



Universidade de Brasília  
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade - FACE.  
Departamento de Economia

## Granéis sólidos no Brasil: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA)

Giovana Leivas Craveiro  
Orientador: Bernardo Mueller

Brasília  
Fevereiro, 2015



Universidade de Brasília  
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade - FACE.  
Departamento de Economia

## Granéis sólidos no Brasil: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA)

Dissertação de Mestrado em  
Ciências Econômicas.  
Universidade de Brasília –  
UnB.

Giovana Leivas Craveiro  
Orientador: Bernardo Mueller

Brasília  
Fevereiro, 2015

A todos aqueles que, dos bastidores, torceram por este trabalho.

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Bernardo Mueller, pela paciência e pela atenção durante o processo de elaboração desta dissertação.

Aos especialistas da Gerência de Estudos e Desempenho Portuário (GED) e ao bibliotecário José Antonio Machado Nascimento da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), pela disponibilidade para a realização de conversas esclarecedoras e enriquecedoras para o tema aqui tratado.

Aos meus colegas de curso de mestrado da Universidade de Brasília (UnB) e aos meus colegas da Secretaria do Tesouro Nacional (STN), pelo interesse no desenvolvimento deste texto, principalmente a André de Araújo Melo e a Marcos Francisco Ferreira Martinelli pelas considerações essenciais para a conclusão do trabalho.

## Resumo

Os portos constituem um importante elo na cadeia logística e sua eficiência contribui para a competitividade de um determinado país em mercados internacionais. Dessa forma, este trabalho procura estimar a eficiência dos portos e terminais marítimos transportadores de granéis sólidos no Brasil, em particular, açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo, tendo em vista a representatividade de tais cargas no país. Utilizou-se um modelo Análise Envolvória de Dados (DEA) com retornos constantes de escala (CCR) orientado a produto para avaliar a amostra obtida de dezesseis Unidades de Decisão (DMU)'s, entre portos públicos e Terminais de Uso Privativo (TUP)'s, para o ano de 2014. Os resultados empíricos corroboram a existência de ineficiência na indústria portuária brasileira, sugerindo-se que tais unidades deveriam não somente aumentar a movimentação de carga no longo prazo, mas também desenvolver melhorias em seus respectivos insumos. Os portos mais eficientes foram: Itaqui, Paranaguá e São Francisco do Sul.

**Palavras-chave:** DEA, Eficiência, Granéis Sólidos, Setor Portuário.

## Abstract

Ports constitute an important link in the logistic chain and their efficiency contributes to a country's international competitiveness. Hence, this work intends to analyze the efficiency of maritime ports and terminals that transport solid bulks in Brazil, in particular, sugar, soy brand, corn, soy and wheat, because of the degree of representativeness of these cargoes in the country. A product-oriented Data Envelopment Analysis (DEA) model with constant returns to scale (CCR) is used to evaluate the sample of sixteen Decision Making Units (DMU)'s, among public ports and Terminals of Private Use (TUP)'s, for the year of 2014. The empirical results favor the existence of inefficiency in the Brazilian port industry, indicating that there should be not only an enhancement in cargo handling in the long term, but improvements in inputs, as well. The most efficient ports were: Itaqui, Paranaguá and São Francisco do Sul.

**Keywords:** DEA, Efficiency, Solid Bulks, Port Sector.

# Sumário

## Lista de Figuras

## Lista de Tabelas

<b>Introdução</b>	p. 10
<b>1 O setor portuário</b>	p. 12
1.1 Descrição do setor portuário . . . . .	p. 12
1.2 Histórico do setor portuário . . . . .	p. 14
<b>2 O setor portuário no Brasil</b>	p. 18
2.1 Histórico do setor portuário no Brasil . . . . .	p. 18
2.2 Estatísticas do setor portuário no Brasil . . . . .	p. 22
<b>3 Revisão Bibliográfica</b>	p. 26
<b>4 Metodologia</b>	p. 31
4.1 Análise Envoltória de Dados (DEA) . . . . .	p. 31
4.2 Método para seleção de variáveis . . . . .	p. 41
<b>5 Dados</b>	p. 42
5.1 Seleção das variáveis . . . . .	p. 42
5.2 Seleção das DMU's . . . . .	p. 46
<b>6 Resultados</b>	p. 48
6.1 Seleção de variáveis . . . . .	p. 48
6.2 Medidas de eficiência . . . . .	p. 50
<b>Conclusão</b>	p. 55
<b>Referências Bibliográficas</b>	p. 57

**Apêndice A**

p. 61

**Apêndice B**

p. 67

# Lista de Figuras

2.1	Total de Cargas Transportadas na Navegação de Longo Curso . . . . .	p. 22
2.2	(%) Participação por Natureza de Carga (1/2014) . . . . .	p. 23
2.3	Histórico das Cargas Movimentadas no Brasil . . . . .	p. 24
2.4	Os 15 Grupos de Mercadorias mais Movimentados em 2013 (em milhões de t) . . . . .	p. 24
2.5	Distribuição dos Grupos de Mercadorias mais Movimentados em 2013 - Portos Públicos e TUPS's (em %) . . . . .	p. 25
4.1	Comparação das Eficiências de Terminais de Contêineres - Modelo CCR .	p. 38
4.2	Comparação das Eficiências de Terminais de Contêineres - Modelo BCC .	p. 39
6.1	Cais . . . . .	p. 61
6.2	Pier . . . . .	p. 61
6.3	<i>Dolphin</i> . . . . .	p. 62
6.4	Molhe . . . . .	p. 62
6.5	Quebra-mar . . . . .	p. 62
6.6	Ponte de Acesso . . . . .	p. 63
6.7	Armazém . . . . .	p. 63
6.8	Silo . . . . .	p. 63
6.9	Tanque . . . . .	p. 64
6.10	Granel Sólido . . . . .	p. 64
6.11	Granel Sólido . . . . .	p. 64
6.12	Granel Líquido . . . . .	p. 65
6.13	Carga Geral Solta ( <i>neo-bulk</i> ) . . . . .	p. 65
6.14	Carga Geral Solta . . . . .	p. 65
6.15	Carga Geral Containerizada . . . . .	p. 66



# Lista de Tabelas

4.1	Um Único Insumo e um Único Produto . . . . .	p. 38
5.1	Estatísticas Descritivas . . . . .	p. 45
5.2	Correlação dos insumos e produtos . . . . .	p. 46
5.3	Movimentação de cargas em 2014 - DMU's . . . . .	p. 46
6.1	Cálculo de S incluindo uma terceira variável . . . . .	p. 49
6.2	Cálculo de S incluindo uma quarta variável . . . . .	p. 49
6.3	Cálculo de S incluindo uma quinta variável . . . . .	p. 49
6.4	Eficiências - Modelo CCR . . . . .	p. 52
6.5	<i>Benchmarks</i> . . . . .	p. 52
6.6	Eficiências - Modelo BCC . . . . .	p. 54
6.1	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Belém - TUP OCRIM . . . . .	p. 67
6.2	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Cabedelo - Cais Público . . . . .	p. 67
6.3	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Ilhéus - Cais Público . . . . .	p. 67
6.4	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Imbituba - Cais Público . . . . .	p. 67
6.5	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Itaquí - Cais Público . . . . .	p. 68
6.6	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Fortaleza - Cais Público . . . . .	p. 68
6.7	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Paranaguá - Cais Comercial . . . . .	p. 68
6.8	Resultado dos alvos obtidos para o Porto do Rio de Janeiro - Cais Público . . . . .	p. 68
6.9	Resultado dos alvos obtidos para o Porto do Rio Grande - TUP Ceval . . . . .	p. 68
6.10	Resultado dos alvos obtidos para o Porto do Rio Grande - TUP Bianchini . . . . .	p. 69
6.11	Resultado dos alvos obtidos para o Porto do Rio Grande - TUP Termasa . . . . .	p. 69
6.12	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Salvador - Cais Público . . . . .	p. 69
6.13	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Salvador - TUP Cotegipe . . . . .	p. 69
6.14	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de São Francisco do Sul - Cais Público . . . . .	p. 69
6.15	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Suape - Cais Público . . . . .	p. 70
6.16	Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Vitória - Cais Comercial e Cais de Capuaba . . . . .	p. 70

# Introdução

A relevância do setor portuário reside no fato de que a maior parte das trocas estrangeiras realizadas por uma determinada região são feitas pelo mar (Gonzalez e Trujillo, 2008). Assim, os portos constituem uma importante ligação na cadeia logística e sua eficiência contribui para a competitividade de um determinado país. Portos mais eficientes resultam em menores tarifas de exportação, favorecendo a competitividade dos produtos nacionais em mercados internacionais. Um sistema portuário ineficiente, por sua vez, resulta em custos adicionais para empreendimentos produtivos, prejudicando o desenvolvimento da atividade econômica e a atração de novos investimentos (Uderman et al. (2012) *apud* Prata et al. (2013)). Ademais, recentemente, os portos sofreram importantes mudanças estruturais com o desenvolvimento do transporte de cargas em contêineres, o que levou a uma necessidade de aumento da capacidade de atracação e de estocagem. No entanto, a dificuldade de o setor portuário atender a essa demanda de expansão de suas atividades ressalta, também, a importância de uma maior eficiência das operações portuárias.

Dessa forma, o novo contexto de inovação tecnológica e de modificações na gestão do setor portuário, resultou, nos últimos anos, em um aumento na quantidade de estudos que analisam sua eficiência e sua produtividade. No entanto, uma vez que os primeiros trabalhos sobre a eficiência na indústria portuária aparecem em meados dos anos 90, a literatura pode ser considerada ainda recente e modesta relativamente a de outros setores de transporte, como o ferroviário e o aéreo (Serrano, 2004).

No Brasil, especificamente, a demanda por serviços portuários de maior qualidade aumentou nos últimos anos, com um crescimento econômico voltado para o comércio exterior (Wanke, 2013). Observa-se, no entanto, que, no geral, os estudos relacionados ao caso brasileiro parecem indicar a presença de terminais portuários ineficientes no país. Entretanto, até onde se sabe, as atenções se voltaram, até o momento, para os terminais de contêineres. Assim, considerando-se que cada segmento deve ser analisado de forma separada (Kirchner, 2013), haja vista que a operação de movimentação de tipos de cargas distintos diferem entre si, o objetivo desse trabalho é analisar as medidas de eficiência dos

terminais brasileiros marítimos especializados na movimentação de granéis sólidos, em particular, açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo, devido à representatividade de tais cargas no Brasil.

Para a estimação da medida de eficiência dos portos em estudo será empregado o método não paramétrico denominado Análise Envoltória de Dados (DEA) que mede a eficiência de unidades de decisão com múltiplos produtos e insumos sem requerer a determinação *a priori* de uma função de produção entre os insumos e produtos (Ferreira e Gomes, 2009). Segundo Wang et al. (2002), essa é, de fato, uma ferramenta útil para se medir a eficiência portuária.

Antecipando os resultados empíricos deste estudo, verifica-se para a amostra selecionada de portos públicos e Terminais de Uso Privativo (TUP)'s, a existência de ineficiência entre os portos transportadores de granéis sólidos no Brasil para o ano de 2014. As evidências sugerem que as unidades menos eficientes deveriam concomitantemente ao aumento da movimentação de carga no longo prazo, desenvolver melhorias no emprego de seus insumos. Corrobora-se, ainda, a atuação dos portos com nível de eficiência máxima (Itaqui, Paranaguá e São Francisco do Sul) como *benchmarks* para os terminais ineficientes do estudo.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 1 apresenta o setor portuário de uma forma geral, enquanto o Capítulo 2 descreve o contexto específico do Brasil. A revisão bibliográfica está disponível no Capítulo 3, seguida da exposição da metodologia e dos dados utilizados nos capítulos 4 e 5, respectivamente. Finalmente, o Capítulo 6 expõe os resultados encontrados e o Capítulo 7 conclui o trabalho.

# 1 O setor portuário

## 1.1 Descrição do setor portuário

Um porto é freqüentemente entendido como um nó intermodal na rede de transporte onde cargas e/ou passageiros trocam de modo de transporte (Nguyen (2011) apud Coutinho et al. (2013)), alternando entre vias navegáveis e terrestres (World Bank (2003; 2004) apud Coutinho et al. (2013)). A área de um porto compreende tanto sua infraestrutura quanto sua superestrutura<sup>1</sup> (Perni, 2013). A infraestrutura inclui as obras de acostagem (cais, píer e *dolphin*), as obras de proteção (molhes e quebra-mar) e o acesso aquaviário ao porto, como as pontes de acesso. O cais (Figura 6.1) é uma estrutura paralela à costa onde os navios aportam ou atracam para carregar ou descarregar suas mercadorias, enquanto o píer (Figura 6.2), apesar de possuir a mesma função do cais, pode, no entanto, ser utilizado dos dois lados. Já o *dolphin* (Figura 6.3), empregado conjuntamente com píeres e cais para reduzir seus respectivos tamanhos, são estruturas de proteção, atracação e amarração que fixam os navios para fins de operação. Por fim, as obras de proteção servem para garantir águas calmas para a realização das operações portuárias. Por um lado, o molhe (Figura 6.4) é enraizado na costa, por outro lado, o quebra-mar (Figura 6.5) é isolado da costa.

Já a superestrutura abrange as construções sobre a infraestrutura que permitem a operacionalização da movimentação de cargas de e para o navio, como os armazéns (Figura 6.7), que estocam produtos de todos os tipos, os silos (Figura 6.8), que armazenam grãos vegetais a granel, e os tanques (Figura 6.9), onde são depositados fluídos e gases.

Ainda que o universo de atividades portuárias seja grande e diversificado (Kirchner, 2013), de forma simplificada, as cargas que passam pelos portos podem ser classificadas em dois tipos: carga geral e granel (Pinheiro, 2013). Os granel são mercadorias, sólidas

---

<sup>1</sup>Vide Anexo para fotos ilustrativas.

(Figuras 6.10 e 6.11) ou líquidas (Figura 6.12), movimentadas em grandes volumes, tais como minério de ferro e soja; e petróleo e óleos vegetais, respectivamente. Em particular, o granel sólido é uma carga em grãos ou seca fragmentada, movimentada em grandes quantidades, sem embalagem, nos porões dos navios, por meio do emprego de transportadores automáticos ou mecânicos. O granel líquido, por sua vez, também é movimentado em grandes quantidades nos porões dos navios, porém por intermédio do bombeamento em dutos (Fontes, 2006). Já as cargas gerais podem ser containerizadas ou soltas, constituindo-se, respectivamente, do agrupamento de cargas diferentes em contêineres (Figura 6.15) e de mercadorias distintas reunidas em sacos, bolsas, caixotes, etc. (Figura 6.13), e/ou de carregamentos inteiros de um único produto, como o automóvel (Figura 6.14).

Com relação às atividades portuárias, uma discussão relevante é a presença ou não de economias de escala, que, se existentes, justificariam que a construção e a manutenção dos portos estivessem nas mãos do Estado, pois, neste caso, se caracterizariam como monopólio natural. No entanto, as economias de escala no setor portuário parecem estar significativamente presentes na infraestrutura aquaviária, e não nas atividades de carga e descarga, como apontam alguns estudos referenciados em Coutinho et al. (2013)<sup>2</sup>. Dessa forma, foi possível dividir as operações portuárias em: (i) uma administração centralizada, responsável pelo planejamento e desenvolvimento do porto (Estache e Gus, 2000); e (ii) outros diversos operadores, responsáveis pela movimentação e armazenagem de cargas específicas (De Langen e Pallis, 2006 *apud* Coutinho et al. 2013). Um porto pode, assim, ser subdividido em unidades operacionais menores com gestão própria, como os terminais, que, a partir da tecnologia empregada atualmente, experimentam uma tendência de especialização para diferentes tipos de cargas (Estache e Gus, 2000), como os já mencionados granéis sólidos, granéis líquidos e movimentação de contêineres. Desse modo, a eficiência dos diferentes segmentos deve ser analisada de maneira distinta, pois o desempenho da movimentação de cargas de cada uma delas difere entre si.

