões são dadas na Seção 5.

## 2 ESTUDOS ANTERIORES

Um número crescente de estudos tem utilizado a AED para dar o referencial da eficiência portuária. A análise abrangente da literatura apresentada em Panayides *et al.* (2009) indica que o número de portos/terminais pesquisados em cada estudo varia de 6 a 104 (média 28). De acordo com Martín e Roman (2001), embora a AED obtenha um índice geral de eficiência único e sem dimensão, suas diferenças essenciais das abordagens paramétricas, como a Análise de Fronteira Estocástica (AFE), são encontradas na própria natureza da abordagem analítica. Enquanto a AFE é estocástica e paramétrica, a AED utiliza técnicas de programação linear. Entretanto, o bootstrapping é uma das soluções mais atraentes para apontar a principal desvantagem da AED, isto é, a ausência de propriedades estatísticas (ASSAF, 2010). Nos últimos anos, no que se refere ao caso brasileiro, apenas dois estudos baseados na AED apareceram em periódicos internacionais avaliados por pares. Todos eles apontavam as questões de restrições de capacidade e o impacto de variáveis contextuais sobre estimativas de eficiência.

Rios e Maçada (2006) destacam que na ocasião da realização do trabalho deles, nenhum estudo tinha sido desenvolvido no Brasil até então. Os autores analisaram a eficiência relativa de 20 terminais de contêineres localizados no Mercosul nos anos de 2002, 2003 e 2004 por meio de um modelo BCC orientado para insumos. Os resultados indicam que 60% dos terminais foram gerencialmente eficientes nesse período de três anos, provavelmente refletindo o fato que os terminais brasileiros tinham alcançado taxas recorde de tráfego de carga, incluindo produtos de maior valor agregado, como automóveis. De acordo com esses autores, o tráfego de contêineres aumentou em quase 17%. Nenhum estudo internacional adicional avaliado por pares sobre a eficiência dos portos/terminais brasileiros foi realizado de 2006 a 2010.

Mais recentemente, Wanke, Barbastefano e Hijjar (2011) analisaram uma gama de 25 importantes terminais de contêineres/graneis brasileiros (baseado em dados de 2008). Os autores descobriram que a grande maioria dos terminais brasileiros apresentaram crescentes retornos de escala, e que os terminais de graneis pareciam ser proporcionalmente menores do que os terminais de contêineres. Além disso, houve a tendência dos terminais controlados pelo setor privado (embora não sendo estatisticamente significativo no patamar de 0,05) serem mais eficientes do que aqueles controlados pelo governo. Testes estatísticos com níveis de eficiência foram também realizados contra conectividade de ferrovias e qualificação da força

de trabalho, embora com resultados inconclusivos, apesar de estudos anteriores, como os de Turner, Windle e Dressner (2004), Cullinane e Song (2003), e Doctor (2003).

Por outro lado, Barros, Felício, e Fernandes (2012) analisaram a produtividade dos portos marítimos brasileiros no período de 2004–2010, usando um índice de Malmquist com viés tecnológico. Durante esse período, os autores verificaram que os portos marítimos brasileiros, em média, se tornaram menos produtivos. Houve melhoramentos na mudança da eficiência, derivada de melhores práticas gerenciais. Entretanto, a mudança tecnológica sofreu deterioração. A implicação da política é que os portos marítimos brasileiros devem dar atenção ao aperfeiçoamento técnico, por meio de maiores níveis de infraestrutura física e intensidade de capital.

Com relação ao uso de abordagens paramétricas, como a AFE, os estudos sobre portos brasileiros são também escassos (FALCÃO; CORREA, 2012). Por exemplo: Wanke, Barbastefano e Hijjar (2011) usaram também a AFE para comparar os resultados de eficiência com os resultados da AED, corroborando o fato que as ineficiências operacionais encontradas anteriormente não derivavam simplesmente de irregularidades aleatórias. Mais recentemente, Caillaux et al. (2012) utilizaram a decomposição probabilística totalmente com a AED e o método ordinal Copeland, a fim de escolherem o porto de transbordo mais adequado dentro do escopo do Mercosul.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 OS DADOS

Dados secundários sobre uma amostra de 53 terminais graneleiros brasileiros foram obtidos do banco de dados estatísticos fornecido pelo website da *National Waterborne Transport Agency* ou ANTAQ (<http://www.antaq.gov.br/Portal/estatisticasanuario.asp#>). Um mapa do Brasil é apresentado na Figura 3 para ilustrar a localização geográfica desses terminais: o mapa destaca não só os terminais marítimos, como também os fluviais.

A amostra de 53 UTDs é comparável a aplicações semelhantes da AED: a análise abrangente da literatura apresentada em Panayides *et al.* (2009) indica que o número de UTDs (portos/terminais) pesquisados em geral varia de 6 a 104 (média 28). Se o trabalho de Wang e Cullinane (2006) for excluído, o número médio de UTDs é 19.8. Aplicações mais recentes da AED na indústria dos portos marítimos também segue esse padrão: Al-Eraqui, Khader e Mustafa (2009) utilizaram o índice de produtividade de Malmquist da AED para avaliar a eficiência de 22 terminais de contêineres na África Oriental e Oriente Médio; Ablanado-Rosas e Ruiz-Torres (2009) utilizaram a AED para medir a eficiência de 29 portos litorâneos

mexicanos; Wu e Liang (2009) aplicaram também a AED em 77 portos mundiais de contêineres; e Kamble, Raoot e Khanapuri (2010), em 12 portos marítimos indianos importantes.

No que se refere à representatividade de amostras e ao universo inteiro de terminais no Brasil, o país tem cerca de 150 terminais portuários (FLEURY; HIJJAR, 2010), e quase dois terços deles são especializados na movimentação de cargas a granel. Portanto, a amostra das 53 UTDs estudadas aqui responde por quase 50% da quantidade total de terminais graneleiros no Brasil. Se a produção global total agregada for considerada, esse valor sobe para 80%. Vale a pena observar que essa pesquisa enfatizou unicamente os terminais graneleiros, pois eles apresentam uma tecnologia de produção muito diferente dos terminais de contêineres (ALDERTON, 2008), que foram, portanto, descartados. Isso foi feito à luz de uma das principais premissas da AED: as UTDs analisadas deveriam apresentar tecnologias de produção compatíveis.

Os terminais graneleiros pesquisados, bem como seus respectivos portos de origem, são apresentados na Tabela 1. Todos esses dados se referem a 2011 e suas estatísticas descritivas são apresentadas na Tabela 2.

Como fica subentendido em Cooper et al. (2001), o número de UTDs deveria ser no mínimo três vezes maior do que o número de entradas e saídas, a fim de se alcançar bom poder discriminatório nas estimativas de eficiência. A entrada única coletada de cada terminal é o número agregado de horas de carregamento (por ano, todos os ancoradouros considerados). Com relação às saídas, duas variáveis foram coletadas: volume agregado de produção global por ano (em toneladas) e o número de embarques carregados por ano. As variáveis contextuais se referem à propriedade do terminal – quer seja público (1) ou privado (0) (e à sua localização geográfica) quer seja fluvial (1) ou marítimo (0). Com relação à escolha das variáveis utilizadas de entrada/saída, os leitores devem lembrar de uma das metas do trabalho, que é avaliar diferentes possibilidades para aumentar níveis de eficiência em um cenário de baixos investimentos e limitações de capacidade, considerando todos os ativos físicos a serem fixados no curto e médio prazos. Em outras palavras, a ideia é usar de forma eficiente toda a capacidade disponível de embarque no curto prazo, para aliviar a pressão do sistema. Portanto, entradas e saídas devem ser escolhidas a fim de melhor entender como o tempo de ancoradouro está sendo usado para realizar níveis mais elevados de produção, tanto em termos de embarques carregados como produções globais agregadas.

**Tabela 1 – Terminais Pesquisados**

<b>Porto - Terminal</b>	<b>Porto – Terminal</b>
Aratu – BA – Cais Público	Rio Grande – RS – Cais Público
Belém – PA – Cais Público	Rio Grande – RS – Tergrasa
Cabedelo – PB – Cais Público	Rio Grande – RS – Termasa
Cotegipe – BA	Rio Grande – RS – Yara Fertilizantes
CVRD Praia Mole – ES	Salvador – BA – Cais Público
CVRD Tubarão – ES	Santos – SP – Cais Público
Fortaleza – CE – Cais Público	Santos – SP – Cargill
Ilhéus – BA – Cais Público	Santos – SP – Corex (ADM)
Imbituba – SC – Cais Público	Santos – SP – Cosipa
Itaqui – MA – Cais Público	Santos – SP – Moinho Santista
Macapá – AP – Cais Público	Santos – SP – TMG
Maceió – AL – Cais Público	Santos – SP – Teaçú 1
Maceió – AL – Empat	Santos – SP – Teaçú 2
Natal – RN – Cais Público	Santos – SP – Teaçú 3
Ocrim – AM	Santos – SP – TGG
Paranaguá – PR – Corex	Santos – SP – Ultrafertil
Paranaguá – PR – Fospar	São Francisco do Sul – SC – Cais Público
Paranaguá – PR – Múltiplo Uso	São Francisco do Sul – SC – TESC
Pelotas – RS – Cais Público	São Sebastião – SP – Cais Público
Ponta da Madeira – MA	Sobramil – MS
Porto Alegre – RS – Navegantes	Suape – PE – Cais Público
Porto Alegre – RS – Serra Morena	USIMINAS – SP
Porto Trombetas – PA	Vila do Conde – PA – Cais Público
Porto Velho – RO – Cais Público	Vitória – ES – Capuaba
Recife – PE – Cais Público	Vitória – ES – Peiú
Rio Grande – RS – Bianchini	Vitória – ES – Praia Mole
Rio Grande – RS – Bunge	

Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 2 – Estatística Concisa para a Amostra (Ano: 2011)**

<b>Estatística descritiva</b>	<b>Entrada medida</b>	<b>Saídas medidas</b>		<b>Variáveis contextuais</b>	
	<b>(I) Horas de carregamento (por ano)</b>	<b>(O) Embarques carregados (por ano)</b>	<b>(O) Produção global agregada (t/ano)</b>	<b>Terminal fluvial?</b>	<b>Terminal público?</b>
Média	8.398,53	189,07	6.354.509,99	0,09	0,38
Desv. Estat.	10.548,47	281,80	19.481.268,01	0,30	0,49
VC	1,26	1,49	3,07	3,13	1,30

Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 1 – Mapa dos Terminais Graneleiros Brasileiros Pesquisados  
Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.2 ANÁLISE DE ENVELOPAMENTO DE DADOS

A AED é um modelo sem parâmetros apresentado pela primeira vez por Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Ele se baseia na programação linear (PL) e é utilizado para apontar o problema de calcular a eficiência relativa para um grupo de Unidades de Tomada de Decisões (UTDs) utilizando múltiplas medidas de entradas e saídas. Dado um conjunto de UTDs, entradas e saídas, a AED determina para cada UTD uma medida da eficiência obtida como uma razão das saídas ponderadas para entradas ponderadas.

Consideremos um conjunto de  $n$  observações sobre as UTDs. Cada observação,  $UTD_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) utiliza  $m$  entradas  $x_{ij}$  ( $i=1, \dots, m$ ) para produzir  $s$  saídas  $y_{rj}$  ( $r=1, \dots, s$ ). A Tabela 3 resume os modelos de envelopamento com relação às orientações e tipos de fronteiras (ZHU, 2003), onde  $UTD_o$  representa uma das  $n$  UTDs avaliadas, e  $x_{io}$  e  $y_{ro}$  são a  $i^a$  entrada e  $r^a$  saída para  $UTD_o$ , respectivamente.



Tabela 3 – Modelos de Envolvimento da AED

Tipo de Fronteira	Orientada para Entrada	Orientada para Saída
Retornos de escala Constantes (CRS), também conhecidos como CCR (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978)	$\min q$ $st.$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq q x_{i0}, \quad i(1)$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0}, \quad r$ $\lambda_j \geq 0, \quad j$	$\max x_j$ $st.$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, \quad i \quad (2)$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0}, \quad r$ $\lambda_j \geq 0, \quad j$
Retornos de escala Variáveis (VRS), também conhecidos como BCC (Banker; Charnes; Cooper, 1984)	Acrescenta $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$	Acrescenta $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, o modelo BCC difere do modelo CCR apenas na adição da limitação  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ . Com relação à orientação do modelo, orientado para entrada ou saída, as duas medidas fornecem os mesmos resultados sob retornos constantes de escala (CRS), mas são desiguais quando retornos variáveis de escala (VRS) são assumidos como a fronteira eficiente (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2004). Essencialmente, deve-se selecionar uma orientação de acordo com que quantidades (entradas ou saídas) sobre as quais os tomadores de decisão têm maior controle (COELLI, 1996). Entretanto, considerando que PL não pode experimentar problemas estatísticos como o viés da equação simultânea, a escolha de uma orientação adequada não é tão importante como é no caso da estimativa econométrica (COELLI, 1996). Além disso, a escolha da orientação só terá influências menos importantes sobre os resultados obtidos e suas graduações relativas (COELLI; PERELMAN, 1999).

Comparada com o método da fronteira paramétrica estocástica, a AED não impõe nem uma relação funcional específica entre saídas e entradas de produção, nem nenhuma premissa sobre a distribuição estatística específica dos termos com erro (CULLINANE *et al.*, 2006). Uma fronteira eficiente está no limite de um polítopo convexo criado no espaço de entradas e saídas, e nos quais cada vértice é uma UTD eficiente (DULÁ; HELGASON, 1996). Outra característica da AED é que os pesos relativos das entradas e saídas não precisam ser conhecidos antecipadamente, isto é, esses pesos são determinados como parte da solução do problema linear (ZHU, 2003).

Embora os pesos não sejam cruciais a priori, os resultados da AED dependem grandemente ao conjunto de entradas e saídas utilizadas. Quanto mais variáveis (entradas e

saídas) houver na AED, menos exigente a análise será (JENKINS; ANDERSON, 2003). Esse fato demanda maior preocupação pelo processo da seleção da variável. Devido ao grande número de variáveis potenciais iniciais a serem consideradas para AED, diversos métodos são propostos na literatura, os quais sugerem a limitação do número de variáveis relativos à quantidade de UTDs (WAGNER; SHIMSHAK, 2007). Alguns estudos sugeriram a seleção crítica por peritos, a fim de indicar as variáveis mais relevantes para o Modelo de AED (GOLANY; ROLL, 1989); análise de regressão, a fim de indicar variáveis altamente correlatas como redundantes (LEWIN; MOREY; COOK, 1982); ou aplicação da AED a modelos reduzidos, a fim de classificar o efeito das variáveis sobre os resultados da eficiência (WAGNER; SHIMSHAK, 2007).

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO RETORNO DE ESCALA

A ineficiência da escala é devida a retornos de escala (RTS) maiores ou menores. Embora a limitação sobre  $\sum_{j=1}^n \lambda_j$  realmente determine o tipo predominante de RTS de uma fronteira eficiente (ZHU, 2003) - CRS ou VRS - a escala de ineficiência em uma UTD determinante pode ser avaliada sob ambos os modelos. Como foi esclarecido por Cooper, Seiford e Tone (2007), enquanto o modelo CCR avalia simultaneamente RTS e ineficiência técnica, o modelo BCC avalia separadamente a eficiência técnica.

Como foi observado por Odeck e Alkadi (2001), o termo  $\sum_{j=1}^n \lambda_j$  é conhecido também como Indicador de Escala ( $SI_o$ ) dentro do modelo CCR. Assim, embora o termo CRS seja usado para caracterizar o modelo CCR, esse modelo pode ser usado para determinar se RTS crescente, decrescente ou constante predomina em uma UTD dada, tornando as margens de manobra de entrada e saída explícitas na formulação de PL. Por exemplo, se sua eficiência “economia de entrada” for maior do que sua eficiência de “aumento de saída”, o aumento de RTS prevalece (ODECK; ALKADI, 2001). Agora, com relação ao modelo BCC, como sua fronteira eficiente é estritamente côncava, a solução ideal será necessariamente designar uma determinada UTD como sendo a região de RTS constante, decrescente ou crescente.

Embora a escolha da orientação só venha a ter influência pequenas sobre os resultados de eficiência obtidos e suas graduações relativas (COELLI; PERELMAN, 1999), deve-se observar, todavia, que modelos orientados para entrada e saída podem dar resultados diferentes em suas descobertas de RTS (BANKER *et al.*, 2004). Assim, os resultados obtidos podem depender da orientação usada (RAY, 2010). O RTS crescente pode resultar de um modelo orientado para entrada, por exemplo, enquanto uma aplicação de um modelo

orientado para saída poderá produzir uma caracterização de RTS decrescente a partir dos mesmos dados.

O fato que diferentes orientações podem levar a diferentes conclusões de RTS, independentemente do modelo de AED utilizado (CCR ou BCC) é bem discutido na literatura (ver, por exemplo, ZAREPISHEH; KHORRAM; JAHANSHALOO, 2010; RAY, 2010; BANKER *et al.*, 2004). Entretanto, sob que condições modelos CCR e BCC geram diferentes caracterizações de RTS, observando a mesma orientação, é uma questão de estimativa de fronteira que será explorada mais adiante (DARAIO; SIMAR, 2007), onde a violação “real” da hipótese de convexidade poderá ou não estar envolvida.

### 3.4 MÉTODO DE *BOOTSTRAPPING*

De acordo com Simar e Wilson (2004), nenhum dos modelos teóricos apresentados são realmente observados, incluindo a fronteira eficiente (CCR, BCC, ou FDH) e sua função de distância respectiva de cada UTD ( $D(x, y/\cdot)$ ). Assim, todos esses elementos devem ser avaliados. Os avaliadores são, necessariamente, variáveis aleatórias sobre as quais testes estatísticos, ou pelo menos, intervalos de confiança (IC) podem ser construídos para derivar conclusões úteis.

