

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**COMPETITIVIDADE PORTUÁRIA E EFICIÊNCIA
TÉCNICA: UMA APLICAÇÃO UTILIZANDO FRONTEIRAS
DE PRODUÇÃO E REGRESSÃO BETA INFLACIONADA**

TESE SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE DOUTOR
POR

ALEXANDRA MARIA RIOS CABRAL
Orientador: Prof. Francisco de Sousa Ramos, PhD

RECIFE, DEZEMBRO / 2014

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

C117c

Cabral, Alexandra Maria Rios.

Competitividade portuária e eficiência técnica: uma aplicação utilizando fronteiras de produção e regressão beta inflacionada / Alexandra Maria Rios Cabral. - Recife: O Autor, 2014.

108 folhas, il., tabs.

Orientadora: Prof. Francisco de Sousa Ramos.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós- graduação em Engenharia de Produção, 2014.

Inclui Referências.

1. Engenharia de produção. 2. Terminal de container. 3. Eficiência técnica. 4. Regressão beta inflacionada. 5. Análise de cluster I. Ramos, Francisco de Sousa. (Orientador). II. Título.

658.5 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2015-03

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE DE
DOUTORADO DE**

ALEXANDRA MARIA RIOS CABRAL

**“COMPETITIVIDADE PORTUÁRIA E EFICIÊNCIA TÉCNICA:
UMA APLICAÇÃO UTILIZANDO FRONTEIRAS DE PRODUÇÃO E
REGRESSÃO BETA INFLACIONADA”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato ALEXANDRA MARIA RIOS CABRAL .

Recife, 03 de dezembro de 2014.

Prof. FRANCISCO DE SOUSA RAMOS, PhD (UFPE)

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA FILHO, Dr (UFPE)

Profª. ANA PAULA CABRAL SEIXAS COSTA, Dr (UFPE)

Prof. IGNÁCIO TAVARES DE ARAÚJO JÚNIOR, Dr. (UFPB)

Prof. BRENO RAMOS SAMPAIO, PhD (UFPE)

AOS MEUS QUERIDOS PAIS, CYRO E NADIA, E MINHA FILHA ELISA
COM AMOR E CARINHO

AGRADECIMENTOS

- ❖ A Deus, por ter me dado forças em todas as fases em que precisei Dele e pelas pessoas que Ele colocou em meu caminho;
- ❖ Ao meu orientador professor Francisco de Sousa Ramos que sempre acreditou na minha capacidade e me estimulou com suas ideias, compreensão, paciência e dedicação, apesar de todos os seus afazeres acadêmicos. Muito obrigada por todo o aprendizado e por poder compartilhar da experiência de alguém ao mesmo tempo tão competente e tão humano;
- ❖ À minha filha Elisa, razão do meu viver, pela sua companhia e pelo eterno aprendizado de como ser uma melhor mãe e pessoa a cada dia de nosso convívio;
- ❖ Aos meus pais Cyro (que Deus o tenha em boas mãos) e Nadia que sempre investiram em mim e me apoiaram em todos os momentos felizes ou tristes por que passei ao longo de minha vida;
- ❖ Aos meus irmãos Cydia, Cyro, Claudia e Vilma e minha querida Kátia Betina pela força e conselhos dados tanto na minha vida pessoal como profissional;
- ❖ Aos amigos que aqui estabeleci em razão das aulas de doutorado: Ísis, Marcella, Thalles, Rodrigo, Angélica e Alessandra. Vocês são mais que possíveis futuros elos dentro de minha carreira acadêmica. Vocês me permitiram amar esta cidade como se fosse a minha cidade. Jamais me esquecerei de nenhum de vocês;
- ❖ Aos amigos que agreguei por conta da minha moradia em Recife, em especial, Alex Demóstene, Gracemerce Camboim e Eliane Abreu que não me deixaram sentir-se só e que muito me acompanharam ao longo dessa jornada;
- ❖ Aos professores do Departamento de Engenharia de Produção da UFPE e ao professor Francisco Cribari do Departamento de Estatística pelos conhecimentos tão bem transmitidos;
- ❖ À Universidade Federal de Alagoas e companheiros de trabalho da FEAC (Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade) que me apoiaram financeiramente e me liberaram de minhas atividades de docência para dedicar-me exclusivamente a este Doutorado;
- ❖ A Barbara e Juliane, secretárias extremamente eficientes e organizadas, pelas orientações e dicas para melhor conduzir o meu curso;
- ❖ À CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.
- ❖ Aos participantes da pré-banca e banca examinadora pelas valorosas sugestões.