---

<sup>2</sup>Reker et al. (1990); Tovar e Ferreira (2006); Liu (2010); e Coutinho et al. (2012).

## 1.2 Histórico do setor portuário

Nas últimas décadas, o setor portuário sofreu mudanças radicais. A partir do século XXI, o setor portuário configurou-se no mundo dos negócios, em contraposição ao século XIX e à primeira metade do século XX, quando os portos constituíam-se em instrumentos estatais ou coloniais para controlar o acesso aos mercados, com poucos incentivos para melhora da eficiência. O aumento da competitividade em nível global provoca, assim, mudanças na forma de condução dos negócios na cadeia logística internacional como um todo, abrangendo, inclusive, os portos. Nesse contexto, a nova tecnologia e os sistemas inovadores passam a requerer mudanças de infraestrutura e do grau de especialização do setor portuário (World Bank, 2007).

Especificamente, a tendência de globalização da produção e do aumento das trocas tem tornado as economias ao redor do mundo mais interligadas. Nesse sentido, pode-se destacar o aumento das exportações como proporção do Produto Interno Bruto (PIB) e a terceirização de insumos e de produtos intermediários. Produções inteiras de determinados produtos voltadas para o mercado global passam a estar concentradas em locais específicos, de forma que produtores diferentes posicionados em áreas distintas passam a competir entre si por um mesmo mercado em escala global e a depender cada vez mais do transporte.

Uma vez que a decisão de terceirizar uma determinada atividade depende do custo total de entrega e da qualidade dos produtos, então a capacidade de um porto e sua eficiência são fatores decisivos para a escolha do local de estabelecimento da planta e do centro de distribuição, tornando-se os portos entidades agregadoras de valor na cadeia de produção. Os portos influenciam, portanto, a decisão de aquisição de produtos primários e intermediários e a entrega do produto final para o mercado, procurando aumentar a competitividade de seus clientes produtores, seja em escala global ou regional, por meio de serviços mais baratos e eficientes.

Em particular, a principal inovação da indústria de transporte marítimo foi a criação dos contêineres nos anos 50 (Serrano, 2004), com a primeira viagem sendo realizada entre Nova York e Houston por um navio com 58 contêineres. A partir de então, o transporte de cargas na forma de contêineres se ampliou rapidamente (entre os anos 1980 e 1997, por

exemplo, o número de contêineres transportados em escala global foi multiplicado por 4). A acelerada propagação de tais embalagens está relacionada ao fato de permitirem uma homogeneização do transporte de cargas gerais, segmentadas por natureza, e ao seu tamanho padrão que facilita o deslocamento das mercadorias dos navios para a costa, ou ainda dos barcos para outros modos de transporte, reduzindo o tempo de permanência dos navios nos portos no momento das operações de carga e descarga e o custo de manuseio das cargas.

O crescimento da containerização foi acompanhado por um respectivo aumento significativo do tamanho dos navios para atender à grande demanda, uma vez que as economias de escala decorrentes de navios desse porte permitem o transporte de volumes maiores de carga a um menor custo. Para fazer frente a essas grandes embarcações, os portos sofreram mudanças significativas em suas condições físicas, encarecendo os investimentos nas instalações. Concomitantemente à utilização de novas tecnologias e à mecanização da manipulação dos contêineres, reduziu-se a necessidade de pessoal para movimentação de carga e aumentou-se a utilização de capital nas operações portuárias. Dessa forma, os portos têm se tornado intensivos em capital, em contraposição ao fato de haverem sido intensivos em trabalho no passado (Estache e De Rus, 2000).

Ademais, as facilidades de manejo e manutenção dos contêineres estão modificando as operações portuárias, tornando-as mais descentralizadas. A disseminação dos contêineres modificou o transporte marítimo no sentido de transformá-lo em um sistema radial, ou ainda, sistema centro-periferia (*hub e spoke network*) (World Bank, 2007). Essa rede é desenhada com o intuito de maximizar o uso de grandes navios porta-contentores, cobrindo o maior mercado de portos possível. Para tanto, os navios maiores prestam serviços por linhas de transporte entre *hubs* regionais, atuando como nós de conexão. As embarcações menores, por sua vez, participam por meio da captação e distribuição dos contêineres pela região. Assim, os portos principais de transbordo devem estar equipados de forma a permitir a rápida troca de navios e a redução do tempo de transporte.

As revoluções na indústria de transporte marítimo resultaram, portanto, em um ambiente mais competitivo de operação dos portos. A redução dos custos de transporte decorrentes do desenvolvimento de uma cadeia de transporte mais integrada foi tão extensa que se tornou frequente um embarcador utilizar um porto mais distante desde que esse termi-

nal apresente melhores instalações e conexões do que os seus concorrentes, inclusive aqueles com localização mais próxima. Desse modo, os portos modernos devem oferecer condições ótimas de preço e tempo para as firmas que demandam os seus serviços, para fazer frente ao ambiente competitivo no qual estão atualmente inseridos.

Assim, diante de tais mudanças ocorridas, os portos deixaram de ser meras entidades receptoras de mercadorias, com um papel passivo em um fluxo de transporte porto a porto, e passaram a atuar de forma mais ativa no mercado, com uma postura comercial para atender às necessidades de seus clientes, integrando-se como parte fundamental de um sistema mais geral de transporte (Serrano, 2004). Todos esses processos atentam para a necessidade de os portos funcionarem de maneira eficiente.

Por sua vez, o aumento da demanda para ganhos de eficiência na indústria portuária, devido às mudanças tecnológicas e ao ambiente mais competitivo, ocasionou uma reconsideração do papel do setor público na indústria portuária. Tradicionalmente, os portos eram de propriedade e gerenciamento das instituições públicas. As justificativas para a participação do Estado nesse setor estão relacionadas ao seu papel importante nas economias nacionais e às características de alguns serviços prestados que podem prover poder de mercado para as firmas, tais como custos afundados, indivisibilidades e economias de escala (Estache e De Rus, 2000).

No entanto, nos últimos anos, o mundo observou uma tendência de liberalização e privatização não apenas dos serviços portuários, mas também do financiamento de infraestrutura, por meio, principalmente, de contratos de concessão. A novidade da participação do setor privado não reside na provisão de serviços, atividade na qual já se encontrava presente anteriormente, mas na construção da infraestrutura portuária. Apesar de o setor público ter sido usualmente o organizador dos portos, a combinação de um desempenho insatisfatório em termos de altas tarifas, serviços ineficientes e excesso de pessoal, com apertos fiscais enfrentados pelos governos ao redor mundo, resultou em uma alteração do quadro jurídico das operações portuárias, promovendo a entrada de firmas privadas.

A introdução da participação privada nos portos emergiu como uma tentativa de solucionar os problemas supracitados. Entre as razões para as privatizações no setor portuário, Thompson e Budin (1997) *apud* Estache e Rus (2000) apontam, em primeiro lugar, a pro-



atividade e a eficiência do setor privado que pode, conseqüentemente, oferecer serviços a custos menores. Em segundo lugar, a presença do setor privado no setor portuário gera disponibilidade de recursos públicos para serem aplicados em outras prioridades do governo. Finalmente, o setor privado parece ser mais bem preparado para responder a mudanças nas condições dos mercados competitivos, assim como para encontrar melhores oportunidades de negócios. No geral, as experiências internacionais têm mostrado efeitos positivos da participação privada em ambos os aspectos operacionais e de infraestrutura, eliminando procedimentos burocráticos, modernizando as instalações e equipamentos por meio de novos canais de financiamento (World Bank, 2007) e preparando os portos para um mercado mais competitivo.

No novo contexto dos portos modernos, o setor público exerce um papel de regulador das atividades dos operadores privados, alterando o seu papel tradicional em poder de todas as atividades portuárias, para o papel de coordenador dessas operações. Dentro do cenário de restrições orçamentárias enfrentadas pelo governo, o desafio é, portanto, desenhar mecanismos regulatórios que garantam resultados eficientes, limitando as tarifas cobradas dos usuários portuários e as receitas totais obtidas pelas firmas.

## 2 O setor portuário no Brasil

### 2.1 Histórico do setor portuário no Brasil

A inserção do Brasil no cenário do comércio internacional se deu por meio da abertura dos portos durante o reinado de D. João VI em 1808, período em que eram constituídas as bases do atual sistema portuário brasileiro (Neto et al., 2009). O estabelecimento da Lei das Concessões, em 1869, levou à aceleração desse processo por meio da autorização do financiamento privado de obras de expansão nos principais portos, modelo que teve seu fim na década de 1930, quando as atribuições de financiador e operador desses ativos passaram a ser de responsabilidade do Estado. Nesse sentido, foi criada em 1975 e, posteriormente ampliada, a Empresa Brasileira de Portos S.A. (Portobrás)<sup>1</sup>, que passou a exercer a dupla função de operador portuário e autoridade portuária nacional, administrando os principais portos comerciais do país à época. Para tanto, a empresa contava com suas subsidiárias, as Companhias Docas, para a fiscalização das concessões estaduais e privadas.

Nesse modelo estatal, instituído em 1934, cada porto existente estava relacionado a uma área de jurisdição sobre a qual detinha o monopólio de embarque e desembarque de mercadorias (Coutinho et al., 2013). Nesse sentido, todas as mercadorias de origem ou de destino à área de jurisdição de determinado porto organizado deveriam, obrigatoriamente, transitar pelas instalações desse porto. Além disso, nesse período, os preços dos serviços eram fixados pelo governo com a utilização de informações de custos.

Com o controle do sistema portuário nas mãos do Estado, direitos e privilégios eram assegurados, o que inviabilizava preocupações com custos, qualidade e produtividade (Fontes, 2006). Como consequência, a indústria portuária brasileira era caracterizada,

---

<sup>1</sup> Empresa pública vinculada ao Ministério dos Transportes designada para construir, explorar e administrar tanto os portos brasileiros como as vias navegáveis de interior.

até então, por problemas de baixa produtividade, excesso de burocracia, baixo investimento (Estache e De Rus, 2000) e por baixa eficiência tecnológica e de gestão relacionada à forte influência de sindicatos e associações de trabalhadores (Coutinho et al., 2013). Acrescentando-se a escassez de recursos públicos para melhorar as instalações e a oferta de serviços portuários, verificava-se uma situação de precariedade do setor no começo da década de 1990: as tarifas portuárias eram de 3 (três) a 6 (seis) vezes maiores que os níveis internacionais (Trujillo e Nombela (1999) apud Goldberg (2009)), a prestação de serviços era deficiente e o tempo de espera para utilização das instalações de um porto era longo, resultando em atrasos na entrega e no recebimento de bens.

Nas últimas décadas, no entanto, ocorreram importantes modificações no setor portuário brasileiro. A partir do final da década de 80, a economia brasileira, com uma nova estratégia de desenvolvimento, começa a se abrir ao mercado externo, com o intuito de buscar uma estrutura competitiva. Para que as exportações pudessem avançar sob a ótica do novo modelo, então, seria necessário buscar a eficiência do principal modal de comércio internacional, isto é, do transporte marítimo. Nesse sentido, em abril de 1990, a partir da Lei 8.029 que permitiu que o Poder Executivo dissolvesse as entidades da administração pública federal (Marchetti e Pastori, 2009), extinguiu-se, assim, a Portobrás (Tovar e Ferreira, 2006), juntamente com as administrações hidroviárias de seu controle, passando o sistema portuário brasileiro por grave crise. Com o intuito de contornar os problemas administrativos, a União, por meio do Decreto 99.475, de agosto de 1990, autorizou a descentralização por convênio da administração dos portos, das hidrovias e das eclusas para as sociedades de economia mista subsidiárias da Portobrás ou para as unidades federadas.

Complementarmente ao processo de reformas iniciado, foi editada, em 1993, a Lei de Modernização dos Portos, a Lei nº 8.630/1993, dispondo sobre o regime jurídico da exploração dos portos organizados e das instalações portuárias e conferindo outras providências à luz de um sentimento pró-modernização ou pró-reforma. Contando com a ajuda de decretos e resoluções posteriores, a Lei de Modernização dos Portos prezou pela eficiência e competitividade no setor<sup>2</sup>, concedendo autonomia para os portos, incentivando a concorrência a nível regional por meio da liberalização de tarifas, redefinindo o papel dos

---

<sup>2</sup>Após as mudanças estabelecidas, verificou-se um aumento de produtividade, uma redução do tempo de embarque e desembarque e um aumento da competitividade no setor portuário (Estache e De Rus, 2000).

setores público e privado na construção e operação da infra-estrutura portuária do país e criando, também, organismos institucionais para dar suporte a essa regulamentação (Marchetti e Pastori, 2009). Por um lado, o setor privado passaria a ser o responsável pelo aparelhamento portuário, como a instalação, recuperação e conservação dos equipamentos necessários para a operação dos terminais, por meio de concessões e arrendamentos e por intermédio dos operadores portuários - pessoas jurídicas pré-qualificadas para realizar a operação portuária, explorando a totalidade do porto ou apenas arrendando terminais ou serviços. Por outro lado, o setor público continuaria incumbido da infra-estrutura e das funções fiscalizadora e promotora do porto, passando o controle dos portos para as administrações portuárias estaduais e para as Companhias Docas.

Assim, o Estado deixa de atuar como prestador de serviços, embora ainda seja o detentor da infra-estrutura (Fontes, 2006). No novo modelo, as funções de planejamento e regulação do sistema permanecem sob responsabilidade do Ministério dos Transportes. Em cada porto, em particular, atuaria ainda o Conselho de Autoridade Portuária (CAP), a própria Autoridade Portuária, o Órgão Gestor da Mão de Obra (OGMO) e, finalmente, os Operadores Portuários. Especificamente, o CAP seria o detentor da função de normatizador e regulador da exploração do porto, sendo constituído pelos representantes de todos os setores que participam da atividade portuária, isto é, formado por representantes do governo, da iniciativa privada e dos trabalhadores<sup>3</sup>. A Autoridade Portuária, por sua vez, seria a responsável pela exploração e administração do porto, com as atribuições de pré-qualificar os operadores portuários e prestadores de serviços acessórios; planejar a utilização da área do porto organizado; fiscalizar as operações e arrecadar tarifas previamente homologadas pelo CAP. Já o OGMO atuaria como estruturador da mão-de-obra portuária, a exemplo de um sindicato, e os operadores portuários executariam os serviços propriamente ditos, por meio de arrendamentos de determinadas áreas. Ademais, entre os entes relevantes para o transporte aquaviário, além do Ministério dos Transportes, cuja função era a formulação de políticas dentro do seu âmbito de atuação, estavam ainda a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e a Secretaria de Portos (SEP), com atividades até então, principalmente, relacionadas à implementação de políticas.

Adicionalmente, a Lei nº 8.630 instituiu o financiamento por parte do Banco Nacional

---

<sup>3</sup>Excluindo-se o Porto do Pecém, os portos organizados no Brasil, em sua totalidade, possuem CAP (Coutinho et al., 2013).

de Desenvolvimento Econômico (BNDES) para os investimentos em portos e terminais portuários<sup>4</sup> e para a compra de equipamentos para o setor privado por meio da linha de crédito para o Financiamento de Máquinas e Equipamentos (Finame).

Apesar de o modelo institucional até então engendrado ter representado um avanço, objetivando o incremento da participação privada na indústria portuária, ainda existiam restrições à instalação de terminais privados no arcabouço legal, como, por exemplo, o estabelecimento do manuseio de carga própria como preponderante. Assim, em 07 de dezembro de 2012, ocorreu uma nova reforma da legislação portuária brasileira por meio da Medida Provisória nº 595, posteriormente transformada na Lei Ordinária 12.815/2013 ("Nova Lei dos Portos"), tendo suas alterações aumentado a segurança jurídica para a participação do setor privado na operação dos terminais portuários (Silva e Oliveira, 2013). Nesse sentido, entre as mudanças com respeito ao padrão de competitividade e ao capital privado estão, por exemplo: (i) a redefinição das competências da Secretaria de Portos (SEP) e da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ); a proposta de dois regimes diferentes de operação portuária - um associado à infraestrutura pública e outro associado à infraestrutura privada; e, finalmente, a eliminação da distinção entre movimentação de carga própria e de terceiros nos terminais privados, "*sendo essas operações por conta e risco dos investidores*"<sup>5</sup>. A gestão dos portos passa, no novo contexto, para as Companhias Docas, sendo os portos fluviais e lacustres de competência do Ministério dos Transportes. Já as ações de planejamento e de regulação, incluindo os processos de concessão de áreas portuárias ao setor privado, encontram-se sob responsabilidade da SEP e da ANTAQ.