Consequentemente, a importância dos métodos baseados no *bootstrapping*, como aqueles apresentados em Simar e Wilson (2004) e Wilson (2008), para estimativa da fronteira eficiente, deve ser posta em perspectiva. As discussões sobre RTS em diferentes modelos de AED foram confinadas na caracterização “qualitativa” na forma de identificar se eles estão aumentando, diminuindo ou são constantes (BANKER *et al.*, 2004; COOPER; SEIFORD; TONE, 2007). Todavia, esses métodos de *bootstrapping*, que são úteis para lidar com a distribuição assintótica dos avaliadores AED/FDH, podem ser usados para implementar testes estatísticos de retornos constantes de escala contra retornos variáveis de escala, entre outras coisas convexidade (WILSON, 2009). Por exemplo: Daraio e Simar (2007) desenvolveram diversas medidas condicionais de eficiência, as quais fornecem também indicadores para o tipo de RTS. A metodologia de *bootstrapping* utilizada nesse estudo é detalhada a seguir.

O método utilizado nesse estudo parte daquele desenvolvido por Simar e Wilson (2004), apresentado também em Bogetoft e Otto (2010), que adaptou a metodologia de *bootstrapping* ao caso dos avaliadores de eficiência AED/FDH, e utiliza uma função de densidade de kernel gaussiano para geração de dados aleatórios. O algoritmo de sete etapas é detalhado a seguir.

#### *Algoritmo*

1. Para cada  $DMU_j$ , aplicar todos os avaliadores da função de distância em (7)-(9) para obter as estimativas recíprocas de  $D(x_j, y_j / \overline{FDH})$ ,  $D(x_j, y_j / \overline{CCR})$ , e  $D(x_j, y_j / \overline{BCC})$ .
2. Refletir as  $n$  estimativas recíprocas para cada fronteira eficiente ( $FDH, BCC$ , e  $CCR$ ) sobre a unidade, e determinar os parâmetros respectivos de largura de banda  $h_{FDH}, h_{BCC}$  e  $h_{CCR}$  através dos mínimos quadrados ordinários.
3. Usar a etapa [4] para desenhar  $n$  valores de *bootstrap*  $\overline{D}_j$ ,  $j = 1, \dots, n$ , a partir da função de densidade de kernel respectiva, para cada uma das estimativas de eficiência desde a etapa [1] e seus valores refletidos da etapa [2].
4. Deixar  $\{\varepsilon_j\}_{j=1}^n$  ser um conjunto iid (independente e identicamente distribuído) desenhado da função de densidade de probabilidade utilizada para definir a função de kernel respectiva; deixar  $\{d_j\}_{j=1}^n$  ser um conjunto de valores desenhados independentemente, uniformemente, e com substituição pelo conjunto respectivo de estimativas da função de distância refletida  $R = \{D(x_j, y_j / \cdot), 2 - D(x_j, y_j / \cdot)\}$ ; e deixar  $\overline{d} = n^{-1} \sum_{j=1}^n d_j$ . Em seguida, calcular  $\overline{d}_j = \overline{d} + (1 + h_{\bullet}^2 / s^2)^{1/2} (d_j + h_{\bullet} \varepsilon_j - \overline{d})$ , onde  $s^2$  é a variação amostral dos valores  $d_j + h_{\bullet} \varepsilon_j$ . Se  $\overline{d}_j \leq 1$ , então  $\overline{D}_j = \overline{d}_j$ , caso contrário,  $\overline{D}_j = 2 - \overline{d}_j$ .
5. Construir um pseudo-conjunto de dados de entradas e saídas ( $\overline{S}_n^{\bullet} = \{(\overline{x}_j, \overline{y}_j)\}_{j=1}^n$ ) para cada fronteira eficiente ( $FDH, BCC$ , e  $CCR$ ) com elementos  $(\overline{x}_j, \overline{y}_j)$  dados por  $\overline{x}_j = \overline{D}_j x_j / D(x_j, y_j / \cdot)$  e  $\overline{y}_j = y_j$  (se forem orientados para entrada).
6. Utilizar os avaliadores respectivos da função de distância em (7)-(9) para calcular a estimativa de *bootstrap*  $D(\overline{x}_o, \overline{y}_o / \cdot)$ .
7. Repetir as etapas [3] a [5]  $B$  vezes para obter um conjunto de  $B$  estimativas *bootstrap*  $\{D_b(\overline{x}_o, \overline{y}_o / \cdot)\}_{b=1}^B$ .

Na realidade, quando os pseudo-conjuntos de dados de entradas e saídas para as  $n$  UTDs tiverem sido obtidos, é óbvio estimar ICs em uma determinada  $DMU_o$  não somente para as funções de distância reais, mas também para os resultados de eficiência e os indicadores de RTS. A Tabela 4 resume os pseudo-conjuntos de dados de estimativas adicionais que podem

possivelmente ser gerados a partir de pseudo-conjuntos de dados de entrada e saída, usando o algoritmo apresentado anteriormente.

**Tabela 4 –Pseudo-Conjuntos de Dados de Estimativas**

Entradas e Saídas	Funções de Distância	Resultados de Eficiência	Indicadores de RTS
$\{\overline{(x_o, y_o / FDH)}\}_{b=1}^B$	$\{D_b(\overline{x_o, y_o / FDH})\}_{b=1}^B$ usando (9)	$\{\theta_b(\overline{x_o, y_o / FDH})\}_{b=1}^B$ usando (5)	NA
$\{\overline{(x_o, y_o / BCC)}\}_{b=1}^B$	$\{D_b(\overline{x_o, y_o / BCC})\}_{b=1}^B$ usando (8)	$\{\theta_b(\overline{x_o, y_o / BCC})\}_{b=1}^B$ usando (1) + limitação de convexidade em $\sum_{j=1}^n \lambda_j$	$\{u_{o,b}(\overline{x_o, y_o / BCC})\}_{b=1}^B$ usando (3)
$\{\overline{(x_o, y_o / CCR)}\}_{b=1}^B$	$\{D_b(\overline{x_o, y_o / CCR})\}_{b=1}^B$ usando (7)	$\{\theta_b(\overline{x_o, y_o / CCR})\}_{b=1}^B$ usando (1)	$\{SI_{o,b}(\overline{x_o, y_o / CCR})\}_{b=1}^B$ usando (1)

NA = Não se aplica

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para avaliar a adequação da premissa de convexidade imposta pelos modelos de AED para caracterizar o RTS predominante dentro da amostra de terminais graneleiros brasileiros, o arcabouço metodológico apresentado nesta seção foi aplicado. Mais precisamente, 95% ICs foram determinados, não apenas para o conjunto de avaliadores  $\{D_b(\overline{x_o, y_o / FDH})\}_{b=1}^B$ ,  $\{D_b(\overline{x_o, y_o / BCC})\}_{b=1}^B$  e  $\{D_b(\overline{x_o, y_o / CCR})\}_{b=1}^B$  - para aceitar/recusar a premissa de convexidade em uma determinada  $DMU_o$ /terminal - mas também para  $\{SI_{o,b}(\overline{x_o, y_o / CCR})\}_{b=1}^B$  e  $\{u_{o,b}(\overline{x_o, y_o / BCC})\}_{b=1}^B$  - para avaliar como sua rejeição afeta a caracterização de RTS sob a mesma orientação de entrada. Essas análises foram postas em prática em Maple 12, com 1.000 cópias de *bootstrap* geradas nas funções de densidade de kernel gaussiano para cada fronteira eficiente. Os resultados dessas funções são discutidos a seguir.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ESTIMATIVAS INICIAIS

As graduações de eficiência calculadas usando modelos orientados para entrada AED/FDH são dadas na Tabela 5, bem como os resultados de RTS ( $SI$  e  $u_o$ ) para cada UTD. Como seria de se esperar, o modelo FDH produz estimativas de eficiência média mais altas do que ambos os modelos AED (um valor de índice de 1.00 é igual à eficiência máxima). Especificamente falando, o modelo CCR produz estimativas de eficiência medias menores do

que o modelo BCC, com valores médios respectivos de 0.15 e 0.27. além disso, o modelo CCR identifica mais terminais ineficientes (51 x 50) do que o modelo BCC. Esse resultado não é de espantar, pois o modelo CCR se ajusta a uma tecnologia de produção linear, enquanto o modelo BCC apresenta retornos variáveis de escala, os quais são mais flexíveis e refletem eficiência gerencial, além de limites puramente técnicos.

A grande maioria (51 de 53) dos terminais graneleiros brasileiros analisados parece estar sofrendo ambigüamente de IRS sob ambas as caracterizações de RTS. Nenhum terminal parece estar sofrendo ambigüamente de DRS. Discrepâncias entre as caracterizações de RTS foram encontradas em apenas dois casos (UTDs 6 – o grande terminal de minério de ferro da Vale no Porto de Tubarão – e 24 – um terminal fluvial público importante para transporte de soja de produtores localizados nos estados de Mato Grosso e Rondônia); ambos eficientes à escala, isto é, localizados no MPSS. De acordo com Odeck e Alkadi (2001) e Ross e Droge (2004), uma UTD pode ter escala ineficiente se sofrer retornos decrescentes de escala por ser de tamanho muito grande, ou se estiver deixando de tirar vantagem total de retornos crescentes de escala por serem pequenas demais. Até agora, esses resultados sugerem que a maioria dos terminais graneleiros brasileiros tem capacidade pequena. Em outras palavras, a capacidade do terminal graneleiro é pequena demais em relação às tarefas que ele desempenha.