RESUMO

O objetivo geral desta tese é fornecer instrumentos de análise e comparação de competitividade e de eficiências técnicas aos gestores de portos e terminais públicos ou privados interessados em aumentar a qualidade de seus serviços. Para tal, este trabalho foi subdividido em três partes. A primeira procurou classificar 17 terminais brasileiros em diferentes grupos a partir de oito critérios de seleção, realizando-se uma análise de cluster hierarquizada que possibilitou a formação de 03 grupos distintos entre si. Feito isso, na segunda parte, partiu-se para a mensuração de escores de eficiências técnicas utilizando-se do método de envelopamento de dados (DEA) e da técnica *free disposal hull* (FDH) para também obter as metas e os principais benchmarks. Como principais resultados, ficou mostrado que o cais público do porto de Belém e os terminais Tecon e Tecondi do porto de Santos foram apontados como principais *benchmarks*. Na terceira parte, trabalhou-se com modelos de regressão beta inflacionadas em *um* para investigar o impacto de alguns fatores apontados como relevantes na mensuração da eficiência calculada anteriormente. As regressões estimadas tiveram um excelente ajuste com pseudo R^2 superiores a 0,66 e foi observado que se faz relevante aumentar a movimentação de contêineres desde que de uma forma mais distribuída entre o norte e sul brasileiro, fazendo com que os portos do sul-sudeste não sejam os únicos a liderar o mercado neste segmento. Com uma distribuição geográfica mais equitativa deste tipo de carga, o incremento da taxa de consignação dos terminais do norte e nordeste sofreriam incrementos imediatos. Por fim, propõe-se estudar novas formas de diminuir as filas de navios a espera do seu atracamento, aumentando, assim, a competitividade brasileira com a redução do custo do frete marítimo.

Palavras Chave: DEA, FDH, terminal de container, portos brasileiros, eficiência técnica, eficiência portuária, regressão beta inflacionada, análise de cluster.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to provide analytical tools and comparison of competitiveness and efficiency techniques to managers of ports and Public or Private terminals interested in significantly increasing the quality of their services. To this end this work was sub-divided into three parts. The first classified 17 Brazilian terminals into distinct groups, from eight selection criteria of competitiveness performing a hierarchical cluster analysis which allowed the formation of 03 different groups from each other. That done, we went to the measurement of technical efficiency scores using the method of data envelopment (DEA) technique and the free disposal hull (FDH) to also get the goals and key benchmarks. The main results was shown that the public pier at the port of Belém and the terminal Tecondi from the port of Santos were identified as key benchmarks. In the third part we worked with inflated beta regression models to investigate the impact of some factors mentioned as relevant in measuring the efficiency measured previously. The estimated regressions had an excellent fit with pseudo R^2 greater than 0.66 and it was observed that is relevant increase container handling since a more distributed form between northern and southern Brazil, leaving the south-southeast ports as not the only ones to lead the market in this segment. With a more equitable geographical distribution of this type of load, increased consignment rate of North-Northeast terminals would suffer immediate increments. Finally, we proposed studying new ways to reduce the waiting ships queues of your docking, thus increasing the Brazilian competitiveness by reducing the cost of sea freight.