Resumidamente, verifica-se, assim, a existência de três fases na evolução recente do setor portuário brasileiro, com um aumento gradativo da participação privada seguido de impactos significativos sobre a concorrência e sobre ganhos de eficiência. Primeiramente, em 1934, adota-se um modelo estatal de gestão portuária. Em seguida, ocorre a promulgação da Lei nº 8.630/93 ("Lei dos Portos") em 1993, que resultou na abertura do setor

<sup>4</sup>Com participação de até 80% do valor total do investimento.

<sup>5</sup>O Decreto 6.620/2008 e a Resolução 1.660/2010 da ANTAQ, regulamentadora do Decreto, definem a carga própria como "aquela pertencente ao autorizado, a sua controladora ou a sua controlada, que justifique por si só, técnica e economicamente, a implantação e a operação da instalação portuária". A carga de terceiros, por sua vez, é definida como toda carga "[d]a mesma natureza da carga própria autorizada que justificou técnica e economicamente o pedido de instalação do terminal privativo, e cuja operação seja eventual e subsidiária".

ao capital privado. Finalmente, em 2012, a partir da publicação da Medida Provisória nº 595/2012, convertida na Lei 12.815, de 5 de junho de 2013, estendeu-se a abertura à participação privada no setor portuário, na tentativa de se eliminar as restrições remanescentes à constituição de terminais de uso privativo (Coutinho et al., 2013).

## 2.2 Estatísticas do setor portuário no Brasil

Pode-se verificar a relevância do sistema portuário brasileiro na economia nacional por meio do volume representativo de comércio exterior que passa pelos complexos e terminais brasileiros, correspondendo a 95% do total (BNDES, 2012). Além disso, o volume de toneladas de carga movimentadas apresentou um aumento médio de 5,7% ao ano nos últimos 10 anos, estimando-se uma evolução da demanda de movimentação portuária (marítima) no Brasil de 141% até 2031.

Figura 2.1: Total de Cargas Transportadas na Navegação de Longo Curso



1º Semestre de 2010 a 2014 (em milhões de toneladas)

No período mais recente, em particular, desde o 1º semestre de 2010 até o 1º semestre de 2014, ocorreu um aumento no comércio exterior de 17,3% da tonelage transportada na navegação de longo curso, como mostra a Figura 2.1 (ANTAQ, 2014). Desse total, 259,15 milhões de toneladas são referentes às exportações, e 78,48 milhões de toneladas correspondem a importações.

Com relação à natureza das cargas, constata-se, na Figura 2.2, que no primeiro semestre de 2014 o volume movimentado de granéis sólidos obteve destaque, tanto na exportação

quanto na importação, com percentuais equivalentes a, respectivamente, 85,08% e 43,42% do total (ANTAQ, 2014).

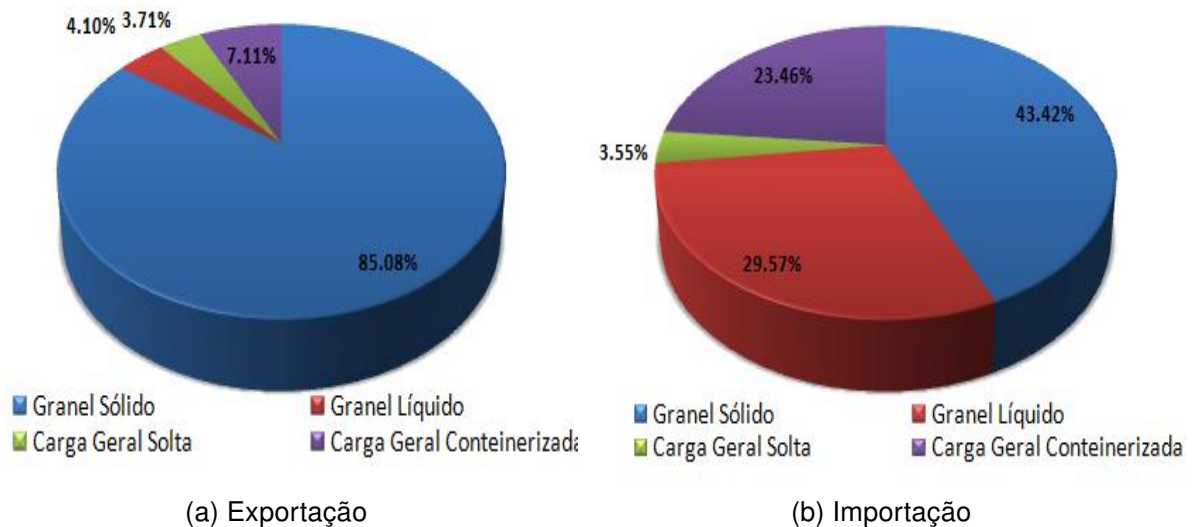
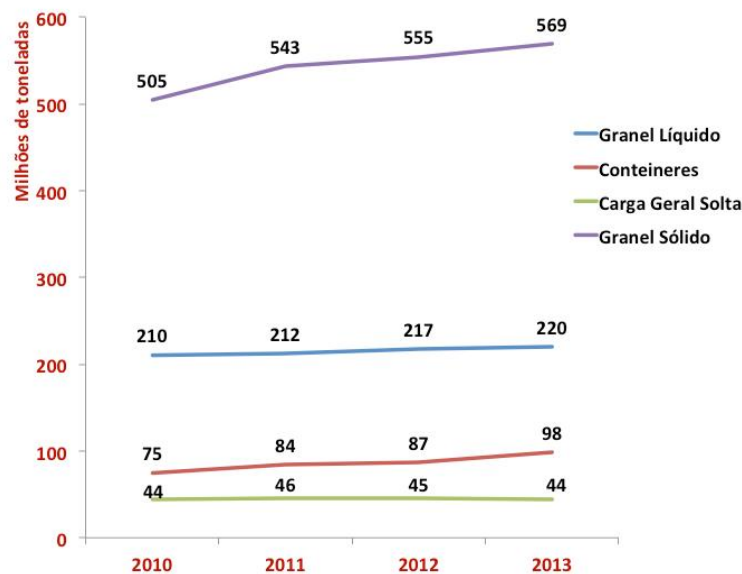


Figura 2.2: (%) Participação por Natureza de Carga (1/2014)

Similarmente, em termos de toneladas, o histórico das cargas movimentadas no Brasil, na Figura 2.3, também indica serem os granéis sólidos a carga mais representativa no Brasil, mostrando a quantidade significativa de toneladas de granéis sólidos movimentada ao longo dos últimos anos e o seu respectivo crescimento acima das outras cargas (ANTAQ, 2013a).

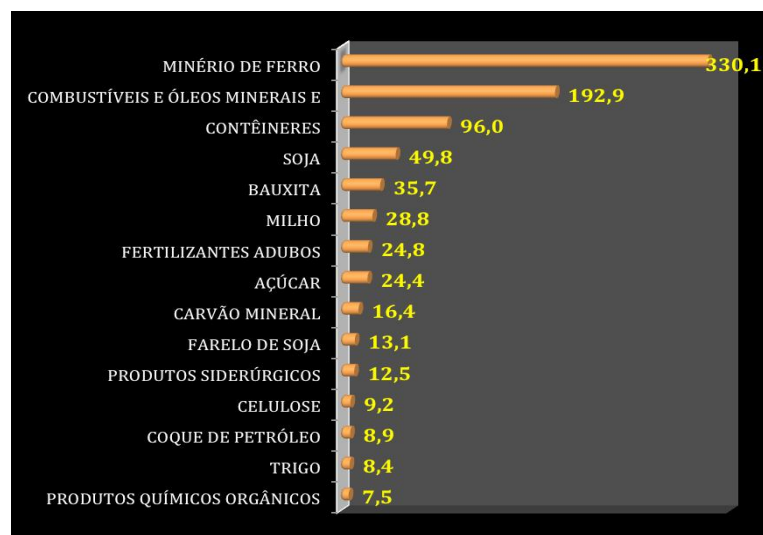
Agora, a partir da Figura 2.4, onde constam os grupos de mercadorias que representaram 92% da movimentação total de cargas em 2013, observa-se que, destacou-se, em primeiro lugar, o minério de ferro, seguido, em ordem decrescente, pelas seguintes mercadorias: combustíveis e óleos minerais, contêineres, soja, bauxita, milho, fertilizantes adubos, açúcar, carvão mineral, farelo de soja, produtos siderúrgicos, celulose, coque de petróleo, trigo e, por fim, produtos químicos orgânicos (ANTAQ, 2013a). A partir desses dados e tendo em vista que cada segmento deve ser avaliado separadamente, uma vez que a movimentação de soja, por exemplo, que sofre influência do clima em sua movimentação, não apresenta o mesmo desempenho da movimentação de minério de ferro, neste trabalho optou-se por, considerando-se a natureza de carga mais representativa no Brasil, analisar as atividades portuárias, especificamente relacionadas ao açúcar, ao farelo de soja, ao milho, à soja e, finalmente, ao trigo, cujas operações de movimentação seriam

Figura 2.3: Histórico das Cargas Movimentadas no Brasil



mais similares, dentro do grupo classificado como granéis sólidos.

Figura 2.4: Os 15 Grupos de Mercadorias mais Movimentados em 2013 (em milhões de t)



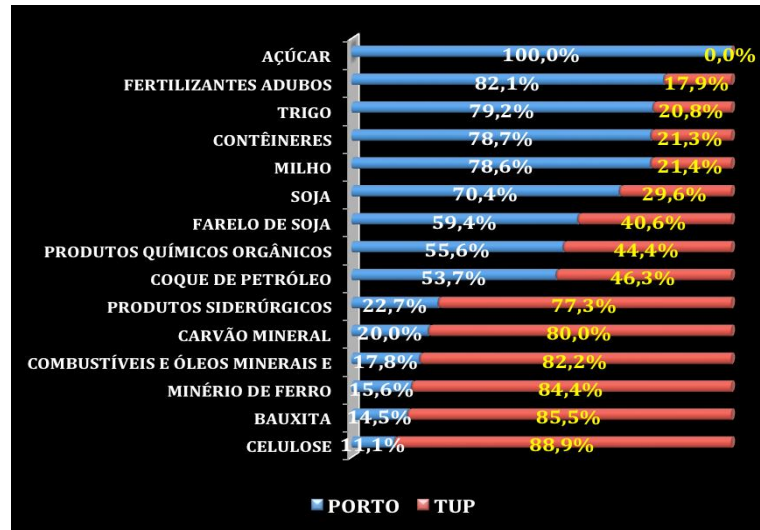
92% da movimentação total de cargas em 2013

Por último, ressalta-se que as mercadorias escolhidas para estudo são mais movimentadas, para todos os casos, em portos públicos do que em Terminais de Uso Privado (TUP)'s, como se pode observar na Figura 2.5 (ANTAQ, 2013a). Tal fato, justifica a distribuição da amostra a ser apresentada nas seções seguinte, com maior representatividade



dos portos públicos.

Figura 2.5: Distribuição dos Grupos de Mercadorias mais Movimentados em 2013 - Portos Públicos e TUPS's (em %)



### 3 Revisão Bibliográfica

Dentre os diversos estudos envolvendo estimativas de eficiência do setor portuário por meio da metodologia DEA, destaca-se, em primeiro lugar, o artigo de Roll e Hayuth (1993) entre os precursores no tratamento do tema. Considerando como insumos o capital investido, o número de funcionários e o tipo de carga; e como produtos o nível de serviço, a movimentação de carga, a satisfação dos usuários e o número de atracções, os autores estimam um modelo com retornos constantes de escala (CCR) que permanece na esfera teórica, uma vez que a amostra utilizada de 20 portos é formada por dados hipotéticos. Já no mundo real, Martinez-Budria et al. (1999) utilizam o modelo de retornos variáveis de escala (BCC) e definem os insumos como despesas com pessoal, taxas de depreciação e outros gastos, e os produtos como o total de carga movimentada e a receita obtida no aluguel de facilidades. Assim, após a avaliação da eficiência de 26 portos espanhóis no período 1993-1997, os autores mostram que os portos maiores e de maior complexidade estão relacionados positivamente com eficiências mais altas. Nesse caso, o modelo utilizado é o de retornos variáveis de escala (BCC), e os insumos escolhidos são as taxas de depreciação, as despesas com pessoal e outros gastos, e os produtos o total de carga movimentada e a receita obtida no aluguel de facilidades.

Tongzon (2001), por sua vez, direciona sua análise para 4 terminais de contêineres australianos e 12 outros internacionais, no ano de 1996. A base de dados é constituída por informações advindas do *Australian Bureau of Transport and Communications Economics*, do *Containerisation International Yearbook* e do *Lloyd's Ports of the World*. Por um lado, a amostra de insumos é formada pelo número de guindastes, o número de berços, o número de rebocadores, o número de funcionários, a área do terminal e pelo *delay time*, entendido como a soma do tempo total no berço e do tempo de espera menos o tempo de operação. Por outro lado, a amostra de produtos é composta pelos TEUs (unidade de medida equivalente a 20 toneladas) movimentados e pelo tempo de operação do navio.

Desse modo, são estimados ambos os modelos de retornos variáveis de escala (CCR) e de retornos constantes de escala (BCC) e conclui-se que o resultado da eficiência depende do tipo de modelo DEA. Similarmente, Itoh (2002) e Cullinane et al. (2005) também encontram uma variação da eficiência de acordo com o modelo DEA utilizado. No primeiro caso, as informações de insumos e produtos para os modelos BCC e CCR de oito dos maiores terminais de contêineres japoneses são encontradas em *International Transportation Handbook*, *Port Statistics Yearbook*, *Maritime Transportation Survey*, *Kyushu Maritime Transportation Survey* e, finalmente, em *Chubu Transport Bureau Maritime Transportation Data*. Além disso, os insumos são divididos em dois grupos: a infraestrutura, que engloba a área do terminal e o número de berços; e a superestrutura, que engloba o número de guindastes e o número de trabalhadores. Mais uma vez, os produtos são os TEUs movimentados por ano. No segundo caso, a amostra dos modelos BCC e CCR é composta pelos principais portos do mundo no período 1992-1999 e obtida no *Containerisation International Yearbook*, *Lloyd's Ports of the World* e *China's Shipping Development Annual Report*. Aqui os insumos são o comprimento do terminal, a área do terminal, o número de guindastes de berço, o número de guindastes de pátio e o número de *straddle carrier* (equipamento destinado a movimentar um contêiner no pátio).

Valentine e Gray (2001) chamam a atenção para o fato de apenas 2 portos dentre 31 dos melhores da revista *Cargo Systems* de 1999 atingirem a máxima eficiência, enquanto apenas 5 permanecem no patamar de 70-95% de eficiência. O modelo empregado é o CCR. Ademais, os insumos são representados pelo tamanho do berço e pelo total de investimentos, enquanto os produtos são o número total de contêineres e o total de toneladas movimentadas.