#### 4.2 RESULTADOS DA EFICIÊNCIA EM *BOOTSTRAPPING* E PREMISSE DA CONVEXIDADE

Os resultados de eficiência de CCR e BCC de bootstrapping, bem como suas respectivas ICs 95%, são apresentados nas Figuras 2 e 3 para cada UTD. Os procedimentos para calcular essas estimativas, baseados em 1.000 cópias de *bootstrap* para cada fronteira eficiente, seguiram as discussões detalhadas em Simar e Wilson (2004) e Curi, Gitto e Mancuso (2011). Os leitores podem facilmente observar que os terminais públicos tendem a ser menos eficientes do que os privados (média das estimativas de viés corrigido de CCR: 0.05 contra 0.11; média de estimativas de viés corrigido de BCC: 0.16 contra 0.17), corroborando assim estudos anteriores. O oposto é verdadeiro para terminais fluviais (média de estimativas de viés corrigido de CCR: 0.34 contra 0.08; média de estimativas de viés corrigido de BCC: 0.40 contra 0.16). A maior parte deles se especializa em manusear e movimentar soja de produtores, localizados em estados do interior do meio-leste, até a estrada/ferrovia mais próxima, a fim de alcançar os principais terminais de exportação, localizados nos portos de Santos e Paranaguá. A natureza assintótica dos ICs deve também ser

observada, pois seus limites inferiores e superiores não são simétricos em torno da estimativa central.

Com relação à premissa de convexidade, os limites superiores para ICs 95% para as funções de distância de FDH e BCC são dados na Figura 4. Os limites superiores para a função de distância CCR foram omitidos a fim de melhorar sua legibilidade. Deve ser observado que tomar recíprocas das estimativas de IC, para o caso de analisar funções de distância de entrada em vez de resultados de eficiência, exige a inversão da ordem dos limites; isto é, a recíproca do limite superior para a medida da função de distância de entrada dá o limite inferior para a medida de resultado eficiente, e vice-versa (WILSON, 2009).

A premissa da convexidade não é apoiada estatisticamente em sete UTDs quando se compara entre si, os limites superiores dos ICs 95% para as funções de distância FDH, BCC e CCR. Mais precisamente, a premissa da convexidade não se mantém, a 5% do significado, nas UTDs 6, 10, 19, 24, 28, 38 e 47. A “rejeição estatística” da premissa da convexidade parece estar relacionada com um grupo heterogêneo de UTDs em termos de seus resultados de eficiência, independentemente de seus tamanhos e variáveis contextuais (ver Figura 5). Esse grupo abrange os dois casos mencionados anteriormente (6 e 24) e foram caracterizações da RTS original que se descobriu serem discrepantes. Análises adicionais para lidar com ambas as caracterizações discrepantes são discutidas na seção seguinte.

Tabela 5 - Estimativas Iniciais

UTD		Pontuações de eficiência – baseadas em entradas			Caracterização de RTS				UTD		Pontuações de eficiência – baseadas em entradas			Caracterização de RTS			
#	Porto - Terminal	FDH	BCC	CCR	SI	RTS-CCR	uzero	RTS-BCC	#	Porto - Terminal	FDH	BCC	CCR	SI	RTS-CCR	uzero	RTS-BCC
1	Aratu – BA – Cais Público	0.14	0.04	0.03	0.07	Crescente	(0.01)	Crescente	28	Rio Grande – RS – Cais Público	0.19	0.07	0.04	0.15	Crescente	(0.01)	Crescente
2	Belém – PA – Cais Público	0.31	0.07	0.02	0.02	Crescente	(0.03)	Crescente	29	Rio Grande – RS – Tergrasa	0.92	0.07	0.06	0.33	Crescente	(0.01)	Crescente
3	Cabedelo – PB – Cais Público	0.62	0.31	0.06	0.01	Crescente	(0.13)	Crescente	30	Rio Grande – RS – Termasa	0.42	0.15	0.09	0.11	Crescente	(0.03)	Crescente
4	Cotegipe – BA	0.41	0.14	0.08	0.05	Crescente	(0.03)	Crescente	31	Rio Grande – RS – Yara Fertilizantes	0.88	0.06	0.05	0.35	Crescente	(0.01)	Crescente
5	CVRD Praia Mole – ES	1.00	0.37	0.19	0.03	Crescente	(0.09)	Crescente	32	Salvador – BA – Cais Público	0.44	0.12	0.04	0.03	Crescente	(0.04)	Crescente
6	<b>CVRD Tubarão – ES</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>Constante</b>	<b>(0.01)</b>	<b>Crescente</b>	33	Santos – SP – Cais Público	0.37	0.11	0.06	0.06	Crescente	(0.03)	Crescente
7	Fortaleza – CE – Cais Público	0.62	0.16	0.08	0.04	Crescente	(0.04)	Crescente	34	Santos – SP – Cargill	0.54	0.16	0.13	0.17	Crescente	(0.02)	Crescente
8	Ilheus – BA – Cais Público	1.00	0.46	0.04	0.00	Crescente	(0.21)	Crescente	35	Santos – SP – Corex (ADM)	0.48	0.16	0.14	0.23	Crescente	(0.01)	Crescente
9	Imbituba – SC – Cais Público	0.43	0.12	0.06	0.05	Crescente	(0.03)	Crescente	36	Santos – SP – Cosipa	0.86	0.17	0.13	0.08	Crescente	(0.02)	Crescente
10	Itaqui – MA – Cais Público	0.36	0.08	0.03	0.05	Crescente	(0.03)	Crescente	37	Santos – SP – Moinho Santista	0.49	0.12	0.03	0.02	Crescente	(0.05)	Crescente
11	Macapá – AP – Cais Público	0.72	0.20	0.07	0.02	Crescente	(0.07)	Crescente	38	Santos – SP – TMG	0.51	0.15	0.08	0.05	Crescente	(0.04)	Crescente
12	Maceió – AL – Cais Público	0.42	0.10	0.02	0.02	Crescente	(0.04)	Crescente	39	Santos – SP – Teagu 1	0.89	0.31	0.19	0.06	Crescente	(0.06)	Crescente
13	Maceió – AL – Empat	0.41	0.15	0.10	0.08	Crescente	(0.03)	Crescente	40	Santos – SP – Teagu 2	0.58	0.22	0.15	0.08	Crescente	(0.04)	Crescente
14	Natal – RN – Cais Público	1.00	0.57	0.05	0.01	Crescente	(0.26)	Crescente	41	Santos – SP – Teagu 3	1.00	0.33	0.23	0.07	Crescente	(0.05)	Crescente
15	Ocrim – AM	0.72	0.40	0.02	0.00	Crescente	(0.19)	Crescente	42	Santos – SP – TGG	1.00	0.33	0.24	0.08	Crescente	(0.05)	Crescente
16	Paranaguá – PR – Corex	1.00	0.16	0.14	0.31	Crescente	(0.01)	Crescente	43	Santos – SP – Ultrafertil	1.00	0.27	0.10	0.04	Crescente	(0.09)	Crescente
17	Paranaguá – PR – Fospar	0.36	0.14	0.09	0.07	Crescente	(0.03)	Crescente	44	São Francisco do Sul – SC – C. Pub.	0.91	0.20	0.16	0.13	Crescente	(0.03)	Crescente
18	Paranaguá – PR – Múltiplo Uso	0.37	0.05	0.04	0.39	Crescente	(0.00)	Crescente	45	São Francisco do Sul – SC – TESC	0.50	0.13	0.05	0.03	Crescente	(0.04)	Crescente
19	Pelotas – RS – Cais Público	1.00	1.00	0.04	0.01	Crescente	(0.50)	Crescente	46	São Sebastião – SP – Cais Público	0.76	0.34	0.03	0.01	Crescente	(0.16)	Crescente
20	Ponta da Madeira – MA	1.00	0.93	0.93	0.92	Crescente	(0.01)	Crescente	47	Sobramil – MS	0.54	0.37	0.34	0.63	Crescente	(0.04)	Crescente
21	Porto Alegre – RS – Navegantes	0.66	0.16	0.05	0.04	Crescente	(0.06)	Crescente	48	Suape – PE – Cais Público	0.71	0.38	0.09	0.01	Crescente	(0.15)	Crescente
22	Porto Alegre – RS – Serra Morena	0.93	0.17	0.04	0.04	Crescente	(0.06)	Crescente	49	USIMINAS – SP	0.83	0.19	0.15	0.10	Crescente	(0.02)	Crescente
23	Porto Trombetas – PA	1.00	0.69	0.65	0.32	Crescente	(0.03)	Crescente	50	Vila do Conde – PA – Cais Público	0.92	0.16	0.15	0.36	Crescente	(0.01)	Crescente
24	<b>Porto Velho – RO – Cais Público</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>Constante</b>	<b>(0.07)</b>	<b>Crescente</b>	51	Vitória – ES – Capuaba	0.40	0.10	0.03	0.02	Crescente	(0.04)	Crescente
25	Recife – PE – Cais Público	0.18	0.06	0.04	0.08	Crescente	(0.01)	Crescente	52	Vitória – ES – Peiú	1.00	0.24	0.04	0.02	Crescente	(0.10)	Crescente
26	Rio Grande – RS – Bianchini	0.56	0.13	0.11	0.23	Crescente	(0.02)	Crescente	53	Vitória – ES – Praia Mole	1.00	0.61	0.21	0.02	Crescente	(0.21)	Crescente
27	Rio Grande – RS – Bunge	0.97	0.25	0.12	0.04	Crescente	(0.07)	Crescente									

Fonte: Elaborado pelos autores.