Key words: DEA, FDH, container terminal, Brazilian ports, technical efficiency, port efficiency, inflated beta regression, cluster analysis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	2
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	2
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3 ESTRUTURA DA TESE.....	3
2 COMPETITIVIDADE PORTUÁRIA ENTRE OS TERMINAIS DE CONTÊINERES BRASILEIROS.....	6
2.1 INTRODUÇÃO.....	6
2.2 REVISÃO DA LITERATURA.....	8
2.3 METODOLOGIA.....	13
2.3.1 <i>Definição dos critérios de seleção de competitividade portuária escolhidos</i>	14
2.3.2 <i>Localização dos terminais selecionados</i>	16
2.3.3 <i>Análise de clusters</i>	18
2.4 RESULTADOS EMPÍRICOS E ANÁLISES.....	19
2.5 CONCLUSÕES.....	27
3 TERMINAIS DE CONTÊINERES BRASILEIROS: EFICIÊNCIA PORTUÁRIA UTILIZANDO OS MÉTODOS DEA E FDH.....	30
3.1 INTRODUÇÃO.....	30
3.2 REVISÃO DA LITERATURA.....	32
3.3 METODOLOGIA.....	34
3.3.1 <i>Modelagem DEA e FDH</i>	34
3.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO DEA PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA PORTUÁRIA.....	41
3.4.1 <i>Modelos propostos</i>	44
3.5 RESULTADOS EMPÍRICOS E ANÁLISES.....	46
3.5.1 <i>Investigação sobre as relações entre porte, especialização e localização geográfica de um terminal com a sua eficiência técnica</i>	49
3.5.2 <i>Economias de escala</i>	51
3.5.3 <i>Folgas e valores projetados</i>	52
3.5.4 <i>Principais Benchmarks</i>	56
3.6 CONCLUSÕES.....	58
4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA PORTUÁRIA UTILIZANDO A REGRESSÃO BETA INFLACIONADA.....	60
4.1 INTRODUÇÃO.....	60

4.2	REVISÃO DA LITERATURA.....	61
4.3	METODOLOGIA.....	64
	4.3.1 Modelagem DEA e FDH.....	64
	4.3.2 Regressão beta inflacionada.....	65
4.4	MODELOS PROPOSTOS.....	69
	4.4.1 Sinais esperados para os parâmetros $\hat{\rho}_i$ na regressão beta inflacionada para obtenção dos escores estimados $(\hat{\eta}_{1t}, \hat{\eta}_{4t})$	73
4.5	RESULTADOS EMPÍRICOS E ANÁLISES.....	75
	4.5.1 Eficiências obtidas por modelagem DEA-BCC e FDH.....	76
	4.5.1.1 Modelos estimados.....	76
	4.5.1.2 Diagnóstico dos modelos.....	79
	4.5.1.3 Interpretação dos modelos.....	80
4.6	CONCLUSÕES.....	88
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....		90
5.1	CONCLUSÕES.....	90
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		95
APÊNDICES		101