Ainda no que diz respeito aos trabalhos voltados para portos que se destacam no cenário internacional, Turner et al. (2004) examinam os Estados Unidos e o Canadá, entre os anos 1984 e 1997, e verificam que a existência de economias de escala consideráveis a nível de porto e de terminal na região é um fator fundamental para a melhora da produtividade bruta dos portos norte-americanos transportadores de contêineres. Para obtenção dos resultados, considera-se um modelo CCR, onde os insumos são a área do terminal, o tamanho do berço e o número de guindastes, e o produto são os TEUs movimentados. A fonte dos dados é formada por: *American Association of Port Authorities (AAPA)*, *Containerization International Yearbook*, *Landside Access to US Ports* e *US Corp of Engineers*

### *Port Series.*

Mais recentemente, Herrera e Pang (2008) mostram que, para um modelo CCR, a ineficiência dos portos está relacionada ao uso de insumos em excesso. Para tanto, a área do terminal, o número de guindastes navio-terra, o número de guindastes móveis, o número de estaleiros e o número de cais foram definidos como insumos, os TEUs e as toneladas movimentadas como produtos e, por fim, dados do *Containerization International Yearbook* de 86 portos ao redor do mundo que usam contêineres definiram a amostra.

Com relação à comparação de grupos de países, é possível citar Wu e Goh (2010) e Merk e Dang (2012). Ambos os estudos utilizam os modelos BCC e CCR para portos de contêineres. Cabe destacar, no entanto, as diferenças de cada um deles. A começar pela amostra, Wu e Goh (2010) avaliam os países integrantes dos BRIC, *Next-11* e *G7*, definindo como insumos a área do terminal, o comprimento do cais, o número de guindastes de berço, o número de guindastes de pátio e o número de *straddle carrier*; e como produto o número de TEUs a partir do *Containerization International Yearbook*. Já Merk e Dang (2012) comparam a operação de portos de países que fazem parte da OCDE e países que estão fora desse grupo no período 1992-1999. No total, os dados representam os 63 maiores portos de contêineres ao redor do mundo e sua fonte reside em *Lloyd's Port of the World 2011 Yearbook* e em *Lloyd's Marine Intelligence Unit's*. Nesse caso, o comprimento do cais, a máxima capacidade dos navios, a capacidade de estocagem do tanque, a profundidade do canal e a capacidade do oleoduto são os insumos e o volume de embarcação é o produto. Outra diferença reside nas conclusões de cada um dos trabalhos. Enquanto Wu e Goh (2010) defendem que os países emergentes poderiam ser mais competitivos em termos de eficiência operacional em relação a seus parceiros mais avançados, mesmo na presença de equipamentos menos desenvolvidos, Merk e Dang (2012), por sua vez, observam certos padrões na eficiência do transporte de determinadas *commodities*. Os terminais chineses, por exemplo, seriam os mais eficientes no transporte de granéis e de contêineres de carvão. A América Latina, em troca, seria o destaque, em termos de eficiência, nos terminais de grãos e minério de ferro; a região do Golfo nos terminais de petróleo bruto e a Austrália em grãos e granéis de carvão.

Para o Brasil, Fontes (2006), baseado nos dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), desenvolveu três modelos DEA BCC, todos orientados a produto:

um modelo físico, um modelo financeiro e um modelo físico-financeiro, constituindo-se em uma mescla dos dois primeiros. O primeiro utilizou como insumo a variável extensão de cais aportável e dois produtos: movimentação total de embarcações e movimentação total de cargas. O segundo foi estimado tendo como insumo a aplicação total de recursos em R\$ e como produtos a receita operacional bruta e líquida em R\$. O terceiro modelo, por fim, empregou os dois insumos e os quatro produtos dos dois primeiros modelos. Os resultados indicam o terminal salineiro de Areia Branca como o mais eficiente no Brasil, juntamente com o Porto de Belém que atingiu a eficiência máxima no modelo físico-financeiro.

Acosta et al. (2011), por sua vez, observa, a partir de um modelo DEA com retornos variáveis de escala, que os portos mais eficientes no Brasil, com relação à soma de granéis sólidos, líquidos, carga geral e contêineres para o ano de 2005 foram: Areia Branca (RN), Itaqui (MA), Natal (RN), Santos (SP) e São Francisco do Sul (SC). Com relação aos indicadores considerados, coletados por meio da ANTAQ e dos sítios “Portos e Navios” e “Aviso aos Navegantes”, além do sítio dos próprios portos, o produto foi a movimentação geral nos portos, em toneladas. Os insumos que exercem influência nessa variável, isto é, na quantidade de carga movimentada nos portos e que foram possíveis de serem avaliados foram: número de acessos (rodoviário, ferroviário, lacustre, fluvial, marítimo e dutovias), extensão total de cais, profundidade do canal, profundidade máxima dos berços, número de berços, área de armazenagem e número de guindastes e empilhadeiras.

Prata et al. (2013), porém, ressaltam que a obtenção da eficiência portuária, por tipo de carga *“auxilia no planejamento de médio e longo prazo, de forma a organizar os portos para aumentar a movimentação horária e a movimentação de cargas”*. Os autores focam, assim, na medição, por meio do modelo CCR, da eficiência dos portos que movimentam contêineres e granéis sólidos na Região Nordeste do Brasil, no ano de 2006, com dados obtidos junto aos portos. Utilizando variáveis de infraestrutura como insumos (calado, extensão do berço e capacidade estática) e variáveis de operação como produtos (número de navios e as movimentações em TEUs e em unidades por hora), conclui-se que com relação aos portos que, por um lado, operam contêineres, o Porto de Salvador apresentou o maior índice de eficiência e, em contraposição, o Porto de Fortaleza o menor índice. Com relação aos portos que operam granéis sólidos, por outro lado, o terminal São Luís 1 atingiu a eficiência máxima, enquanto o Porto de Suape registrou o menor valor.

Coutinho et al. (2012) adotam os modelos CCR e BCC para 16 terminais de contêineres com dados obtidos nos balanços fornecidos pela ANTAQ e por terminais portuários. Os insumos considerados são variáveis de valor, a saber, investimentos em máquinas e equipamentos, despesas administrativas e custos de serviços e os produtos são os TEUs movimentados por ano. Os resultados indicam que apenas poucos portos estão presentes na fronteira de eficiência e que aqueles considerados ineficientes apresentam eficiência menor do que 50%. Similarmente, Wanke (2013) indica que existe uma baixa proporção de portos eficientes no Brasil. Da amostra de 27 terminais de contêineres e granéis sólidos obtida na ANTAQ, dois portos atingem a eficiência máxima de 100%, enquanto cinco são classificados no patamar que gira em torno de 70-95%. Nesse caso, os insumos são o número de navios atracados, a área de armazenamento, a área de estalagem, o número de estaleiros e o número de cais. Os produtos, por sua vez, são definidos como os TEUs movimentados e os granéis sólidos.

Finalmente, Kirchner (2013) propõe um modelo DEA CCR para uma amostra de terminais de contêineres ao longo do tempo (2010, 2011 e 2012), obtida por meio da ANTAQ. Os resultados apontam para valores de eficiência coerentes com a escala de movimentação dos portos. As ineficiências dos terminais, no entanto, devem ser interpretadas com cautela. Nesse sentido, não parece ser razoável considerar que os portos ineficientes devam aumentar significativamente a sua movimentação de carga, tendo em vista que a demanda pode não ser compatível com esse aumento. Além do aumento da movimentação de carga, portanto, também seria necessária a melhoria dos níveis de insumos.

Observa-se, assim, que os estudos voltados para o caso do Brasil indicam a existência de ineficiência entre os terminais portuários brasileiros, além da importância de uma medida de eficiência voltada para um tipo de carga específico. Entretanto, o foco, até o momento, parece ter sido voltado para os terminais de contêineres. Desse modo, o objetivo deste trabalho é esclarecer as medidas de eficiência dos terminais brasileiros marítimos voltados especificamente para a movimentação de granéis sólidos, em particular, açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo.

## 4 Metodologia

### 4.1 Análise Envoltória de Dados (DEA)

Os primórdios da Análise Envoltória de Dados datam da década de 1950 e estão relacionados aos avanços da teoria da produção que ocorreram concomitantemente às reflexões sobre métodos matemáticos de programação decorrentes das tentativas de alocar eficientemente os recursos na economia (Ferreira e Gomes, 2009). Nesse contexto, a busca de um conceito de eficiência econômica e de medidas precisas resulta na Análise Envoltória de Dados (DEA) que tem como objetivo computar a eficiência relativa de uma amostra de organizações produtivas denominadas Unidades de Decisão (DMU)'s que utilizam insumos semelhantes para produzir produtos similares. O termo DMU foi escolhido para cobrir de maneira flexível uma grande gama de entidades, que incluem desde organizações empresariais, governamentais ou beneméritas, como escolas, hospitais, unidades militares, força policial, sistemas de justiça criminal e tribunais, a países, regiões e diversas outras instituições que buscam utilizar os recursos disponíveis da melhor maneira possível.

Mais do que em outras eras, atualmente a sobrevivência de cada empresa depende de sua interação com o ambiente no qual está inserida. Assim, o processo de aprendizado das organizações é contínuo para que possam se posicionar estrategicamente com relação às demais. É necessário, pois, que as firmas possuam um *benchmark*, uma referência dos melhores padrões de eficiência de seus processos técnicos de produção para que possam aprimorar sua performance no futuro. Nesse contexto, a Análise Envoltória de Dados define o posicionamento competitivo relativo de um grupo de organizações ou atividades a partir da comparação das respectivas eficiências ou ineficiências produtivas.

No contexto de eficiência, cumpre ressaltar, em primeiro lugar, a definição do termo eficácia, relacionado apenas ao que é produzido, sem levar em consideração os insumos

utilizados para tanto (De Mello, 2005). A eficácia estaria, portanto, ligada à capacidade de uma unidade produtiva atingir uma determinada meta com respeito à sua produção. O conceito da DEA, por sua vez, está voltado à ideia básica de que a eficiência de uma determinada DMU é designada pela sua habilidade de transformar insumos em produtos desejados, ou seja, pela sua produtividade, comparando-se o que foi produzido, dados os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido fabricado do mesmo produto com os mesmos insumos. Tal conceito foi originado na engenharia, onde tem-se que  $\text{Produto/Insumo} \leq 1$  (Tongzon, 2001), já que todo processo de transformação, ou realização de trabalho, envolve certa perda de energia. Trata-se, portanto, de um conceito relativo, estendido por Koopmans (1951) de forma a se conduzir a produção para níveis semelhantes aos determinados pela Lei de Pareto <sup>1</sup>. Considera-se, portanto, que uma DMU é eficiente quando não for possível aumentar a quantidade de produtos fabricados sem diminuir a quantidade de outro produto gerado ou aumentar a quantidade de insumos utilizados no processo produtivo. Alternativamente, o alcance da eficiência implica em que não se possa reduzir o número de insumos empregados sem que seja necessário aumentar a quantidade de outro insumo ou diminuir o número de produtos fabricados no processo produtivo (Kirchner, 2013).

A DEA explora, assim, uma generalização dessa medida de eficiência denominada Pareto-Koopmans (Charnes et al., 2005), cuja vantagem reside no fato de não ser necessário determinar *a priori* a importância relativa dos insumos e produtos, de forma que a produção máxima que poderia ser alcançada é obtida por meio da observação das unidades mais produtivas. Em contraposição, os chamados métodos paramétricos partem do pressuposto de uma relação funcional previamente definida entre insumos e produtos, utilizando, no geral, médias para representar o que poderia ter sido produzido.

Acrescenta-se ainda que, historicamente, a medida de eficiência passa de um único produto e insumo para uma relação que envolve múltiplos produtos e insumos (Cooper et al., 2005). Nesse novo contexto, a DEA constrói uma medida de eficiência relativa baseada em um único produto virtual e insumo virtual, que consideram uma série de pesos atribuídos para cada insumo e cada produto. Tais pesos, denominados multiplicadores para serem diferenciados de processos padrões de atribuição de pesos, são determina-

---

<sup>1</sup>A Lei de Pareto ou Ótimo de Pareto constitui as bases da "economia do bem-estar" e é entendida como uma situação em que não é possível melhorar o bem-estar de uma pessoa sem piorar o bem-estar de outra (Ferreira e Gomes, 2009).



dos de forma a produzirem o maior valor de eficiência que pode ser obtido a partir dos dados utilizados. A fronteira eficiente é, então, construída a partir da seleção das DMUs que têm melhor desempenho na produção de produto virtual<sup>2</sup> com relação ao insumo virtual<sup>3</sup>. As DMUs que compõem a fronteira eficiente apresentam uma eficiência igual a 1. Essas unidades mais eficientes podem ser consideradas como referências ou *bechmarks* por aquelas mais ineficientes, que podem estabelecer metas para alcançar, também, a eficiência máxima.

Mais formalmente, assumamos que existam  $n$  DMUs a serem avaliadas. Considere, então, o problema de avaliação da eficiência relativa de uma determinada DMU que será identificada como  $DMU_0$ , cujas variáveis conhecidas são os produtos  $y_{m0}$  e os insumos  $x_{r0}$ . Os pesos  $\mu_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) e  $v_i$  ( $i = 1, \dots, r$ ), ainda desconhecidos, são as variáveis de decisão e devem ser determinados para cada  $DMU_0$  (Ferreira e Gomes, 2009). Cada eficiência relativa é, então, calculada ao se formar a razão da soma ponderada dos produtos sobre a soma ponderada dos insumos:

$$Ef_0 = \frac{\sum_{j=1}^m \mu_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} = \frac{\mu_1 y_{10} + \dots + \mu_m y_{m0}}{v_1 x_{10} + \dots + v_r x_{r0}} \quad (4.1)$$

onde, produto virtual =  $\mu_1 y_{10} + \dots + \mu_m y_{m0}$  e insumo virtual =  $v_1 x_{10} + \dots + v_r x_{r0}$ .

O objetivo é, portanto, determinar os pesos de forma a maximizar a razão:

$$\frac{\text{Produto Virtual}}{\text{Insumo Virtual}} \quad (4.2)$$

É necessário, então, uma programação matemática em que seja possível obter pesos diferentes para cada  $DMU_0$  do conjunto de  $n$ . Assim, deve-se resolver:

$$\max_{(\mu, v)} Ef_0 = \frac{\sum_{j=1}^m \mu_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} = \frac{\mu_1 y_{10} + \dots + \mu_m y_{m0}}{v_1 x_{10} + \dots + v_r x_{r0}} \quad (4.3)$$

sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} = \frac{\mu_1 y_{1k} + \dots + \mu_m y_{mk}}{v_1 x_{1k} + \dots + v_r x_{rk}} \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, n$$

<sup>2</sup>Soma ponderada dos produtos.

<sup>3</sup>Soma ponderada dos insumos.

$$\mu_1, \dots, \mu_m \geq 0 \quad \forall j$$

$$v_1, \dots, v_r \geq 0 \quad \forall i$$

De acordo com as restrições, o máximo valor que a razão Produtos Virtuais/Insumos Virtuais pode assumir é 1, isto é, as medidas de eficiência devem ser todas menores ou iguais à unidade. Uma eficiência  $Ef_0$  igual a 1, por um lado, equivale a uma DMU<sub>0</sub> 100% eficiente. Por outro lado, uma eficiência  $Ef_0$  menor do que 1, ou igual a zero, indica uma DMU<sub>0</sub> ineficiente, que utiliza os recursos disponíveis para um dado processo de produção de maneira inadequada (Ferreira e Gomes, 2009).

O problema formulado acima, no entanto, apresenta um número infinito de soluções, uma vez que sendo  $\mu^*$  e  $v^*$  possíveis resultados ótimos, então  $\delta\mu^*$  e  $\delta v^*$  também o são. Todavia, é possível chegar a uma solução única para a eficiência ao se transformar a programação matemática fracionária em uma programação matemática linear por meio dos seguintes passos:

- Igualar o denominador da função objetivo a uma constante, em geral, à unidade ( $\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$ ), eliminando-o da expressão.
- Alterar a restrição de forma que seja equivalente a uma diferença entre o numerador e o denominador menor ou igual a zero, estabelecendo que o intervalo para a eficiência seja entre 0 e 1.

Considerando-se que as medidas de eficiência podem ser de orientação a insumo, voltadas para a redução de insumos, com vistas a se produzir o mesmo que uma DMU eficiente, ou de orientação a produto, voltadas para o aumento do produto, empregando os mesmos números de insumos que uma DMU eficiente<sup>4</sup>, então o problema se torna:

(a) Orientação a insumo

$$\max_{(\mu, v)} Ef_0 = \sum_{j=1}^m \mu_j y_{j0} \quad (4.4)$$

<sup>4</sup>O critério de escolha de orientação do modelo depende do objetivo buscado com a análise, tendo em vista que o valor da eficiência não sofre grandes alterações em cada um dos casos.