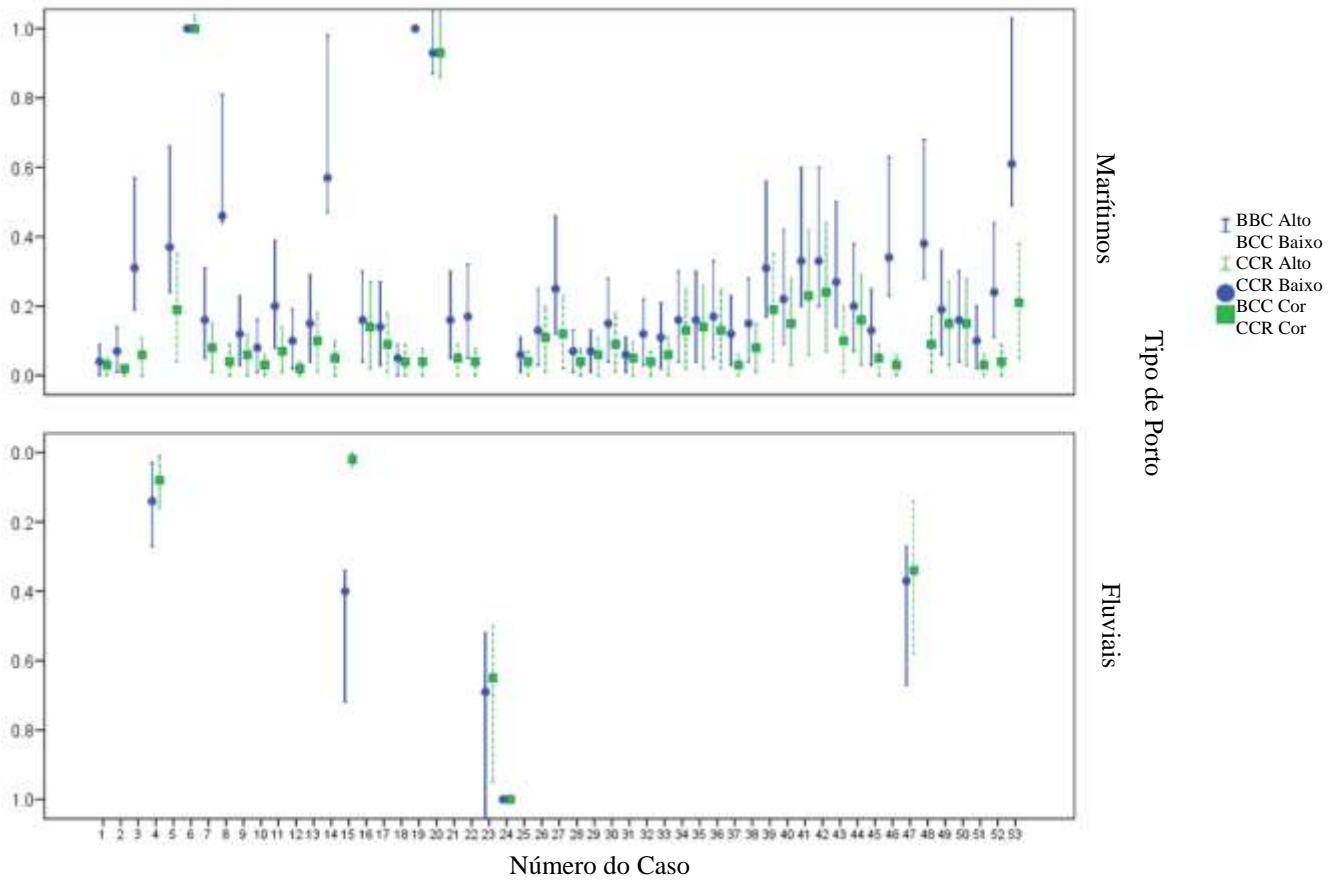


Figura 2 – Pontuações de Eficiência Usando a Técnica *Bootstrapping* (Fluviais vs. Marítimos)  
Fonte: Elaborado pelos autores.

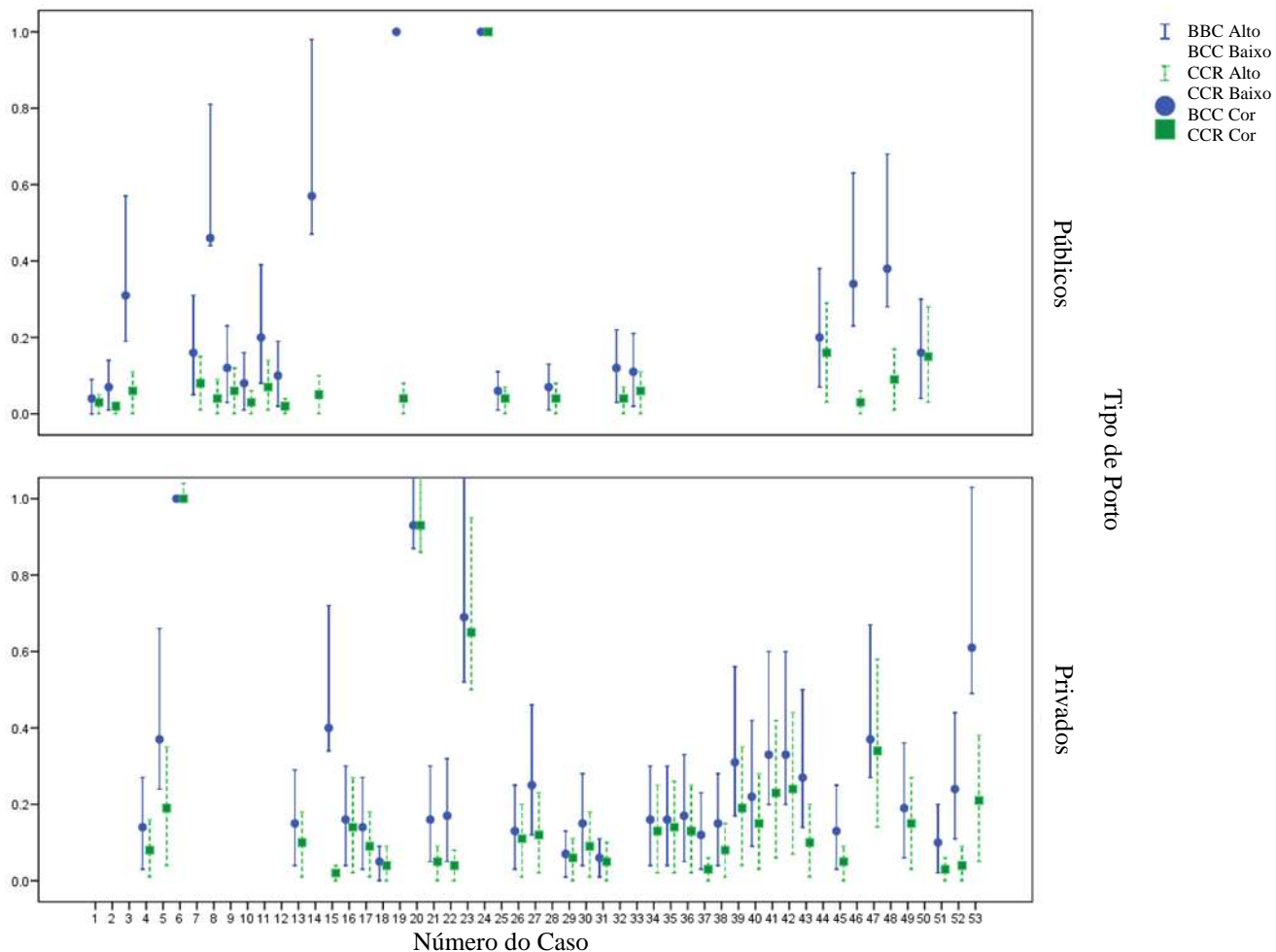


Figura 3 – Pontuações de Eficiência Usando a Técnica *Bootstrapping* (Públicos vs. Privados)  
 Fonte: Elaborado pelos autores.