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Localização dos portos públicos marítimos do Brasil.....	17
Figura 2.2 - Dendograma com grupos obtidos.....	20
Figura 2.3 - Percentual da carga em contêineres em relação ao total movimentado, 2010.....	22
Figura 2.4 - Evolução da prancha média de contêineres.....	26
Figura 3.1 - Método FDH de construção da fronteira de produção.....	40
Figura 3.2 - Formas alternativas de construção da fronteira de produção não-paramétricas.....	41
Figura 3.3 - Eficiência técnica x competitividade.....	48
Figura 3.4 - Localização dos portos organizados brasileiros.....	49
Figura 4.1 - Histogramas de frequências e gráficos Box-plot das eficiências portuárias para as modelagens DEA-CCR, DEA-BCC e FDH.....	73
Figura 4.2 – Gráfico de resíduos do modelo beta inflacionado para a eficiência sob DEA-BCC e FDH....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Variáveis utilizadas na medição da eficiência técnica em portos no Brasil.....	12
Tabela 2.2 - Critérios de seleção para medir a competitividade portuária - variáveis analisadas.....	15
Tabela 2.3 - Resumo estatístico para a amostra (n = 17 terminais).....	16
Tabela 2.4 - Terminais por grupos formados.....	20
Tabela 2.5 - Valores médios dos critérios de seleção de competitividade por grupos.....	20
Tabela 2.6 - 10 maiores portos de contêineres brasileiros, 2010.....	25
Tabela 2.7- Quantidade e percentuais de containeres movimentados segundo grupos formados, 2009....	25
Tabela 3.1 - Modelos envelopados DEA-CCR e DEA-BCC.....	39
Tabela 3.2 - Resumo estatístico para a amostra (n = 25 DMUs).....	44
Tabela 3.3 - Eficiência dos terminais para os modelos DEA-CCR, DEA-BCC e FDH (terminal eficiente = 1; terminal ineficiente < 1).....	47
Tabela 3.4 - Terminais apontados como <i>benchmarks</i> pela modelagem BCC e FDH.....	56
Tabela 3.5 - Posição do terminal de TECONDI do Porto de Santos/SP como benchmark.....	57
Tabela 3.6 - Posição do Cais Público do Porto de Belém/PA como benchmark.....	57
Tabela 3.7 - Posição do terminal TVV do Porto de Vitória/ES como benchmark.....	57
Tabela 4.1 - Variáveis dependentes e independentes investigadas.....	72
Tabela 4.2 - Correlação de <i>Spearman</i> para as variáveis escolhidas na modelagem <i>DEA-BCC e FDH</i>	74
Tabela 4.3 - Sinais esperados para as variáveis independentes nas regressões beta inflacionadas ($\hat{\eta}_{1t}, \hat{\eta}_{4t}$).....	75
Tabela 4.4 - Estimativas dos parâmetros, desvios padrão e <i>p-valores</i> (<i>DEA-BCC e FDH</i>).....	77
Tabela 4.5 - Mudanças na eficiência portuária (<i>DEA-BCC</i>) devido ao acréscimo $c = 1$ na variável <i>dummy DCEO</i> somente para terminais ineficientes e onde $DCEO = 0$	84
Tabela 4.6 - Mudanças na eficiência portuária (<i>DEA-BCC</i>) devido ao acréscimo $c = 1$ na variável <i>dummy DESP</i> somente para terminais ineficientes e onde $DESP = 0$	85
Tabela 4.7 - Mudanças na eficiência portuária (<i>FDH</i>) devido ao acréscimo $c = 1$ na variável <i>dummy DESP</i> somente para terminais ineficientes e onde $DESP = 0$	87
Tabela A.1 – Alvos para uma DMU ineficiente se tornar eficiente (modelagem <i>CCR</i>).....	101
Tabela A.2 – Alvos para uma DMU ineficiente se tornar eficiente (modelagem <i>BCC</i>).....	103
Tabela B.1 – Simulações realizadas com escores de eficiência admitindo retornos variáveis de escala (<i>DEA-BCC</i>).....	105
Tabela B.2 – Simulações realizadas com escores de eficiência com modelagem <i>Free Disposal Hull</i> (<i>FDH</i>).....	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Mensuração de eficiência portuária: o uso de modelos DEA.....	36
Quadro 3.2 – Alvos para uma DMU ineficiente se tornar eficiente (modelagem FDH).....	54
Quadro 4.1 – Resumo do impacto sobre a eficiência DEA-BCC e FDH.....	87

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o transporte marítimo funciona como elemento-chave de interligação entre os modais marítimos e terrestres, bem como com outras nações, sendo crucial ao desenvolvimento do comércio exterior de qualquer país pelo grande potencial de movimentação de cargas.

O Brasil, com seus 7.408 km de fronteira com o oceano Atlântico, utiliza-se largamente deste modal e mais de 90% de suas exportações são escoadas através de seus portos. Para se ter uma vaga noção disso, somente em 2010, 489,6 milhões de toneladas foram exportadas e escoadas através do modal marítimo, e, destes, os contêineres corresponderam por cerca de 14,4% do total das exportações brasileiras movimentando 34 milhões de toneladas de produtos.

De uma maneira geral, a partir, principalmente, do ano de 2000, o transporte aquaviário obteve um extraordinário crescimento impulsionado principalmente pelo aumento das exportações. Tendo como base os dados oficiais de exportação da OMC (Organização Mundial do Comércio), a expansão do comércio mundial foi de 136% no período 2000-2010 e, para tanto, foi essencial um grande esforço no intuito de aumentar o desempenho dos principais portos e terminais brasileiros no que tange a qualidade dos serviços, redução de custos, aumento da produtividade, etc.

1.1 Justificativa

Neste cenário de crescimento, o Brasil ainda sofre com precários acessos por terra e por mar, principais problemas apontados para os portos brasileiros. O acesso rodoviário é considerado como o mais grave de todos em virtude da baixa qualidade de manutenção das rodovias do país, da indisponibilidade de vias expressas que facilitem o acesso ao porto. Esses problemas são agravados pela carência de áreas de estacionamento e pelo crescente urbano ao redor da área portuária, o que gera o aumento do tráfego nas cidades.

Sobre o acesso marítimo, pode-se citar os problemas de obstrução por areia ou por sedimentos quaisquer nos canais portuários, geralmente em consequência de redução da correnteza, e a baixa profundidade dos canais de acesso em vários portos limitando o porte dos navios que podem se utilizar do porto.