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^m \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0 \quad \forall k$$

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

A formulação primal, denominada modelo dos multiplicadores com orientação a insumo, permite que cada  $DMU_0$  eleja as variáveis de decisão do modelo, isto é, os pesos, mais convenientes para si, com a condição de que a aplicação às demais  $DMU$ 's não gere uma razão inferior a 1. A orientação a recursos, todavia, pode ser melhor observada no problema dual da programação linear, com um número menor de restrições, o Modelo Envoltório, cuja função objetivo fornece o mesmo valor do modelo dos multiplicadores:

$$\min_{(\theta, \lambda)} \theta \tag{4.5}$$

em que  $\theta$  é a eficiência da  $DMU_0$  tal que  $0 \leq \theta \leq 1$ .

Sujeito a:

$$\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, r$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k y_{mk} - y_{m0} \geq 0 \quad \forall m = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k = 1, 2, \dots, n$$

onde  $y$  = produção;  $x$  = insumo e  $\lambda$  = peso da  $DMU_k$  na análise da  $DMU_0$ .

O modelo básico acima é uma especificação de Retornos Constantes de Escala (CCR). É importante destacar que no caso do modelo de Retornos Variáveis de Escala (BCC)

é necessário incluir a restrição de convexidade, segundo a qual  $\sum_{k=1}^n \lambda = 1$ <sup>5</sup>. Nessa abordagem, os dados são envolvidos de forma mais compacta do que a superfície obtida com o modelo de rendimentos constantes de escala. Por isso, os valores encontrados para a eficiência, no caso de retornos variáveis, são maiores do que nos modelos básicos de retornos constantes de escala.

Observe que, enquanto no modelo dos multiplicadores as variáveis discricionárias são os pesos  $\mu_j$  e  $v_i$ , o mesmo não ocorre no Modelo Envoltório, cujas variáveis de decisão são o  $\theta$  e os pesos  $\lambda_k$ . No Modelo Envoltório, deve-se multiplicar a medida de eficiência  $\theta$  pelos insumos para que a DMU seja posicionada sobre a fronteira eficiente, ao serem subtraídos valores dos insumos. Ademais, a primeira restrição determina que essas reduções em cada um dos insumos não estejam aquém da fronteira de eficiência. Já a segunda restrição estabelece que a redução nos insumos não deve modificar o nível atual dos produtos da DMU.

(b) Orientação a produto

Nesse caso, os insumos são fixos e procura-se verificar qual a quantidade máxima que pode ser produzida.

$$\min_{(\mu, v)} E f_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} \quad (4.6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{j0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s \mu_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0 \quad \forall k$$

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

---

<sup>5</sup>Para a tecnologia caracterizada por retornos constantes de escala, a duplicação do nível de insumos leva a uma duplicação da produção. No caso da tecnologia que apresenta retornos decrescentes de escala, a duplicação de seus insumos não resulta, no geral, em uma duplicação da produção, mas sim em um valor abaixo dela. A tecnologia com retornos crescentes de escala, por sua vez, mais do que duplica a produção com uma duplicação dos insumos.

Essa formulação é denominada modelo dos multiplicadores com orientação a produto. Como no caso da orientação a insumo, a orientação a produto, também pode ser melhor observada no problema dual da programação linear (Modelo Envoltório):

$$\max_{(\phi, \lambda)} \phi \quad (4.7)$$

em que  $\phi$  é a eficiência da  $DMU_0$  tal que  $1 \leq \phi \leq \infty$ .

Sujeito a:

$$x_{i0} - \sum_{k=1}^n \lambda_k x_{ik} \geq 0 \quad \forall i$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k y_{mk} - \phi y_{m0} \geq 0 \quad \forall m$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$$

onde  $y$  = produção;  $x$  = insumo e  $\lambda$  = peso da  $DMU_k$  na análise da  $DMU_0$ .

Vale observar que neste caso  $\theta = \frac{1}{\phi}$  e que o modelo acima é uma especificação CCR. Assim, mais uma vez, cabe destacar que no caso do modelo BCC é necessário incluir a restrição de convexidade ( $\sum_{k=1}^n \lambda = 1$ ).

O princípio básico do modelo DEA de estimação do nível de eficiência pode ser observado em um exemplo simples de Cullinane e Wang (2006) de apenas um produto (o número de contêineres movimentados por unidade de tempo) e um insumo (o número de estivadores)<sup>6</sup>. O processo produtivo de oito terminais de contêineres está representado na Tabela 4.1 e na Figura 4.1.

Como a produtividade de uma organização é determinada pela razão Produtos/Insumos, então, no caso apresentado, a produtividade dos terminais é dada por Produto/Estivadores, cujo valor equivale à inclinação da reta que liga cada um dos pontos à origem. Assim, a unidade mais eficiente da amostra é o terminal T2, que apresenta o maior nível absoluto de produtividade. Dessa forma, a reta que liga o ponto T2 à origem corresponde à fronteira

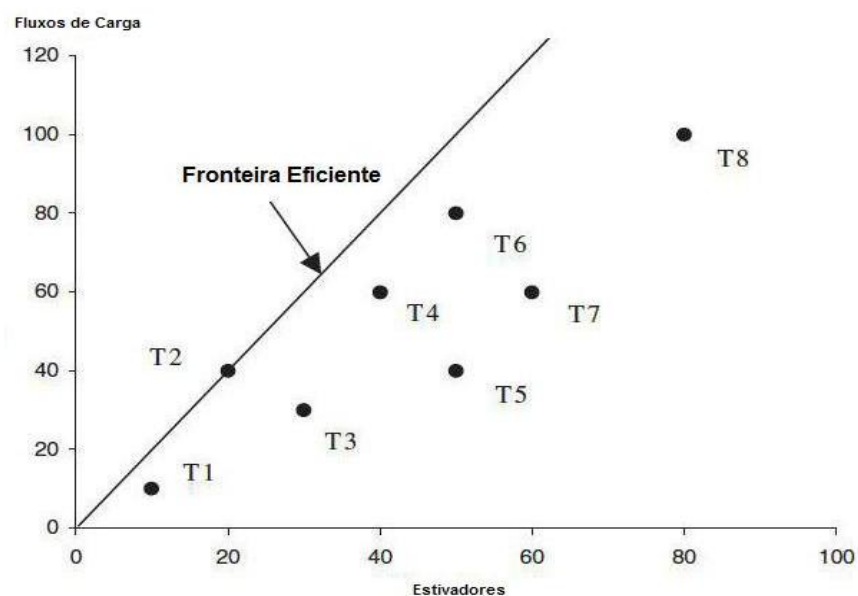
<sup>6</sup>Um estivador é o técnico responsável pela movimentação de cargas nos porões ou sobre os convés de embarcações.

Tabela 4.1: Um Único Insumo e um Único Produto

Terminal	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Estivadores	10	20	30	40	50	50	60	80
Produto	10	40	30	60	80	40	60	100
Produtividade (Produto/Estivadores)	1	2	1	1.5	1.6	0.8	1	1.25
Eficiência %	50	100	50	75	80	40	50	62.5

Fonte: Cooper et al. (2005).

Figura 4.1: Comparação das Eficiências de Terminais de Contêineres - Modelo CCR

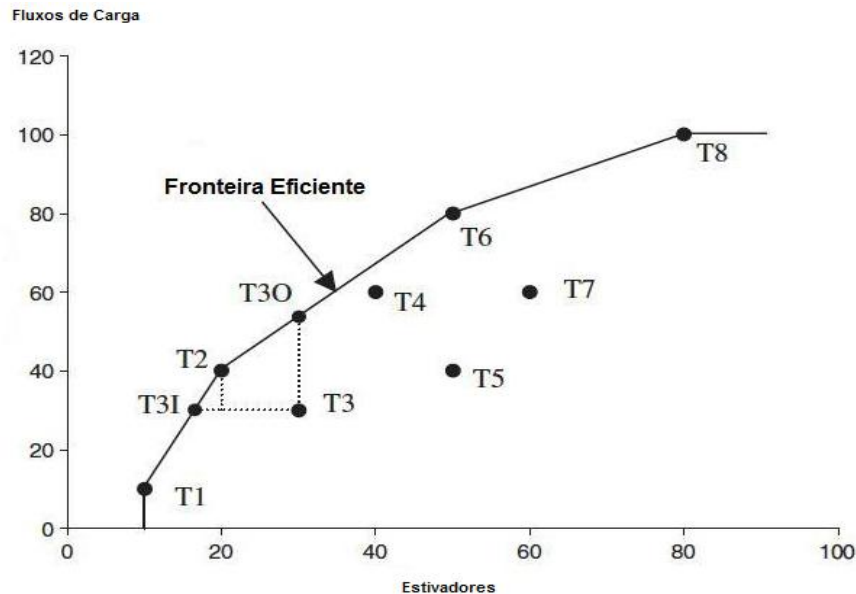


Fonte: Cooper et al. (2005)

eficiente. Com relação a esse ponto, todos os outros terminais são considerados ineficientes. Para essas unidades, a eficiência é calculada por meio da comparação de suas produtividades respectivas com a produtividade de T2.

O modelo DEA-BCC, por sua vez, ao considerar retornos variáveis de escala, possui uma representação de fronteira de produção diferente do modelo DEA-CCR, que, como visto, assume retornos constantes de escala. Alternativamente, a estimação do modelo DEA com retornos variáveis de escala para o exemplo considerado fornece uma fronteira de produção como a da Figura 4.2. Aqui, os terminais T1, T2, T6 e T8 são considerados eficientes e posicionados sobre a fronteira de eficiência. As demais observações são envolvidas pelos terminais eficientes e vistas como ineficientes.

Figura 4.2: Comparação das Eficiências de Terminais de Contêineres - Modelo BCC



Fonte: Cooper et al. (2005)

Assim, o método DEA é formulado como um problema de programação linear que resulta em uma fronteira de eficiência obtida a partir de combinações lineares das observações das firmas consideradas eficientes. Desse modo, os vértices da fronteira representam as firmas totalmente eficientes para as quais nenhuma outra firma ou combinação linear de firmas produz mais (dados os insumos) ou utiliza menos insumos (dados os produtos). Apesar de a metodologia DEA não controlar choques aleatórios, de forma que qualquer desvio da fronteira eficiente é interpretado como ineficiência, o método apresenta importantes características. Primeiramente, a DEA impõe menos restrições à função de tecnologia de produção, evitando uma especificação explícita da forma da fronteira eficiente (Cooper et al. 2005; Ferreira e Gomes 2009; Tabak et al. 2009). Além disso, a DEA é uma técnica amplamente utilizada<sup>7</sup> e, em particular, tem sido crescentemente empregada em análises da produção portuária nos últimos anos (Cullinane e Wang, 2006). Finalmente, o fato de que a DEA pode envolver múltiplos insumos e produtos em sua avaliação de eficiência torna esse método mais adequado para medir a eficiência dos portos, uma vez que o setor portuário produz um certo número de diferentes produtos. Entre esses produtos estão a quantidade e a variedade de cargas, os tipos de navios, o intercâmbio com modos

<sup>7</sup>A DEA tem sido aplicada nos últimos anos para avaliar o desempenho de uma variedade de entidades engajadas nas mais diversas tarefas e inseridas em diferentes contextos e países (Cooper et al., 2005).

de transporte terrestre e os serviços adicionais prestados (Tongzon, 2001).

Adicionalmente, neste trabalho, além da eficiência padrão, i.e., da eficiência referente à fronteira clássica, consideram-se outras três medidas de eficiência. Em primeiro lugar, considera-se a eficiência invertida, que diz respeito à fronteira invertida (fronteira ineficiente) e realiza uma avaliação pessimista das DMU's, isto é, aquelas com as piores práticas gerenciais, a partir da troca dos *inputs* com os *outputs* do modelo original. Em segundo lugar, apresenta-se a eficiência composta que resulta de uma análise agregada, de forma que não baste que uma determinada DMU tenha uma boa performance no fator que seja melhor, sendo necessário também que não ocorra um mau desempenho no critério em que for pior. Calcula-se, ainda, a eficiência composta normalizada por meio da divisão da eficiência composta pelo maior entre todos os valores da eficiência composta (Fontes, 2006), que, por sua vez, é calculada pela média aritmética entre a eficiência padrão e o valor obtido a partir da subtração da eficiência invertida por 1 (unidade), ou seja:

$$Eficiência_{composta} = \frac{Eficiência_{padrão} - Eficiência_{invertida} + 1}{2} \quad (4.8)$$

Ademais, destaca-se uma aplicação da DEA que, de acordo com Ferreira e Gomes (2009), merece atenção: a análise dos parceiros de excelência ou *benchmarks*. Nesse sentido, uma vez estimada a fronteira de eficiência, pode-se projetar as DMU's ineficientes para a fronteira de possibilidades de produção, por meio de movimentos radiais, de forma que se possa identificar aquelas DMU's eficientes responsáveis por outra DMU ter sido classificada como ineficiente, i.e., aquelas DMU's eficientes que poderão funcionar como *benchmark* das DMU's ineficientes.

Finalmente, ressalta-se que a programação matemática linear dos modelos DEA pode gerar um excesso no emprego de insumos além do necessário ou uma escassez de produção. Nesse sentido, ainda que a programação linear, por meio de um movimento radial, “tenha projetado as DMU's em direção à fronteira eficiente, elas podem ainda apresentar ineficiência, ou seja, podem estar produzindo com a utilização de uma quantidade desnecessária de insumo, ou produzindo aquém do volume tecnicamente recomendável”. As chamadas folgas deverão ser, portanto, respectivamente, reduzidas, sem alterar a produção, e incrementadas, sem aumentar os insumos utilizados (Ferreira e Gomes, 2009).



## 4.2 Método para seleção de variáveis

Para que o método DEA possa ser utilizado de forma plena, nos casos em que o número de insumos e produtos excede a quantidade de DMU's disponíveis na amostra, pode ser necessário restringir o número de variáveis para se evitar um baixo poder discriminatório do modelo, quando a um grande número de DMU's pode ser atribuído 100% de eficiência. Uma das maneiras de se realizar essa redução é por meio do "Método Multicritério de Seleção de variáveis em DEA", diminuindo a quantidade de DMU's eficientes, sem que, no entanto, se perca a relação de causalidade. Este é, precisamente, o método empregado neste estudo, de acordo com Cunha et al. (2006).

Resumidamente, para selecionar as variáveis que melhor se enquadram no modelo, são utilizados dois critérios: o melhor ajuste à fronteira ( $S_{EF}$ ) e a máxima discriminação ( $S_{DIS}$ ). No primeiro caso, a eficiência média indica o ajuste à fronteira e sua normalização gera a variável definida como  $S_{EF}$ , isto é, o "melhor ajuste à fronteira", cujo valor equivale a 10 (dez) na eficiência máxima e zero na eficiência mínima. Já no segundo caso, o foco é a minimização das DMU's eficientes, definida como a máxima discriminação. A normalização do número de DMU's eficientes cria, portanto, a variável  $S_{DIS}$ , com valor igual a 10 (dez) para o menor número de DMU's na fronteira e zero para o maior número. Trata-se, portanto, de dois objetivos conflitantes, uma vez que, por um lado, uma maior média da eficiência melhora o ajuste à fronteira e, por outro lado, uma menor quantidade de DMU's eficientes melhora a discriminação. Ao final, os dois critérios são agregados em uma única variável  $S = wS_{EF} + (1 - w)S_{DIS}$  com pesos iguais ( $w = 0,5$ ), de forma a não haver preponderância de nenhum dos critérios (Cunha et al., 2006).

Assim, partindo-se de um par insumo/produto escolhido pelo decisor como o melhor par inicial, incorpora-se ao modelo, durante o procedimento, a variável com maior valor de  $S$ , acrescentando-se novas variáveis a medida em que, como definido em Cunha et al. (2006), o número de variáveis adicionadas não excede 1/3 (um terço) da quantidade de DMU's do modelo. O processo chega ao final quando todas aquelas variáveis que deveriam fazer parte do modelo foram, de fato, selecionadas.