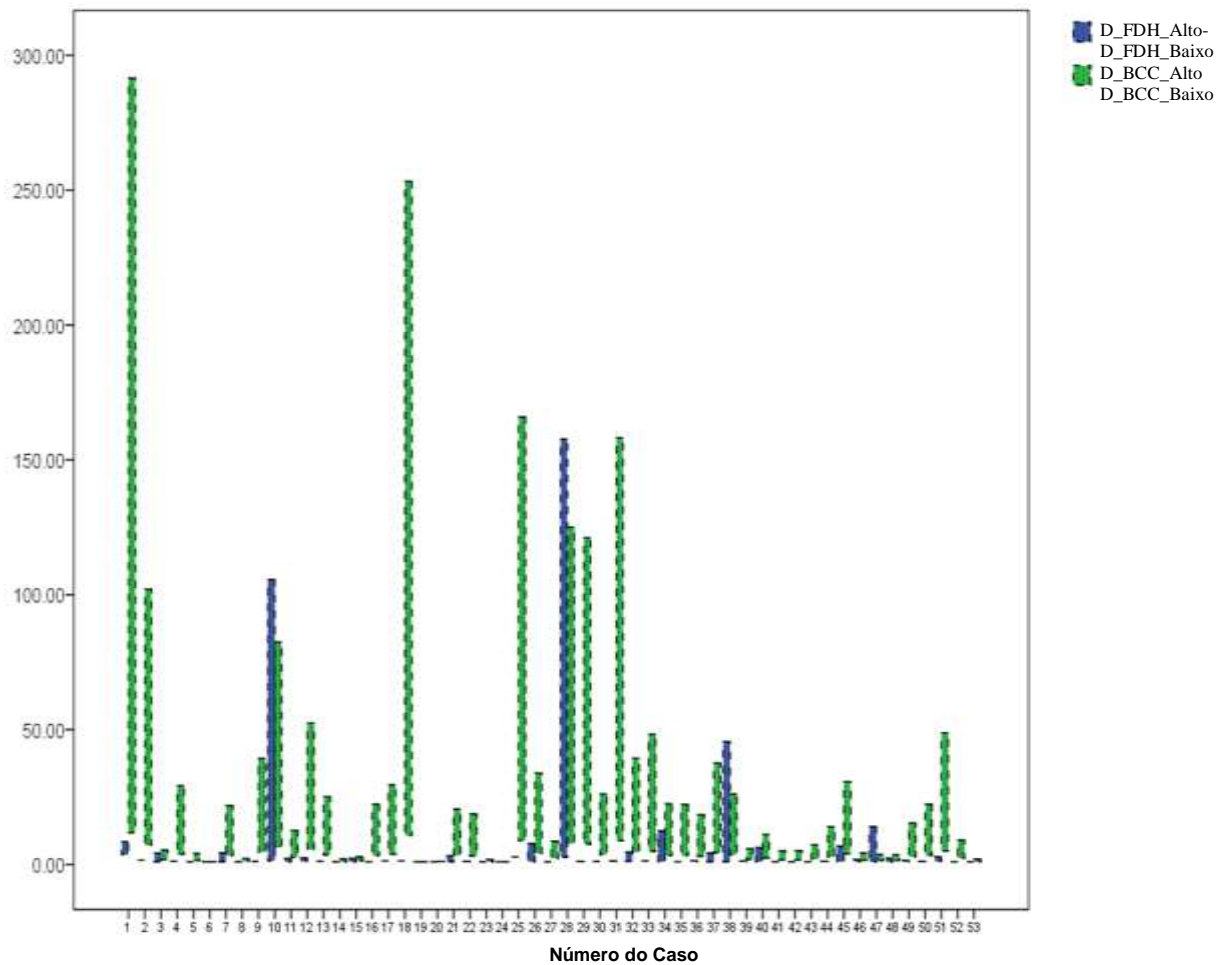


Figure 4 – Limites Superiores Para Os IC De 95% – Funções De Distância FDH E BCC  
Fonte: Elaborado pelos autores.

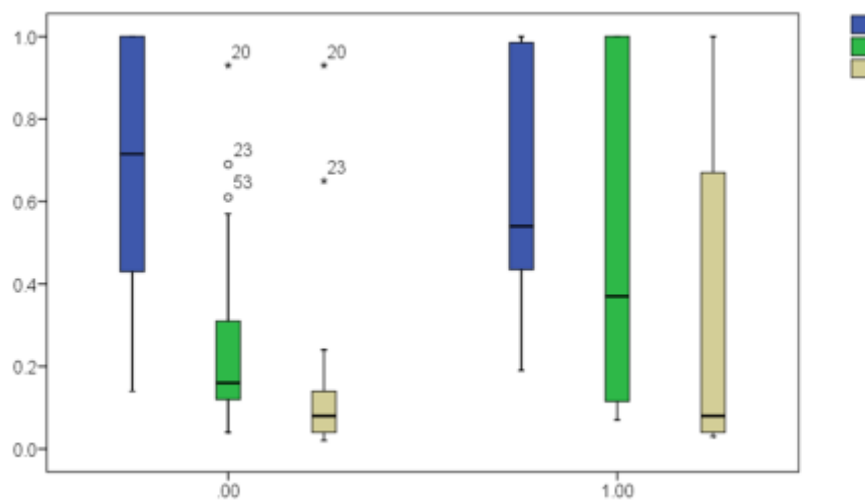


Figura 5 – Violação da Suposição de Convexidade e Pontuações de Eficiência (1 = Sim / 0 = Não)  
Fonte: Elaborado pelos autores.

Violação de Convexidade

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DE RTS: IC PARA $SI_o$ E $u_o$

Os limites inferiores e superiores para os IC de 95% para os indicadores RTS  $SI_o$  e  $u_o$ , assim como suas respectivas estimativas centrais com correção de viés, são mostrados na Figura 6. A metodologia usada para analisar seus resultados é demonstrada sinteticamente na Figura 7. No caso CCR, uma caracterização de RTS dada é considerada estatisticamente significativa somente se os limites inferiores e superiores do intervalo de confiança para o indicador  $SI_o$  forem maiores que 1 (DRS) ou menores que 1 (IRS). Por outro lado, quanto ao caso BCC, apenas se os limites inferiores e superiores do intervalo de confiança para o indicador  $u_o$  forem maiores que 0 (DRS) ou menores que 0 (IRS). Limites iguais a 1 ou a 0, respectivamente, sugerem fortemente CRS em um nível dado de significatividade. Como sustentado por Bogetoft e Otto (2010), já que a conexão entre uma dada caracterização RTS e suas estimativas é incerta ou estocástica, as hipóteses de uma dada caracterização devem ser rejeitadas se pelo menos um dos indicadores de escala estimados estiver fora de tais valores críticos.

Mais uma vez, a maioria (51 de 53) dos terminais graneleiros Brasileiros analisados parecem sem ambiguidade ter IRS sob ambas as caracterizações de RTS a 5% de significatividade. Nenhum terminal parece sem ambiguidade ter DRS a 5% de significatividade. Discrepâncias entre caracterizações de RTS, encontradas originalmente em dois casos (UTDs 6 e 24), ainda persistem. É relevante conduzir análise adicional sobre a UTD 24 (na qual caracterizações de RTS discrepantes foram encontradas) e sobre a UTD 6 (na qual nenhuma das caracterizações de RTS foram estatisticamente significativas a 5%). No primeiro caso, análises adicionais conduzidas sobre as estimativas *bootstrap*, a fim de determinar o nível mínimo de IC no qual somente uma classificação de RTS permanece significativa. Foi concluído que a UTD 24 ainda é divergente em ambas as caracterizações mesmo quando um IC de 100% (isto é, a amostra *bootstrap* inteira) é considerado, sugerindo, assim, que esta UTD é provavelmente CRS. Considerando as estimativas *bootstrap* para a UTD 6, análises adicionais - para determinar o nível máximo de IC abaixo do qual a primeira classificação de RTS se torna significativa - indicam que este terminal é CCR CRS quando um IC de 86% é considerado.