Além desses, pode-se citar outros problemas relacionados à disponibilidade de espaço para armazenamento de mercadorias, que já chegou ao seu limite, e provoca grandes engarrafamentos de caminhões do lado de fora dos portos, utilizados muitas vezes como armazéns móveis. O produtor de commodities é afetado diretamente pela ausência de uma política de armazenagem, pois tem que vender o seu produto na época da safra pelo menor preço, deixando de vendê-lo na entressafra por um preço maior.

É comum ainda a formação de filas nas áreas próximas aos portos bem como filas de navios à espera de atracamento para escoarem suas mercadorias. A burocracia aduaneira e fiscal (baixa eficiência no processo de liberação ou desembarço de transações nas alfândegas) também dificulta o processo de embarque e desembarque de mercadorias no porto, contribuindo ainda mais para o tempo de espera desses caminhões e dos navios.

Vale ainda mencionar a precária qualidade dos serviços portuários oferecidos aos usuários dos portos; ou problemas relacionados à gestão dos portos e legislação vigente. Tudo isso leva os portos a apresentarem menores ganhos de escala e perda de produtividade.

Há, portanto, grande necessidade, para a economia brasileira, de diminuir esses gargalos, e aproveitar o cenário de crescimento de mercadorias por transporte marítimo incrementando as suas exportações. Para tanto, precisa de portos eficientes e eficazes, bem localizados, e com capacidade suficiente para atender às suas necessidades de transporte (AEB, 2012).

1.2 Objetivos do Trabalho

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese é fornecer instrumentos de comparação e de eficiência aos gestores públicos e privados de portos e terminais públicos ou privados interessados em aumentar cada vez mais a sua eficácia e a qualidade de seus serviços, permitindo um melhor escoamento dos produtos em contêineres através de portos marítimos ou fluviais e uma maior competitividade.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os terminais que movimentaram contêineres no Brasil, em 2009, em grupos distintos entre si segundo critérios de competitividade;
- Mensurar a eficiência técnica dos terminais, calcular as folgas nos *inputs* e *outputs* portuários e principais *benchmarks*;
- Determinar se existe relação entre o grau de especialidade, porte e localização geográfica dos terminais com a sua eficiência técnica;
- Estimar o impacto de algumas variáveis no incremento na eficiência técnica;
- Oferecer ao gestor instrumental de análise para uma tomada de decisão mais pontual e adequada caso a caso.

1.3 Estrutura da Tese

Esta tese é constituída de cinco capítulos basicamente. Os capítulos 2, 3 e 4 possuem objetivos distintos e bem definidos. Mesmo assim, todos estarão interligados para uma melhor compreensão do todo. O capítulo 2 traz uma introdução sobre competitividade portuária e uma proposta de classificação de terminais portuários que movimentaram contêineres em grupos distintos entre si de acordo com seus graus de competitividade. Ao todo, oito critérios de seleção foram escolhidos e agrupados de acordo com 04 (quatro) dos componentes de competitividade, conforme proposto por Meza *et al.* (2007).

A técnica utilizada para formação dos grupos foi uma análise de cluster hierárquica aplicada a 17 terminais portuários brasileiros. Esse capítulo permite uma compreensão inicial de que variáveis dispõe o pesquisador interessado em estudar os portos e terminais brasileiros e também oferece uma boa noção da variabilidade de carga movimentada e de vários outros indicadores disponíveis. Por conta disso, a classificação proposta torna a caracterização dos terminais mais fácil e menos repetitiva.

No capítulo 3 é introduzida como ferramenta de trabalho a análise de envelopamento de dados (DEA) e a *free disposal hull* (FDH). O modelo DEA-CCR foi concebido por Charnes *et al.* (1978) e considera retornos constantes de escala de produção. Anos mais tarde, Banker *et al.* (1984) desenvolveram o DEA-BCC, presumindo retornos variáveis, (também conhecido como modelo VRS – *Variable Returns to Scale*). Já o modelo não-paramétrico FDH foi elaborado por Deprins *et al.* (2006), desconsiderando a condição de convexidade.