## 5 Dados

### 5.1 Seleção das variáveis

Atualmente, uma parte das variáveis que podem ser empregadas em cálculos de eficiência é disponibilizada pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Neste trabalho, utilizou-se o Sistema de Informações Gerenciais (SIG) da referida instituição, disponível gratuitamente e sem a exigência de cadastro prévio pelo usuário. O SIG *“foi desenvolvido para facilitar o acesso e disseminar os dados estatísticos dos portos e terminais privados”*, sendo *“atualizado diariamente pelos dados coletados por outro sistema da ANTAQ, o SDPv2, que permite que as instalações portuárias informem suas estatísticas relativas à movimentação de carga”* (ANTAQ, 2013b).

Em estudos que envolvem o setor portuário, no entanto, uma grande dificuldade enfrentada pelos pesquisadores ainda é a coleta dos dados necessários (Kirchner, 2013), uma vez que faltam dados confiáveis, prejudicando a análise e o planejamento do setor. Nesse sentido, apesar de parte dos dados ter sido obtida por meio do sistema de dados disponibilizado pela ANTAQ, outras informações, referentes à infraestrutura dos terminais escolhidos, teve de ser recolhida nos chamados Planos Mestre dos portos, que podem ser encontrados no sítio da Secretaria de Portos (SEP)<sup>1</sup>. Tais Planos fazem parte de uma tentativa da SEP em retomar o planejamento do setor portuário brasileiro, para o alcance de custos competitivos e bons níveis de qualidade, por meio do desenvolvimento do projeto intitulado: *“Cooperação Técnica para Apoio à SEP/PR<sup>2</sup> no Planejamento Portuário Brasileiro e na Implantação dos Projetos de Inteligência Logística Portuária”*, em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), representada pelo Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans). Assim, o projeto representa um instrumento de planejamento para orientar decisões de investimento na infraestrutura dos portos, que de-

---

<sup>1</sup> <http://www.portosdobrasil.gov.br>

<sup>2</sup> Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP/PR).

mandam apreciações de longo prazo. De um modo geral, tais planos apresentam as características dos portos, uma análise da capacidade instalada e de operação e uma estimativa de suas necessidades para um horizonte de 20 anos.

Especificamente para este trabalho, foi escolhido como produto (*output*) o *total de carga bruta*, em toneladas, movimentada. Isso se deve ao fato de que os portos operam na mobilização de cargas, de forma a buscar a maximização da carga movimentada para aumentar os seus respectivos lucros (Kirchner, 2013). Tal variável foi obtida por meio do sistema de acesso público disponibilizado pela ANTAQ, o já mencionado SIG.

Com relação aos insumos (*inputs*), parte das variáveis foi coletada a partir da análise dos Planos Mestre, a saber, a *extensão de cais*, o *calado máximo recomendado nos canais de acesso* e a *capacidade estática*; enquanto o restante dos dados foi reunido no sítio da ANTAQ (*quantidade de atracções, consignação média e prancha média*).

No que concerne às variáveis de infraestrutura<sup>3</sup>, em primeiro lugar, selecionou-se a variável *extensão de cais*, em metros, definida como a extensão da parte do porto voltada para a atracção ou ancoradouro de embarcações (Fontes, 2006), devido, principalmente a dois motivos. Inicialmente, devido ao fato de que em berços de atracção de maior extensão podem operar navios de maior porte, o que permite um aumento na produtividade do terminal. Ademais, uma melhora na produtividade também estaria relacionada a maior quantidade de equipamentos, com maior mobilidade de operação, que se pode instalar em berços maiores (Kirchner, 2013). Em segundo lugar, outro dado de infraestrutura coletado foi o *calado máximo recomendado nos canais de acesso*, em metros, definido como a profundidade em que se encontra o ponto mais baixo da quilha do navio<sup>4</sup>. Nesse sentido, maiores calados estão relacionados a um aumento na capacidade dos navios que podem, portanto, ser mais carregados, contribuindo, também, para a produtividade dos portos. Por último, a *capacidade estática*, em toneladas, também é uma variável de infraestrutura que compõe a base de dados, representando a capacidade de armazenamento do porto e contribuindo para tornar o processo de carga e descarga mais ágil.

Relativamente aos dados coletados mensalmente pela ANTAQ, que, no entanto tiveram os seus valores anuais empregados neste trabalho, a *quantidade de atracções* é um in-

---

<sup>3</sup>Optou-se por considerar apenas as informações de insumos relativas ao transporte dos granéis sólidos em estudo, exclusivamente.

<sup>4</sup>A quilha é o ponto de sustentação de todo o barco, localizado em sua parte inferior.

dicador que apresenta grande correlação com a carga bruta movimentada, pois a medida que mais navios atracam em um porto, uma maior quantidade de cargas pode ser transportada (Kirchner, 2013). Ademais, pode-se observar, a partir desse indicador, quando um terminal apresenta uma hinterlândia significativa, ou seja, uma área de influência de determinada cidade portuária com concentração significativa de atividade econômica. A *consignação média*, por sua vez, definida como a tonelagem média de cargas<sup>5</sup> transportada pelas embarcações, também está fortemente relacionada com o produto e sua fórmula de cálculo é (ANTAQ, 2013b):

$$\text{Consignação Média} = \frac{\text{somatório da tonelagem movimentada}}{\text{n}^{\circ} \text{ de atracações}} \quad (5.1)$$

onde a unidade de medida é tonelada bruta/navio(s). Essa variável indica o “*perfil dos navios que frequentam o porto na movimentação de cada tipo de carga ou produto, em cada terminal*” (ANTAQ, 2013b).

Finalmente, adota-se um importante indicador de produtividade, a *prancha média* da operação, definida como a quantidade de toneladas movimentadas por cada hora em que o navio esteve atracado, isto é:

$$\text{Prancha Média} = \frac{\text{somatório das quantidades movimentadas} * 24}{\text{tempo atracado em hora}} \quad (5.2)$$

Além de mensurar a produtividade média de cada terminal, “*medida em relação ao tempo de operação dos navios, tomado como tempo de atendimento*” (ANTAQ, 2013b), essa variável fornece, ademais, um indicativo implícito sobre as quantidades e tipos de equipamentos e sobre a mão de obra empregada nos terminais, tendo em vista que determinados equipamentos, mais especializados, afetam a capacidade de movimentação de cargas de um determinado porto e exigem uma mão de obra mínima para sua operação (Kirchner, 2013).

Os dados de infraestrutura, obtidos por meio dos Planos Mestre, dificilmente podem ser coletados sistematicamente e com certa periodicidade, pois são necessárias diversas análises econômico-financeiras, acompanhadas de autorizações do órgão regulador, para

<sup>5</sup>No caso deste estudo, a carga em questão são os grãos sólidos. Mais especificamente, açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo.

que possam ser alterados. Assim, tais variáveis, no geral, não são alteradas em períodos anuais e representam, portanto, uma amostra de período diversa, de acordo com o momento específico em que cada porto realizou o seu levantamento em termos de infraestrutura portuária. Os demais indicadores, no entanto, recolhidos no sistema de acesso público da ANTAQ, indicam as informações o mais recente possível, isto é, correspondentes ao ano de 2014. Com isso, foi construída uma amostra de 16 (dezesesseis) portos, entre eles 11 (onze) portos públicos e 5 (cinco) terminais privados.

A Tabela 5.1 mostra as estatísticas descritivas para as variáveis utilizadas no modelo DEA. No geral, parece existir uma grande diversidade entre os portos escolhidos, como pode ser verificado pelos valores mínimo e máximo das variáveis em questão, indicando que a amostra é consideravelmente heterogênea. A capacidade estática, por exemplo, varia de 16.000 toneladas a 1.250.000 toneladas, enquanto a carga bruta total varia de 85.216,83 toneladas a 19.600.000,00 toneladas.

Tabela 5.1: Estatísticas Descritivas

Variável	Média	Desvio-padrão	Min	Max
cais (m)	705.79	512.84	210.00	1,983.60
calado (m)	11.68	2.81	7.00	20.00
capacidade estática (t)	273,314.20	356,197.20	16,000.00	1,250,000.00
atracações (u)	79.38	110.17	7.00	437.00
consignação média (t/navio)	27,972.59	15,695.49	10,652.10	59,100.41
prancha média (t/h)	28.38	22.81	3.86	97.07
carga bruta (t)	2,785,687.00	4,845,684.00	85,216.83	19,600,000.00

Já a Tabela 5.2 mostra que os insumos mais correlacionados com o produto são, nessa ordem: a *quantidade de atracções*, a *prancha média* e a *capacidade estática* dos portos. Nesse sentido, estas seriam as variáveis que mais influenciariam o *total de carga bruta* transportada, sendo, portanto, os principais candidatos para o modelo. Há de se lembrar, no entanto, que as variáveis do modelo DEA serão escolhidas por meio do “Método Multicritério de Seleção de variáveis em DEA”.

Tabela 5.2: Correlação dos insumos e produtos

	cais (m)	calado (m)	capacidade estática (t)	atracações (u)	consignação média (t/navio)	prancha média (t/h)	carga bruta (t)
cais (m)	1						
calado (m)	-0.0156	1					
capacidade estática (t)	0.2269	0.0854	1				
atracações (u)	0.0984	0.2152	0.8986	1			
consignação média (t/navio)	0.1731	0.5915	0.2516	0.3488	1		
prancha média (t/h)	0.1567	0.228	0.7282	0.9082	0.333	1	
carga bruta (t)	0.2195	0.2521	0.8193	0.943	0.5424	0.8769	1

## 5.2 Seleção das DMU's

A escolha das DMU's se deu, inicialmente, por meio do Sistema de Informações Gerenciais (SIG) da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), tendo como base a movimentação das seguintes cargas no ano de 2014: açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo. No entanto, tendo em vista que as variáveis de infraestrutura foram coletadas a partir dos Planos Mestre, e que nem todos os portos do Brasil possuem tais documentos disponíveis, foi necessário eliminar da amostra aqueles complexos que, até o momento, ainda não possuem um Plano Mestre disponível, e, também, aqueles que não disponibilizaram todas as variáveis e indicadores de infraestrutura utilizados neste estudo em tais documentos.

Tabela 5.3: Movimentação de cargas em 2014 - DMU's

Porto/Terminal	Movimentação (t)
Belém - TUP OCRIM	85,216.83
Cabedelo - Cais Público	232,126.68
Ilhéus - Cais Público	200,007.74
Imbituba - Cais Público	521,753.43
Itaqui - Cais Público	3,778,908.22
Fortaleza - Cais Público	850,720.21
Paranaguá - Cais Comercial	19,591,055.51
Rio de Janeiro - Cais Público	493,619.78
Rio Grande - TUP Ceval	2,198,379.84
Rio Grande - TUP Bianchini	4,141,263.73
Rio Grande - TUP Termasa	1,771,459.24
Salvador - Cais Público	341,545.35
Salvador - TUP Cotegipe	3,384,554.35
São Francisco do Sul - Cais Público	6,323,744.26
Suape - Cais Público	473,413.00
Vitória - Cais Comercial e Cais de Capuaba	183,219.69

Adicionalmente, destaca-se que, por se tratar de uma análise de terminais especializados, procurou-se, na medida do possível, separá-los e considerar apenas as informações

de insumos relativas ao transporte de, especificamente, graneis sólidos (mais especificamente, açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo). Assim, esse procedimento levou a um total de 16 (dezesseis) Unidades de Decisão (DMU's), entre portos públicos e Terminais de Uso Privativo (TUP)'s, que encontram-se, todos, listados na Tabela 5.3, acompanhados de suas respectivas movimentações de carga.

## 6 Resultados

### 6.1 Seleção de variáveis

Quando empregada a metodologia Análise Envoltória de Dados (DEA), não se deve incluir um número elevado de variáveis com relação à quantidade de DMUs na análise, devido ao risco de baixa discricionariedade do modelo, ou seja, de um número elevado de DMUs na fronteira de eficiência. Dessa forma, deve-se selecionar apenas as variáveis que apresentem melhor desempenho com relação ao método utilizado.

Tendo em vista que o produto escolhido foi o total de carga bruta, em toneladas, então, as variáveis que devem ser escolhidas estão relacionadas aos indicadores de insumos, entre eles, a *extensão de cais*, em metros, o *calado máximo recomendado nos canais de acesso*, em metros, a *capacidade estática*, em toneladas, a *quantidade de atracções*, em unidades, a *consignação média*, em toneladas por navio e, por fim, a *prancha média*, em toneladas por hora.

De acordo com a metodologia descrita no referencial teórico deste estudo, escolhe-se preliminarmente, o melhor par insumo/produto para o caso em estudo. Dessa forma, opta-se inicialmente pelo par *quantidade de atracções* e *total de carga bruta*, tendo em vista a maior correlação apresentada na Tabela 5.2. Seguindo os próximos passos do “Método Multicritério de Seleção de variáveis em DEA”, então, acrescenta-se uma variável de *input* enquanto o número de variáveis adicionadas não exceder  $1/3$  (um terço) da quantidade de DMUs do modelo<sup>1</sup>, nesse caso,  $16/3 \approx 5,33$ .

Observa-se que as variáveis indicadas são, nessa ordem, *prancha média* e *consignação média*, conforme os maiores valores de S apresentados nas Tabelas 6.1 e 6.2, respectivamente. No entanto, após a inclusão dessas variáveis no modelo, soma-se um total de 4

---

<sup>1</sup>Todas as estimativas DEA foram calculadas por meio de um modelo orientado a produto e com Retornos Constantes de Escala.



(quatro) indicadores, sem que seja excedido o correspondente a 1/3 do número de DMUs. Desse modo, inclui-se adicionalmente uma quinta variável: a *capacidade estática*. Apesar de tal indicador apresentar o mesmo valor de S que a variável *calado máximo recomendado nos canais de acesso*, a inclusão do indicador calado no modelo não alterou o valor da eficiência de nenhuma DMU em análise, o que não ocorreu com a inclusão da *capacidade estática*.

Tabela 6.1: Cálculo de S incluindo uma terceira variável

Insumos	atracações cais	atracações calado	atracações capacidade estática	atracações consignação	atracações prancha
Produto	carga bruta	carga bruta	carga bruta	carga bruta	carga bruta
Eficiência média	0.53	0.49	0.47	0.50	0.52
DMUs na fronteira	3	2	2	2	2
$S_{EF}$	10	9.31	0	9.48	9.72
$S_{DIS}$	0	10	10	10	10
S	5	9.66	5	9.74	9.86

Tabela 6.2: Cálculo de S incluindo uma quarta variável

Insumos	atracações prancha cais	atracações prancha calado	atracações prancha capacidade estática	atracações prancha consignação
Produto	carga bruta	carga bruta	carga bruta	carga bruta
Eficiência média	0.54	0.52	0.52	0.52
DMUs na fronteira	3	2	3	2
$S_{EF}$	10	9.63	0	9.71
$S_{DIS}$	0	10	0	10
S	5	9.81	0	9.85

Tabela 6.3: Cálculo de S incluindo uma quinta variável

Insumos	atracações prancha consignação cais	atracações prancha consignação calado	atracações prancha consignação capacidade estática
Produto	carga bruta	carga bruta	carga bruta
Eficiência média	0.54	0.52	0.55
DMUs na fronteira	3	2	3
$S_{EF}$	9.74	0	10
$S_{DIS}$	0	10	0
S	4.87	5	5

Conclui-se, assim, que os insumos selecionados são: *quantidade de atracções, pran-*

cha média, consignação média e capacidade estática<sup>2</sup>.