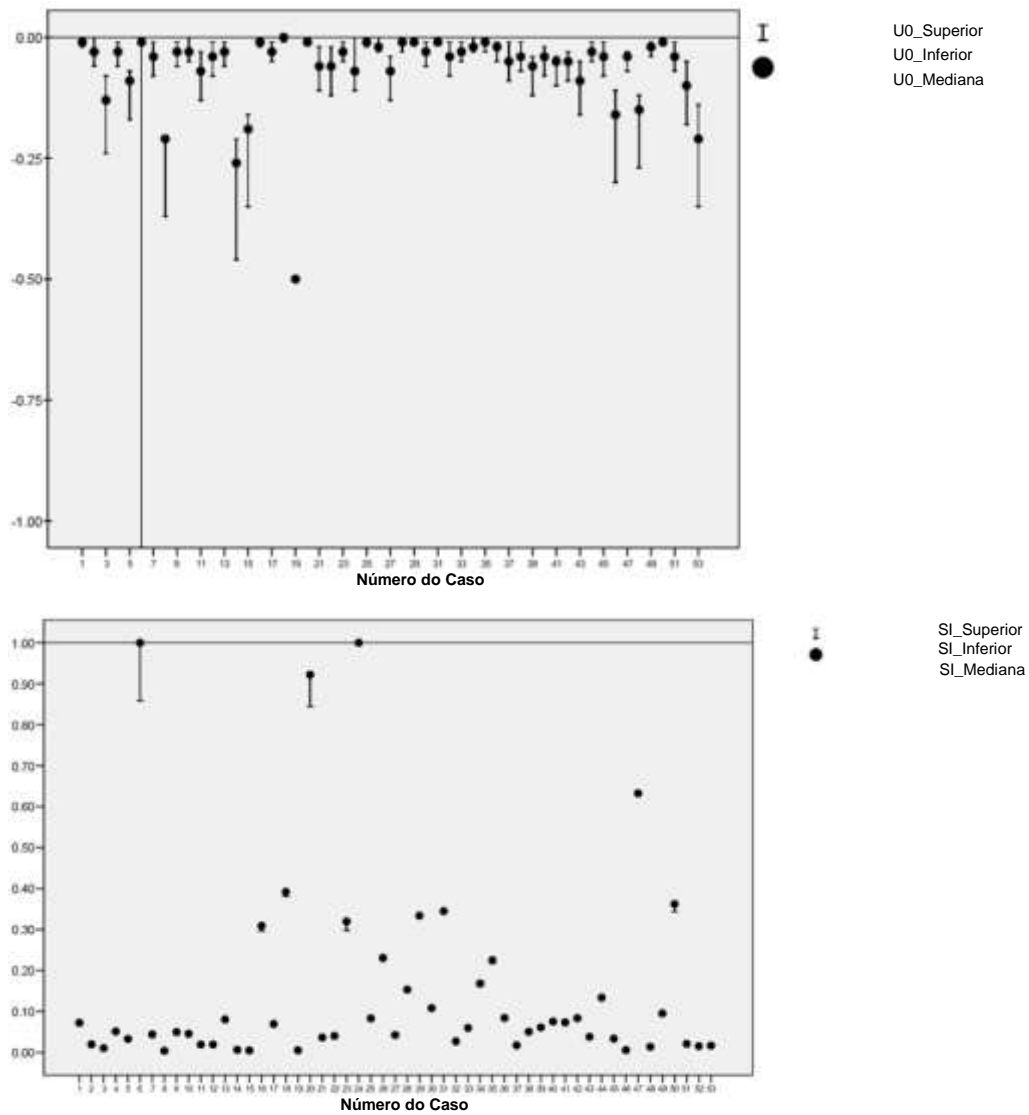


Figura 6 - IC de 95% para  $SI_0$  e  $u_0$

Fonte: Elaborado pelos autores.

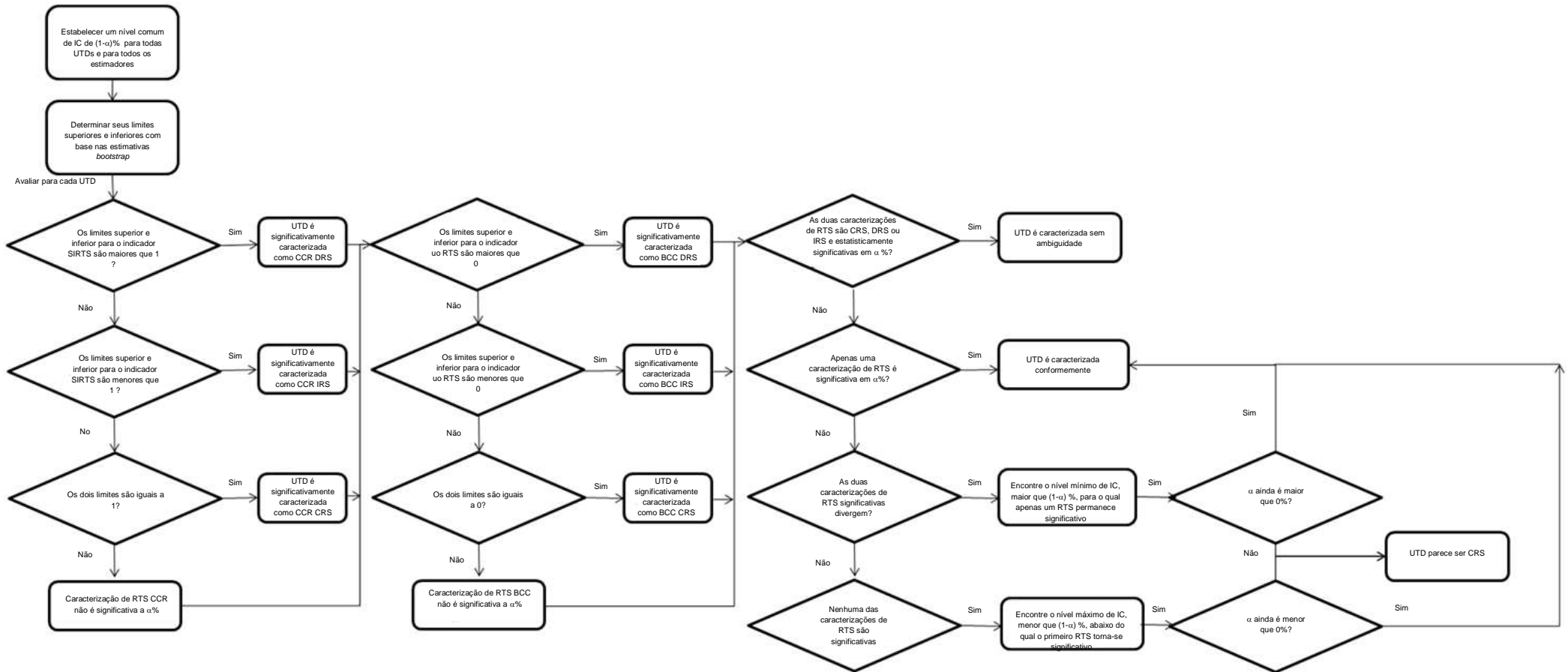


Figura 7 – Metodologia Simples para Avaliar Caracterização de RTS com Base em IC  
 Fonte: Elaborado pelos autores.

## **5 CONCLUSÕES**

Inspirado pelo debate atual no setor portuário Brasileiro, no qual evidências anedóticas sugerem uma carência de capacidade (AGÊNCIA BRASIL, 2004; DOCTOR, 2003; SALES, 2001), este trabalho apresentou uma análise dos terminais graneleiros Brasileiros construída com base na técnica *bootstrap*. A ideia básica do estudo era usar intervalos da confiança e estimativas centrais com correção de viés como ferramentas essenciais, não apenas para testar para diferenças significativas em pontuações de eficiência e em suas recíprocas (isto é, suas funções de distância), mas também em indicadores de retornos de escala fornecidos por diferentes modelos de AED.

Os resultados deste estudo sugerem que a maioria dos terminais graneleiros brasileiros estão com carências em capacidade. De acordo com Odeck e Alkadi (2001) e Ross e Droge (2004), uma UTD pode ser ineficiente em escala se apresentar retornos de escala decrescentes por ser muito grande, ou se não aproveitar integralmente as vantagens de retornos de escala crescentes por ser muito pequeno. Portanto, pode-se sugerir que a capacidade dos terminais graneleiros no Brasil é muito pequena com relação às tarefas que executam.

Pode-se também notar que os terminais públicos tendem a ser menos eficientes do que os terminais privados, corroborando estudos anteriores. Quanto aos terminais fluviais, os resultados sugerem que eles tendem a ser mais eficientes do que os marítimos. A maioria dos terminais fluviais são especializados em manipulação e movimentação de soja dos produtores, situados em estados do interior, na região centro-leste, à estrada/estrada de ferro mais próxima a fim de alcançar os principais terminais de exportação, situados nos portos de Santos e Paranaguá.

Colocando em uma perspectiva mais ampla, as finalidades da análise conduzida sobre os terminais graneleiros Brasileiros são de três naturezas. Primeiramente, foi útil corroborar evidências empíricas a respeito do fato de tais terminais apresentarem carências de capacidade, isto é, que retornos de escala crescentes prevalecem neste setor. Embora Wanke, Barbastefano e Hijjar (2011) tenham alcançado as mesmas conclusões, é importante pontuar as principais diferenças metodológicas entre os dois trabalhos: aqui a análise foi focada unicamente em terminais graneleiros, com variáveis de entrada/saída selecionadas deliberadamente para avaliar diferentes possibilidades para aumentar níveis de eficiência em um cenário de ponto inicial de investimentos

baixos, restrições de capacidade e ativos fixos no curto prazo. Ainda, a suposição de convexidade, muito comum em estudos de AED, não foi tomada como um dado neste estudo: *bootstrap* foi usada para testar esta suposição entre FDH, BCC, e funções de distância de CCR, permitindo também a avaliação probabilística da caracterização de retornos de escala sob ambos os tipos de fronteiras.

Em segundo lugar, como mencionado anteriormente, a análise revelou caminhos para aumentar a eficiência de terminais no âmbito de tal cenário com restrições de capacidade: testes não-paramétricos simples revelaram diferenças substanciais entre terminais públicos/privados e entre terminais fluviais (mais especializados) e terminais marítimos (menos especializados) na movimentação de grãos dos produtores aos mercados internacionais. Isto sugere planos de ação para autoridades públicas e responsáveis por decisões privadas a fim de lidar melhor com a falta da capacidade.

Em terceiro lugar, o estudo serviu como base para ilustrar alguns limites operacionais que podem surgir durante análise similar. Um deles é relacionado ao impacto de rejeitar a suposição de convexidade ao concluir que somente uma caracterização de retornos de escala (CCR ou BCC) é estatisticamente significativa em uma dada UTD. O outro relaciona-se à análise adicional que deve ser executada quando ambas caracterizações de retornos de escala divergem significativamente ou nenhuma delas é significativa em uma dada UTD. Nesses casos, respectivamente, o nível mínimo do intervalo de confiança no qual somente uma classificação de RTS permanece significativa ou o nível máximo de IC abaixo do qual a primeira classificação de RTS se torna significativa devem ser determinados. Para ambos os casos, uma metodologia simples apresentada como um fluxograma foi desenvolvida, constituindo uma outra contribuição do trabalho.