Utilizando-se de tais modelagens, três modelos foram construídos (DEA-CCR, DEA-BCC e FDH) com informações dos mesmos 17 terminais estudados no capítulo 2 e mais outros 08. O objetivo principal foi calcular a eficiência portuária de forma a obter-se um ranking onde se possam realizar duas partições: uma de terminais eficientes e outra de terminais ineficientes. A orientação adotada nas três modelagens foi a de produtos onde se pretendia maximizar as saídas dadas as entradas como fixas.

As variáveis estudadas foram os *inputs* extensão do(s) berço(s) (metros), profundidade do(s) berço(s) (metros), e número de berços (unidades). Como *outputs* foram escolhidos o número de contêineres movimentados (contêineres), a prancha média (contêiner/hora) de cada terminal, e a taxa de consignação média (contêiner/navio).

Uma vez calculada as eficiências, pode-se então conhecer quais terminais servem de referência (*benchmarks*) para a grande maioria da amostra e quais as metas a serem atingidas pelos terminais ineficientes para tornarem-se eficientes. Os resultados obtidos darão respostas ao gestor portuário do que e quanto precisa ser melhorado dentre as variáveis de saída (folgas) para que ele se torne eficiente segundo o seu *benchmark*. Destaca-se que pode haver mais de um *benchmark* na amostra coletada, e cada um deles possui indicadores de produtividade possíveis de serem alcançados pelos terminais que os tem como referência.

Apesar do capítulo 3 fornecer todas as folgas dando uma macro diretriz ao gestor, sabe-se que nem sempre é possível atacar todas as frentes de uma só vez, seja por restrições financeiras, de mercado, ambientais, políticas, institucionais ou de outra natureza. Diante disso, o capítulo 4 se propõe a identificar como alguns fatores poderiam incrementar mais fortemente a sua eficiência técnica. As variáveis independentes escolhidas foram: o número de contêineres movimentados; uma variável *dummy* que assume o valor 1 se o terminal estiver localizado nas regiões sul ou sudeste brasileira e 0 se contrário; uma variável *dummy* que assume o valor 1 se o terminal puder ser considerado como especializado em movimentações de cargas em contêineres e 0 se contrário; tempo que o navio espera entre a chegada do navio no porto e a sua atracação no terminal, o tempo de operação de descarga/carga de um navio de contêiner, e a quantidade de navios atracados com carga/descarga de contêineres.

Em outras palavras, buscou-se dar uma nova interpretação às análises abordadas no capítulo 3, inovando ao se aplicar o modelo de regressão beta inflacionado em um desenvolvido por Ospina (2008), ao invés da regressão tobit (TOBIN, 1958), bastante utilizada em modelagens deste tipo.

Por fim, no último capítulo têm-se as considerações finais deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

A fonte de dados secundários em toda a tese foi a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), tendo-se por base inicial as informações oficiais disponíveis no último Relatório de Desempenho Operacional dos Serviços Portuários 2010 (ANTAQ, 2010). Entretanto, as informações a respeito do número de berços, suas extensões e respectivas profundidades foram complementadas a partir de dados disponibilizados nos sítios de cada terminal da amostra. O ano de referência das informações disponibilizadas foi 2009 e é importante frisar que a unidade de análise nesta tese não é o porto como um todo, mas apenas os terminais e respectivos berços que operaram com contêineres e informaram à ANTAQ tais operações.

Para o cálculo do índice de eficiência dos terminais e benchmarks foi usado o software EMS (SCHEEL, 2000), versão 1.3. Para obter os *clusters*, retornos e as eficiências de escala, as folgas, os modelos de regressão beta inflacionadas e a realização de todos os testes estatísticos utilizou-se a linguagem de programação R (R CORE TEAM, 2013).

2 COMPETITIVIDADE PORTUÁRIA ENTRE OS TERMINAIS DE CONTÊINERES BRASILEIROS

2.1 Introdução

É visível o crescente interesse dos grandes portos mundiais pelo transporte de cargas em contêineres. Em 1970, os 10 maiores portos em movimentação deste tipo, majoritariamente americanos e europeus, movimentaram apenas 2.830.709 TEUs, onde um TEU representa a capacidade de carga de um contêiner marítimo normal, de 20 pés de comprimento, por 8 de largura e 8 de altura, sendo utilizada como uma medida padrão para calcular o seu volume.