## 6.2 Medidas de eficiência

A análise da eficiência dos portos marítimos transportadores de açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo foi realizada por meio do *software* SIAD<sup>3</sup> - Sistema Integrado de Apoio à Decisão - de acordo com Meza et al. (2005a) e Meza et al. (2005b). Assim, estimou-se uma modelagem DEA com retornos constantes de escala (CCR) e orientada a produto. Isso porque o intuito de uma análise de eficiência da indústria portuária é aumentar a quantidade de carga movimentada a cada ano, ao menos que exista algum indício de que esse movimento estaria saturado (Kirchner, 2013). No entanto, o histórico de transporte de granéis sólidos demonstra uma movimentação crescente no país ao longo dos anos. Além disso, do ponto de vista do setor portuário, não se persegue a redução de seus insumos, como a diminuição de sua prancha média ou de seu número de atracações, por exemplo.

As medidas de eficiência apresentadas para ambos os casos são separadas em 4 (quatro) grupos distintos. Em primeiro lugar, é exibida a eficiência padrão (*padrão*), isto é, a medida de eficiência referente à fronteira clássica. Em segundo lugar, considera-se a eficiência invertida (*invertida*), que diz respeito à fronteira invertida (ou fronteira ineficiente). Em terceiro lugar, apresenta-se a eficiência composta (*composta*) que resulta de uma análise agregada, e, por fim, calcula-se a eficiência composta normalizada (*composta\**).

Assim, os resultados para o modelo com retornos constantes de escala podem ser encontrados na Tabela 6.4, onde três portos alcançaram a eficiência máxima padrão, a saber, Itaqui, Paranaguá e São Francisco do Sul, seguidos pelo Terminal de Uso Privativo de Cotegipe, em Salvador, que obteve eficiência padrão próxima do valor máximo. Com exceção dos Terminais de Uso Privativo do Porto do Rio Grande<sup>4</sup>, no entanto, a maior parte dos portos públicos e TUP's constituintes da amostra atingiu um nível de eficiência abaixo de 50%, indicando que, no geral, os portos marítimos que transportam granéis sólidos

<sup>2</sup>As variáveis indicadas pelo "Método Multicritério de Seleção de variáveis em DEA" são aquelas que apresentaram as maiores correlações com o produto escolhido, como mostra a Tabela 5.2.

<sup>3</sup>Prata et al. (2013) destacam os resultados satisfatórios propiciados pelo SIAD em trabalhos acadêmicos.

<sup>4</sup>Tendo em vista que os terminais de um determinado porto concorrem entre si, é necessário considerá-los como unidades autônomas (Kirchner, 2013). Ademais, optou-se por considerar apenas as informações de insumos relativas ao transporte de, especificamente, granéis sólidos.

no Brasil, em particular, açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo, poderiam melhorar, de forma significativa, o aproveitamento e utilização do porto e de seus recursos e insumos para movimentar cargas.

Nesse sentido, a análise dos alvos a partir das tabelas do Apêndice B, pode ser esclarecedora, pois indica os níveis de insumos e produtos que fariam com que uma DMU ineficiente se tornasse eficiente, devendo, no entanto, servirem como balizadores de longo prazo. No geral, os portos ineficientes em análise apresentam folgas em seus insumos, o que indica a existência de condições para que mais cargas sejam captadas, ou ainda, indicando que tais portos estariam superdimensionados em termos de seus insumos dada a quantidade de produto que foi obtida. De fato, Dowell (2007) já havia ressaltado que a maior parte dos portos ineficientes possui uma infra-estrutura superior à necessária. Nesse sentido, considerando a capacidade instalada nos portos ineficientes desta amostra, seria possível aumentar o transporte de granéis sólidos, como apontam, no geral, os resultados relacionados aos alvos a serem perseguidos pelo *output*, sempre maior, nesses casos, do que a quantidade de fato transportada. No entanto, as metas indicadas com respeito ao aumento de movimentação de carga devem ser analisadas com cautela. Isso porque deve existir uma previsão de demanda na região compatível com o incremento no transporte de granéis sólidos. Desse modo, os alvos, em questão, a serem perseguidos pelas unidades menos eficientes indicam não somente que se deve aumentar a movimentação de carga no longo prazo, mas também que devem ocorrer melhorias a partir dos *inputs*, tais como a modernização dos equipamentos ou a aquisição de equipamentos mais produtivos. Cabe destacar, entretanto, que a captação de cargas está relacionada, em muitos casos, com a localização geográfica (Acosta et al., 2011), pois existe vantagem comparativa quando o porto está localizado em pontos de acessos naturais com baixos custos de instalação e em pontos próximos aos locais de origem e destino das cargas (Coutinho et al., 2013).

Adicionalmente, a partir da projeção das unidades ineficientes na fronteira de eficiência, denominados *benchmarks* (Tabela 6.5), observa-se um indicativo das melhores práticas a serem perseguidas por cada um dos portos individualmente. O valor do *benchmark* da DMU Rio Grande - TUP Bianchini foi, por exemplo, de, aproximadamente, 36% da DMU Paranaguá - Cais Comercial.

Aqui, cabe destacar a preocupação comum de que não existiria uma meta a ser

Tabela 6.4: Eficiências - Modelo CCR

Porto/Terminal	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
Belém - TUP OCRIM	0.18	1	0.09	0.10
Cabedelo - Cais Público	0.23	0.80	0.21	0.24
Ilhéus - Cais Público	0.42	0.89	0.27	0.29
Imbituba - Cais Público	0.49	0.45	0.52	0.57
Itaqui - Cais Público	1	0.18	0.91	1
Fortaleza - Cais Público	0.37	0.52	0.42	0.47
Paranaguá - Cais Comercial	1	0.24	0.88	0.97
Rio de Janeiro - Cais Público	0.36	0.65	0.35	0.39
Rio Grande - TUP Ceval	0.73	0.70	0.51	0.56
Rio Grande - TUP Bianchini	0.59	0.558339	0.52	0.57
Rio Grande - TUP Termasa	0.54	0.37	0.59	0.65
Salvador - Cais Público	0.23	1	0.12	0.13
Salvador - TUP Cotegipe	0.91	0.25	0.83	0.91
São Francisco do Sul - Cais Público	1	0.19	0.91	0.99
Suape - Cais Público	0.32	0.62	0.35	0.39
Vitória - Cais Comercial e Cais de Capuaba	0.44	1	0.22	0.24

Tabela 6.5: *Benchmarks*

Porto/Terminal	Itaqui	Paranaguá	São Francisco do Sul
Belém - TUP OCRIM	0.06	0	0.04
Cabedelo - Cais Público	0.02	0	0.15
Ilhéus - Cais Público	0	0	0.07
Imbituba - Cais Público	0	0	0.17
Itaqui - Cais Público	1	0	0
Fortaleza - Cais Público	0.09	0.02	0.25
Paranaguá - Cais Comercial	0	1	0
Rio de Janeiro - Cais Público	0.27	0.02	0
Rio Grande - TUP Ceval	0.17	0.12	0
Rio Grande - TUP Bianchini	0	0.36	0
Rio Grande - TUP Termasa	0	0.03	0.41
Salvador - Cais Público	0	0.00	0.23
Salvador - TUP Cotegipe	0	0.10	0.26
São Francisco do Sul - Cais Público	0	0	1
Suape - Cais Público	0	0	0.23
Vitória - Cais Comercial e Cais de Capuaba	0	0	0.06

perseguida pelas DMUs eficientes, uma vez que já teriam, na teoria, atingido um nível máximo de eficiência. Isso se deve ao fato de a metodologia em questão realizar um cálculo de eficiência relativa, e não absoluta. Há de se destacar, no entanto, que esse cenário pode ser alterado, isto é, os portos considerados mais eficientes hoje podem perder suas posições de acordo com a atuação das DMUs consideradas ineficientes ao longo do tempo (Kirchner, 2013).

Para uma análise mais completa dos valores estimados, deve-se considerar também a fronteira invertida, onde as DMUs mais eficientes são aquelas com as melhores práticas nos critérios em que forem piores. Avaliando-se, então, a eficiência composta, que agrega os conceitos de fronteira padrão e invertida, tem-se, por um lado, que a eficiência composta

normalizada indica que o Porto de Itaqui foi o de melhor desempenho na amostra. Por outro lado, apesar de os Portos de Paranaguá e de São Francisco do Sul terem deixado de atingir a máxima eficiência quando se observa a eficiência invertida, o nível apresentado pela eficiência composta permanece consideravelmente alto, indicando que as DMUs em questão não seriam falsamente eficientes. Além disso, tais portos também aparecem como *benchmarks* para diversas DMUs ineficientes (Tabela 6.5).

Com relação aos portos mais eficientes, tem-se que o Porto do Itaqui é um porto marítimo público localizado na Baía de São Marcos, no município de São Luís, Maranhão. O início das atividades do porto datam de julho de 1974, sendo administradas hoje pela Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP (SEP/UFSC, 2012b). O porto movimenta em torno de 15 milhões de toneladas de carga por ano, sendo 52% granéis sólidos; 45% granéis líquidos e 3% entre cargas soltas e contêineres<sup>5</sup>. O Porto de Paranaguá, por sua vez, foi inaugurado em 1933 na margem sul da Baía de Paranaguá, no litoral do Paraná (SEP/UFSC, 2013). Constitui-se no maior porto graneleiro da América Latina e teve sua administração unificada em 1971, com a criação da Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA)<sup>6</sup>. Já o Porto de São Francisco do Sul foi estabelecido na parte leste da baía Babitonga, no litoral do Estado de Santa Catarina (SEP/UFSC, 2012a). Sua inauguração ocorreu em julho de 1955 e é hoje uma autarquia do Governo do Estado de Santa Catarina, operando mais da metade da movimentação portuária do Estado<sup>7</sup>.

Finalmente, apesar das ressalvas de Tongzon (2001), de Itoh (2002) e de Cullinane et al. (2005), de que o resultado da eficiência portuária dependeria do modelo DEA, cumpre destacar que análises empíricas recentes mostraram a inexistência de economias de escala nas atividades típicas de carga e descarga na indústria portuária, como referenciado em Coutinho et al. (2013)<sup>8</sup>. Nesse sentido, a despeito de existirem diferenças entre as escalas das DMUs deste estudo, de forma que, em modelos CCR, seria de se esperar que os maiores terminais fossem os mais eficientes e os menores os menos eficientes, os terminais e portos de maior escala não foram necessariamente os mais eficientes. Esse foi o caso, por exemplo, da DMU Rio Grande - TUP Bianchini, que, apesar de ser a terceira maior movimentadora de carga, apresentou apenas um nível de eficiência mediano

---

<sup>5</sup><http://www.portodoitaqui.ma.gov.br>

<sup>6</sup><http://www.portosdoparana.pr.gov.br>

<sup>7</sup><http://www.apsfs.sc.gov.br>

<sup>8</sup>Tovar e Ferreira (2006); Liu (2010); e Coutinho et al. (2012), além de já anteriormente Reker et al. (1990).

próximo a 60%; e da DMU Rio de Janeiro - Cais Público, que mesmo sendo um porto de destaque segundo ANTAQ (2013a), exibiu um baixo nível de eficiência, em torno de apenas 36%.

Não obstante o modelo mais indicado para este trabalho ser o de Retornos Constantes de Escala (CCR), apresenta-se na Tabela 6.6 o modelo de Retornos Variáveis de Escala (BCC), com um poder discriminatório mais baixo entre as eficiências. Desse modo, observa-se que um maior número de portos atingiu o nível máximo de eficiência - 6 (seis) terminais em um total de 16 (dezesesseis), além da maior parte da amostra ter atingido a fronteira de eficiência invertida, indicando que quase a totalidade das DMUs seriam falsamente eficientes. Por fim, nota-se que a eficiência normalizada indica uma baixa variabilidade entre as eficiências. De fato, Coutinho et al. (2012) já haviam ressaltado que a maior flexibilidade na função de produção nos modelos de retornos variáveis poderia prejudicar a interpretação econômica dos resultados, devido ao maior número de unidades produtivas na fronteira de eficiência.

Tabela 6.6: Eficiências - Modelo BCC

Porto/Terminal	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
Belém - TUP OCRIM	1	1	0.5	0.95
Cabedelo - Cais Público	0.39	0.99	0.20	0.37
Ilhéus - Cais Público	1	0.94	0.53	1
Imbituba - Cais Público	0.62	1	0.31	0.59
Itaqui - Cais Público	1	1	0.5	0.95
Fortaleza - Cais Público	0.45	1	0.22	0.43
Paranaguá - Cais Comercial	1	1	0.5	0.95
Rio de Janeiro - Cais Público	0.69	1	0.34	0.65
Rio Grande - TUP Ceval	0.93	1	0.47	0.88
Rio Grande - TUP Bianchini	0.74	1	0.37	0.70
Rio Grande - TUP Termasa	0.61	0.86	0.38	0.71
Salvador - Cais Público	0.37	1	0.18	0.35
Salvador - TUP Cotegipe	0.97	1	0.48	0.92
São Francisco do Sul - Cais Público	1	1	0.5	0.95
Suape - Cais Público	0.42	0.83	0.30	0.56
Vitória - Cais Comercial e Cais de Capuaba	1	1	0.5	0.95

## Conclusão

Tendo em vista que a maior parte das trocas estrangeiras são realizadas pelo mar (Gonzalez e Trujillo, 2008), os portos constituem um importante elo na cadeia logística e sua eficiência contribui para a competitividade de um determinado país em mercados internacionais. Adicionalmente, os portos sofreram, nos últimos anos, mudanças estruturais relevantes a partir do desenvolvimento do transporte de cargas em contêineres. Com isso, aumentou-se a capacidade de atracação e de estocagem, resultando em uma importância ainda maior da realização de operações portuárias eficientes.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi o de analisar a eficiência dos portos e terminais marítimos brasileiros por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). Uma vez que essa metodologia busca comparar Unidades de Decisão (DMU)'s que utilizam insumos semelhantes para produzir produtos similares, com tecnologias de produção também análogas, optou-se, então, pelo universo de grãos sólidos, em particular, açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo, devido à representatividade de tais cargas no Brasil.

Considerando a amostra escolhida de 16 (dezesesseis) DMUs, entre portos e terminais, utilizou-se a modelagem de Retornos Constantes de Escala (CCR) orientada a produto para o ano de 2014. De uma forma geral, verificou-se a existência de portos ineficientes no Brasil para a amostra em questão, em linha com estudos anteriores<sup>1</sup>. Para o universo de grãos sólidos, neste caso, de açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo, os portos mais eficientes foram: Itaqui, Paranaguá e São Francisco do Sul. Corrobora-se, ainda, a atuação dos portos com nível de eficiência máxima como *benchmarks* para os terminais ineficientes da amostra, sugerindo-se que as unidades menos eficientes deveriam não somente aumentar a movimentação de carga no longo prazo, mas também desenvolver melhorias em seus respectivos *inputs*.

Assim, o Brasil parece não apresentar um bom desempenho na operação de seus portos e terminais transportadores de açúcar, farelo de soja, milho, soja e trigo. Todavia,

---

<sup>1</sup>Coutinho et al. (2012) e Wanke (2013).

uma vez que a metodologia DEA considera eficiências relativas, atendo-se à amostra específica do estudo em questão, salienta-se a importância de um estudo comparativo dos portos transportadores de grãos sólidos para um maior número de DMUs, inclusive com a adição de outros países na amostra.

Destaca-se, porém, e, ainda tendo em vista as particularidades de cada base de dados, que a existência de ineficiência no setor portuário não parece ser um fenômeno exclusivo do Brasil, haja vista que Valentine e Gray (2001) chamaram a atenção para o fato de que apenas poucos portos entre os melhores da revista *Cargo Systems* atingiram níveis de eficiência elevados. Mais uma vez, ressalta-se que uma comparação das estimativas de eficiência para os portos brasileiros com portos de outros países seria de suma importância, pois permitiria avaliar a posição brasileira internacionalmente, além de identificar quais seriam as melhores práticas a serem seguidas pelos portos do Brasil.