Pesquisas futuras devem ainda tratar da questão da capacidade em portos brasileiros, possivelmente adotando um perspectiva longitudinal e envolvendo testes para as variáveis com maior influência, a fim de fornecer um mapa completo dos determinantes de eficiência neste ambiente. Abordagens possíveis em AED ou mesmo em AFE poderiam também tratar da questão de decomposição da eficiência em termos financeiros e operacionais, levando em conta custos de manuseio, tempo de espera em filas e níveis de serviço, questões que são críticas para a competitividade dos portos brasileiros.

## REFERÊNCIAS

BBR, *Braz. Bus. Rev. (Port. ed., Online)*,  
Vitória, v. 11, n. 5, Art. 4, p. 74 - 101, set.-out. 2014

[www.bbronline.com.br](http://www.bbronline.com.br)



ABLANEDO-ROSAS, J. H.; RUIZ-TORRES, A. J. Benchmarking of Mexican ports with data envelopment analysis. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 1 n. 3, p. 276-294, 2009.

AGÊNCIA BRASIL. **Caminhões no porto de Paranaguá formam filas de 85 quilômetros**. Curitiba: Agência Brasil, 2004. Disponível em: <[www.ceol.com.br](http://www.ceol.com.br). <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2004-04-15/caminhoes-no-porto-de-paranagua-formam-filas-de-85-quilometros>>. Acesso em: 1 maio 2010.

ALDERTON, P. Port management and operations. London: Informa Law, 2008.

AL-ERAQUI, A. S.; KHADER, A. T.; MUSTAFA, A. DEA Malmquist index measurement in Middle East and East African containers terminals. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 1, n. 3, p. 249-259, 2009.

ASSAF, A. Bootstrapped scale efficiency measures of UK airports. **Journal of Air Transport Management**, v. 16, n. 1, p. 42-44, 2010.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BANKER, R. D. et al. Returns to scale in DEA. In: COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. (Eds.). **Handbook on data envelopment analysis**. Boston: Kluwer International Series, 2004.

BARROS, C. P.; FELICIO, J. A.; LEITE, R. Productivity analysis of Brazilian seaports. **Maritime Policy & Management**, p. 1 – 21, 2012.

BOGETOFT, P.; OTTO, L. **Benchmarking with DEA, SFA, and R**. New York: Springer, 2010.

CAILLAUX, M. A. et al. Container logistics in Mercosur: choice of a transshipment port using the ordinal Copeland method, data envelopment analysis and probabilistic composition. **Maritime Economics & Logistics**, v. 13, n. 4, p. 355-370, 2011.

CEL. **Panorama Logístico CEL/COPPEAD: terceirização logística no Brasil**. Rio de Janeiro: COPPEAD/UFRJ, 2009.

CESARO, L. et al. **Methodology for analysing competitiveness, efficiency and economy of scale: use and applications of DEA**, FACEPA Deliverable D5.1.3. 2009. Disponível em: <<http://www.ekon.slu.se/facepa>>. Acesso em: 1 maio 2010.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHIN, A.; TONGZON, J. Maintaining Singapore as a major shipping and air transport hub. In: TOH, T. (Ed.). **Competitiveness of the Singapore economy**. Singapore: Singapore University Press, 1998, p. 83-114.

COELLI, T. **A guide to DEAP Version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program. Working Paper**, Armidale (AUS), University of New England, Department of Econometrics, 1996. Disponível em: <<http://www.une.edu.au/econometrics/cepa.htm>>. Acesso em: 1 maio 2010.

COELLI, T.; PERELMAN, S. A comparison of parametric and non-parametric distance functions: with application to European railways. **European Journal of Operational Research**, v. 117, n. 2, p. 326-339, 1999.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. **Handbook on data envelopment analysis**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software**. New York: Springer, 2007.

CULLINANE, K.; SONG, D. A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean terminals. **Applied Economics**, v. 35, n. 3, 251-267, 2003.

CULLINANE, K. et al. The technical efficiency of container ports: comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. **Transportation Research Part A**, v. 40, n. 4, p. 354-374, 2006.

CURCINO, G. A. **Análise de adequabilidade de portos às novas teorias e práticas portuárias: um estudo de caso no porto de Belém**. 2007. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília (UnB), Brasília (DF), 2007.

CURI, C.; GITTO, S.; MANCUSO, P. New evidence on the efficiency of Italian airports: a bootstrapped DEA analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 45, n. 2, p. 84-93, 2011.

DARAIO, C.; SIMAR, L. Conditional nonparametric frontier models for convex and nonconvex technologies: a unifying approach. **Journal of Productivity Analysis**, v. 28, n. 1/2, p. 13-32, 2007.

DOCTOR, M. Institutional modernization and the legacy of corporatism: the case of port reform in Brazil. **Journal of Latin American Studies**, v. 35, n. 2, p. 341-367, 2003.

DULÁ, J. H.; HELGASON, R. V. A new procedure for identifying the frame of the convex hull of a finite collection of points in multidimensional space. **European Journal of Operational Research**, v. 92, n. 2, p. 352-367, 1996.

FALCÃO, V. A.; CORREA, A. R. Port efficiency: analysis of the main approaches for the Brazilian ports. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 4, p. 133-146, 2012.

FLEURY, P. F.; HIJJAR, M. F. **Logistics overview in Brazil 2008**. 2008. Disponível em: <[http://www.ilos.com.br/site/index2.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=31&Itemid=44](http://www.ilos.com.br/site/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=31&Itemid=44)>. Acesso em: 1 maio 2010.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega**, v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.

JENKINS, L.; ANDERSON, L. A multivariate statistical approach to reducing the number of variables in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 147, n. 1, p. 51-61, 2003.

KAMBLE, S. S.; RAOOT, A. D.; KHANAPURI, V. B. Improving port efficiency: a comparative study of selected ports in India. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 2, n. 4, p. 444-470, 2010.

LEWIN, A.; MOREY, R.; COOK, T. Evaluating the administrative efficiency of courts. **Omega**, v. 10, n. 4, p. 401-411, 1982.

MARTÍN, J. C.; ROMÁN, C. An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization. **Journal of Air Transport Management**, v. 7, n. 3, p. 149-57, 2001.

ODECK, J.; ALKADI, A. Evaluating efficiency of the Norwegian bus industry using data envelopment analysis. **Transportation**, v. 28, n. 3, p. 211-232, 2001.

PANAYIDES, P. M. et al. A critical analysis of DEA applications to seaport economic efficiency measurement. **Transport Reviews**, v. 29, n. 2, p. 183-206, 2009.

RAY, S. C. A one-step procedure for returns to scale classification of decision making units in data envelopment analysis. **Working Paper**, Connecticut, University of Connecticut, Departamento de Economia, 2010. Disponível em: <<http://www.econ.uconn.edu/>>. Acesso em: 1 maio 2010.

RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. C. Analyzing the relative efficiency of container terminals of Mercosur using DEA. **Maritime Economics & Logistics**, v. 8, n. 4, p. 331-346, 2006.

ROSS, A. D.; DROGE, C. An analysis of operations efficiency in large-scale distribution systems. **Journal of Operations Management**, v. 21, n. 6, p. 673-688, 2004.

SALES, A. O Brasil competitivo passa pelos portos. **Revista Tecnológica**, n. 69, 2001.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. Performance of the bootstrap for DEA estimators and iterating the principle. In: COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. (Ed.). **Handbook on data envelopment analysis**. Boston: Kluwer International Series, 2004.

TONGZON, J. The impact of wharfage costs on Victoria's export-oriented industries. **Economic Papers**, v. 8, n. 4, p. 58-64, 1989.

TURNER, H.; WINDLE, R.; DRESSNER, M. North American containerport productivity: 1984-1997. **Transportation Research Part E**, v. 40, n. 4, p. 339-356, 2004.

WAGNER, J. M., SHIMSHAK, D. G. Stepwise selection of variables in data envelopment analysis: procedures and managerial perspectives. **European Journal of Operational Research**, v. 180, n. 1, p. 57-67, 2007.

WANG, T. F.; CULLINANE, K. P. B. The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management. **Maritime Economics & Logistics**, v. 8, n. 1, p. 82-99, 2006.

WANKE, P. F.; BARBASTEFANO, R. G.; HIJJAR, M. F. Determinants of efficiency at major Brazilian port terminals. **Transport Reviews**, v. 31, n. 5, p. 653-677, 2011.

WILSON, P. W. FEAR: a software package for frontier efficiency analysis with R. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 42, n. 4, p. 247-254, 2008.

WILSON, P. W. **FEAR 1.12 user's guide**. 2009. Disponível em: <<http://www.clemson.edu/economics/faculty/wilson/Software/FEAR/fear.html>>. Acesso em: 1 maio 2010.

WU, J.; LIANG, L. Performances and benchmarks of container ports using data envelopment analysis. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 1, n. 3, p. 295-310, 2009.

ZAREPISHEH, M.; KHORRAM, E.; JAHANSHAHLOO, G. R. Returns to scale in multiplicative models in data envelopment analysis. **Annals of Operations Research**, v. 173, n. 1, p. 195-206, 2010.

ZHU, J. **Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets and DEA excel solver**. New York: Springer, 2003.