Para estudos futuros, vislumbram-se, adicionalmente, análises DEA ao longo do tempo e em dois estágios. Isso permitiria, respectivamente, acompanhar a evolução das eficiências ao longo do tempo e explicar, mais detalhadamente, os fatores que influenciam a eficiência dos terminais portuários transportadores das principais cargas no Brasil, i.e., grãos sólidos, por meio de uma regressão com a eficiência como variável dependente e com variáveis contextuais independentes<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup>Entende-se por variáveis contextuais os fatores prováveis a afetar a eficiência (Tabak et al., 2009).



## Referências Bibliográficas

- ACOSTA, C.; SILVA, A. da; LIMA, M. de. Aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) para medir eficiência em portos brasileiros. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 5, n. 4, p. 88–102, 2011.
- ANTAQ. Boletim anual de movimentação de cargas. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. 2013.
- ANTAQ. SIG acesso público: Manual do usuário. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. 2013.
- ANTAQ. Informativo semestral - navegação marítima e de apoio. Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 01/2014. 2014.
- BNDES. Análise e avaliação da organização institucional e da eficiência de gestão do setor portuário brasileiro. Relatório Consolidado, Volume II, 1a Edição, 2012.
- COOPER, W.; SEIFORD, L.; K.TONE. Introduction to Data Envelopment Analysis and its uses - with DEA solver software and references. Springer, 2005.
- COUTINHO, P. et al. Modelos de estrutura do setor portuário para análise da concorrência. *Economics and Politics Working Paper 24/2013*, 2013.
- COUTINHO, P. et al. Estudo comparativo das estruturas de custos e avaliação de projetos/investimentos entre terminais portuários de uso público e terminais portuários de uso privativo misto. Universidade de Brasília, 2012.
- CULLINANE, K.; JI, P.; WANG, T. The relationship between privatization and DEA estimates of efficiency in the container port industry. *Journal of Economics and Business*, v. 57, n. 5, p. 433–462, 2005.
- CULLINANE, K.; WANG, T. Chapter 23 Data Envelopment Analysis (DEA) and improving container port efficiency. *Research in Transportation Economics*, v. 17, n. 1, p. 517–566, 2006.
- CUNHA, B.; MELLO, J. de; MEZA, L. Implementação computacional de seleção de variáveis em DEA: um estudo de caso em avaliação educacional. Universidade Federal Fluminense, RJ, Brasil. 2006.
- DOWELL, F. Uma aplicação do método de Data Envelopment Analysis - DEA para medir a eficiência operacional dos terminais de contêineres. *eGesta*, v. 3, n. 3, p. 105–128, 2007.
- ESTACHE, A.; RUS, G. D. Privatization and regulation of transport infrastructure: Guidelines for policymakers and regulators. *WBI Development Studies*, 2000.

- FERREIRA, C.; GOMES, A. Introdução à Análise Envoltória de Dados: Teoria, modelos e aplicações. UFV, 2009.
- FONTES, O. Avaliação da eficiência portuária através de uma modelagem DEA. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense. 2006.
- GOLDBERG, D. Regulação do setor portuário no Brasil: análise do novo modelo de concessão de portos organizados. Dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- GONZALEZ, M.; TRUJILLO, L. Reforms and infrastructure efficiency in Spain's container ports. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 42, n. 1, p. 243–257, 2008.
- HERRERA, S.; PANG, G. Efficiency of infrastructure: The case of container ports. *Revista Economia*, v. 9, n. 1, p. 165–194, 2008.
- ITOH, H. Efficiency changes at major container ports in Japan: A window application of DEA. *Review of Urban & Regional Development Studies*, v. 14, n. 2, p. 133–152, 2002.
- KIRCHNER, L. Avaliação da eficiência dos terminais de contêineres através da Análise Envoltória de Dados e do Índice de Malmquist. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. 2013.
- KOOPMANS, T. Analysis of production as an efficient combination of activities. ed., *Activity Analysis of Production and Allocation* (New York: John Wiley & Sons), 1951.
- LIU, Q. Efficiency analysis of container ports and terminals. Doctorate Thesis. University College London, 2010.
- MARCHETTI, D.; PASTORI, A. Dimensionamento do potencial de investimentos para o setor portuário. *BNDES*, 2009.
- MARTINEZ-BUDRIA, E. et al. 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, 1999.
- MELLO, J. et al. Curso de análise de envoltória de dados. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, SBPO, 2005.
- MERK, O.; DANG, T. Efficiency of world ports in container and bulk cargo (oil, coal, ores and grain). OECD Regional Development Working Papers, 2012/09, OECD Publishing, 2012.
- MEZA, L. et al. Free software for decision analysis: a software package for data envelopment models. *7th Internacional Conference on Enterprise Information Systems - ICEIS*, v. 2, p. 207–212, 2005.
- MEZA, L. et al. ISYDS - integrated system for decision support (SIAD) - sistema integrado de apoio à decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 3, p. 493–503, 2005.
- NETO, C. et al. Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do PAC: Mapeamento IPEA de obras portuárias. *IPEA*, 2009.

- NGUYEN, H. Port competition: The chain approach. *First International Workshop on Port Economics*, University of Singapore, Singapore, 2011.
- PERNI, P. Infraestrutura e superestrutura portuárias. *Seminário do Setor Portuário*, ANTAQ, 2013.
- PINHEIRO, B. Operação portuária. *Seminário do Setor Portuário*, ANTAQ, 2013.
- PRATA, B. et al. Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: Estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil. *Journal of Transport Literature*, v. 7, n. 4, p. 75–106, 2013.
- REKER, R.; CONELL, D.; ROSS, D. The development of a production function for a container terminal in the port of meulbourne. *Papers of the Australasian Transport Research Forum 15*, p. 209-218, 1990.
- ROLL, Y.; HAYUTH, Y. Port performance comparison applying DEA. *Maritime Policy and Management*, v. 20, n. 2, p. 153–161, 1993.
- SEP/UFSC. Plano Mestre - Porto de São Francisco do Sul. Cooperação SEP/PR - UFSC, 2012.
- SEP/UFSC. Plano Mestre - Porto do Itaqui. Cooperação SEP/PR - UFSC, 2012.
- SEP/UFSC. Plano Mestre - Porto de Paranaguá. Cooperação SEP/PR - UFSC, 2013.
- SERRANO, M. Eficiencia en la provision de servicios de infraestructura portuaria: una aplicacion al trafico de contenedores en Espana. *United Nations Conference on Trade and Development*, 2004.
- SILVA, C.; OLIVEIRA, D. Nota descritiva. Medida Provisória n. 595, de 2012. Consultoria Legislativa. Câmara dos Deputados. Brasília. 2013.
- TABAK, B.; CRAVEIRO, G.; CAJUEIRO, D. Eficiência bancária e inadimplência: testes de causalidade. *Relatório de Economia Bancária e Crédito*, BACEN, 2009.
- THOMPSON, L.; BUDIN, K. Global trend to railway concessions delivering positive results. *Public Policy for the Private Sector 134*, World Bank, 1997.
- TONGZON, J. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 35, n. 2, p. 107–122, 2001.
- TOVAR, A.; FERREIRA, G. A infra-estrutura portuária brasileira: O modelo atual e perspectivas para o seu desenvolvimento sustentado. *Revista do BNDES*, v. 13, n. 25, p. 209–230, 2006.
- TRUJILLO, L.; NOMBELA, G. Privatization and regulation of the seaport industry. Working Paper, The World Bank, 1999.
- TURNER, H.; WINDLE, R.; DRESNER, M. North american containerport productivity: 1984-1997. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 40, n. 4, p. 339–356, 2004.

UDERMAN, S.; ROCHA, C.; CAVALCANTE, L. Modernização do sistema portuário no Brasil: Uma proposta metodológica. *Journal of Transport Literature*, v. 6, n. 1, p. 221–240, 2012.

VALENTINE, V.; GRAY, R. The measurement of port efficiency using Data Envelopment Analysis. Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, 22-27 July, Seoul, South Korea, 2001.

WANG, T.; SONG, D.-W.; CULLINANE, K. The applicability of Data Envelopment Analysis to efficiency measurement of container ports. Proceedings of the International Association of Maritime Economists Conference, 2002.

WANKE, P. Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: A two-stage network-DEA approach. *Transport Policy*, v. 29, n. C, p. 145–153, 2013.

WORLD BANK. Port reform toolkit. World Bank Institute, 2003.

WORLD BANK. Reforming infrastructure: Privatization, regulation and competition. *World Bank Policy Research Report*, Oxford University Press, 2004.

WORLD BANK. The evolution of ports in a competitive world. *Port Reform Toolkit, Second Edition*, 2007.

WU, Y.; GOH, M. Container port efficiency in emerging and more advanced markets. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 46, n. 6, p. 1030–1042, 2010.

# Apêndice A

Figura 6.1: Cais



Figura 6.2: Píer



Figura 6.3: *Dolphin*



Figura 6.4: Molhe



Figura 6.5: Quebra-mar



Figura 6.6: Ponte de Acesso



Figura 6.7: Armazém

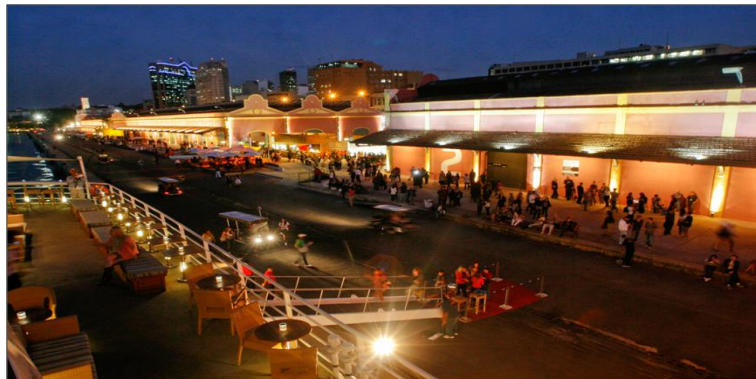


Figura 6.8: Silo



Figura 6.9: Tanque



Figura 6.10: Granel Sólido



Figura 6.11: Granel Sólido





Figura 6.12: Granel Líquido



Figura 6.13: Carga Geral Solta (*neo-bulk*)



Figura 6.14: Carga Geral Solta



Figura 6.15: Carga Geral Containerizada



## Apêndice B

Tabela 6.1: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Belém - TUP OCRIM

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	8	8	0	8
prancha média	8	8	4.703248	3.296752
consignação média	10,652.10	10,652.10	4,925.11	5,726.99
capacidade estática	16,000.00	16,000.00	0	16,000.00
total de carga bruta	85,216.83	469,118.91	0	469,118.91

Tabela 6.2: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Cabedelo - Cais Público

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	17	17	0	17
prancha média	16.999999	16.999999	10.205431	6.794568
consignação média	13,654.51	13,654.51	3,832.78	9,821.73
capacidade estática	54,800.00	54,800.00	0	54,800.00
total de carga bruta	232,126.68	1,003,490.59	0	1,003,490.59

Tabela 6.3: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Ilhéus - Cais Público

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	8	8	0	8
prancha média	3.85756	3.85756	0.678384	3.179176
consignação média	25,000.97	25,000.97	20,582.24	4,418.72
capacidade estática	50,000.00	50,000.00	22,411.21	27,588.79
total de carga bruta	200,007.74	472,803.31	0	472,803.31

Tabela 6.4: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Imbituba - Cais Público

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	18	18	0	18
prancha média	13.59102	13.59102	6.437873	7.153147
consignação média	28,986.30	28,986.30	19,044.18	9,942.13
capacidade estática	90,000.00	90,000.00	27,925.23	62,074.77
total de carga bruta	521,753.43	1,063,807.45	0	1,063,807.45

Tabela 6.5: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Itaqui - Cais Público

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	65	65	0	65
prancha média	27.829075	27.829075	0	27.829075
consignação média	58,137.05	58,137.05	0	58,137.05
capacidade estática	27,200.00	27,200.00	0	27,200.00
total de carga bruta	3,778,908.22	3,778,908.22	0	3,778,908.22

Tabela 6.6: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Fortaleza - Cais Público

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	41	41	0	41
prancha média	40.999995	40.999995	26.05225	14.947745
consignação média	20,749.27	20,749.27	0	20,749.27
capacidade estática	118,350.00	118,350.00	0	118,350.00
total de carga bruta	850,720.21	2,293,069.29	0	2,293,069.29

Tabela 6.7: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Paranaguá - Cais Comercial

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	437	437	0	437
prancha média	97.072789	97.072789	0	97.072789
consignação média	44,830.79	44,830.79	0	44,830.79
capacidade estática	1,250,000.00	1,250,000.00	0	1,250,000.00
total de carga bruta	19,591,055.51	19,591,055.51	0	19,591,055.51

Tabela 6.8: Resultado dos alvos obtidos para o Porto do Rio de Janeiro - Cais Público

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	30	30	4.37029	25.62971
prancha média	29.999999	29.999999	20.710069	9.28993
consignação média	16,453.99	16,453.99	0	16,453.99
capacidade estática	30,677.00	30,677.00	0	30,677.00
total de carga bruta	493,619.78	1,381,316.96	0	1,381,316.96

Tabela 6.9: Resultado dos alvos obtidos para o Porto do Rio Grande - TUP Ceval

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	145	145	80.860853	64.139147
prancha média	51.169108	51.169108	34.689031	16.480077
consignação média	15,161.24	15,161.24	0	15,161.24
capacidade estática	157,000.00	157,000.00	0	157,000.00
total de carga bruta	2,198,379.84	3,019,613.83	0	3,019,613.83

Tabela 6.10: Resultado dos alvos obtidos para o Porto do Rio Grande - TUP Bianchini

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	204	204	48.20016	155.79984
prancha média	34.608524	34.608524	0	34.608524
consignação média	20,300.31	20,300.31	4,317.18	15,983.14
capacidade estática	1,000,000.00	1,000,000.00	554,348.28	445,651.72
total de carga bruta	4,141,263.73	6,984,630.01	0	6,984,630.01

Tabela 6.11: Resultado dos alvos obtidos para o Porto do Rio Grande - TUP Termasa

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	59	59	0	59
prancha média	20.779281	20.779281	0	20.779281
consignação média	30,024.73	30,024.73	4,280.99	25,743.74
capacidade estática	220,000.00	220,000.00	25,483.72	194,516.28
total de carga bruta	1,771,459.24	3,269,769.37	0	3,269,769.37

Tabela 6.12: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Salvador - Cais Público

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	25	25	0	25
prancha média	24.999999	24.999999	15.122238	9.877761
consignação média	13,661.81	13,661.81	0	13,661.81
capacidade estática	370,000.00	370,000.00	283,976.89	86,023.11
total de carga bruta	341,545.35	1,472,856.08	0	1,472,856.08

Tabela 6.13: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Salvador - TUP Cotegipe

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	74	74	0	74
prancha média	21.364634	21.364634	0	21.364634
consignação média	45,737.22	45,737.22	25,503.06	20,234.16
capacidade estática	350,000.00	350,000.00	121,795.44	228,204.56
total de carga bruta	3,384,554.57	3,718,601.68	0	3,718,601.68

Tabela 6.14: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de São Francisco do Sul - Cais Público

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	107	107	0	107
prancha média	42.521482	42.521482	0	42.521482
consignação média	59,100.41	59,100.41	0	59,100.41
capacidade estática	369,000.00	369,000.00	0	369,000.00
total de carga bruta	6,323,744.26	6,323,744.26	0	6,323,744.26

Tabela 6.15: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Suape - Cais Público

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	25	25	0	25
prancha média	13.302291	13.302291	3.367365	9.934926
consignação média	18,936.52	18,936.52	5,128.01	13,808.51
capacidade estática	160,000.00	160,000.00	73,785.05	86,214.95
total de carga bruta	473,413.00	1,477,510.34	0	1,477,510.34

Tabela 6.16: Resultado dos alvos obtidos para o Porto de Vitória - Cais Comercial e Cais de Capuaba

Variável	Atual	Radial	Folga	Alvo
quantidade de atracções	7	7	0	7
prancha média	7	7	4.218221	2.781779
consignação média	26,174.24	26,174.24	22,307.86	3,866.38
capacidade estática	110,000.00	110,000.00	85,859.81	24,140.19
total de carga bruta	183,219.69	413,702.90	0	413,702.90