Após uma trajetória crescente, em 2011, os novos 10 maiores portos alcançaram o montante de 191.759.327 TEUs, ou seja, um crescimento de 6.674% em 41 anos o que equivale a uma taxa de crescimento média de 10,43% a.a. O comércio marítimo internacional, neste mesmo período, nem de longe aproximou-se desta taxa de crescimento (3,00% a.a.) e a quantidade de terminais especializados neste tipo de transporte aumentou significativamente, seguindo frente a uma melhora contínua em termos de produtividade (CONTAINERISATION INTERNATIONAL, 2012; UNCTAD, 2012).

Junto com o incremento da containerização na participação na matriz de transporte marítimo, que passou de 3% em 1980 para 16% em 2011 (UNCTAD, 2012), também houve uma completa alteração no ranking dos dez maiores portos em movimentação de contêineres. Em 1970 os portos americanos e europeus figuravam entre os maiores e nenhum porto asiático se destacava; em 2011, neste mesmo ranking, dos europeus restou apenas o porto de Rotterdam, e nenhum porto americano: todos os demais eram portos asiáticos.

Com uma taxa de crescimento de 8,2% em 2012 (UNCTAD, 2012) e uma taxa projetada pelos especialistas ao redor de 8% para 2013 (CONTAINERISATION INTERNATIONAL, 2013), o transporte de carga containerizadas tem recebido grandes investimentos, pois o objetivo geral dos terminais especializados é diminuir custos preservando a qualidade de seus serviços.

Nesse cenário, o porto de Shanghai (China) é o maior porto do mundo e também o que mais movimenta contêineres, tendo apresentado um montante de 727,6 milhões de toneladas em 2011 considerando-se todos os tipos de cargas, inclusive 31,7 milhões de TEUs de cargas em contêineres. Os demais portos, por ordem decrescente de importância são: Singapura (Singapura), Hong Kong e Shenzhen (na China), Busan (Coreia do Sul), Ningbo, Guangzhou

e Qingdao (todos na China), Dubai (Emirados Árabes Unidos), e Rotterdam (Países Baixos). Rotterdam é o maior porto europeu com uma movimentação de 434,6 milhões de toneladas e 11,88 milhões de TEUs em se tratando de contêineres (CONTAINERISATION INTERNATIONAL, 2012).

No que concerne ao Brasil, o de Santos (São Paulo) aparece como 42º maior porto do mundo em contêineres (2,96 milhões de contêineres movimentados em 2011) e também o único porto brasileiro constando entre os 100 maiores do mundo. Durante todo o ano de 2011, ele operou 97,17 milhões de toneladas de carga, crescimento de 1,2% frente ao desempenho computado em 2010 (96,02 milhões de toneladas).

Esses dados, por si sós, servem para dar uma ideia do porte dos portos brasileiros frente aos principais portos ao redor do mundo. Mas não é só no porte que as diferenças imperam. Alguns indicadores de produtividade também são úteis para se entender o tanto que ainda se deve caminhar para atingir níveis de competitividade maiores.

Um desses indicadores é a prancha média que indica a produtividade média de cada terminal medida em relação ao tempo de atracação dos navios, tomado como tempo de atendimento. Segundo dados do Banco Mundial, enquanto que em portos como Singapura e Rotterdam estes valores são 100 e 60 contêineres/hora respectivamente, no porto de Santos caem para 39. Com relação ao tempo requerido para carregar/descarregar um contêiner, Santos necessita de 22 horas-homem/contêiner, contra apenas 02 e 05 em Singapura e Rotterdam respectivamente (WORLD BANK, 2010).

Além desses indicadores, se forem incluídos fatores culturais, gestão administrativa do porto, tarifas cobradas, localização, calado, número de berços, número de embarcações recebidas, extensão do cais, áreas para estocagem de contêineres, e equipamentos utilizados como guindastes e scanners, torna-se até inadequada uma comparação entre o maior porto da América Latina e os maiores portos mundiais.

Nesse contexto, este capítulo focará 17 terminais brasileiros (públicos e de uso privativos - TUP) que movimentaram contêineres em 2009. O objetivo principal é classificá-los em grupos distintos entre si de acordo com alguns critérios de competitividade portuária disponíveis para terminais de contêineres no Brasil. Dessa forma, será possível comparar facilmente terminais portuários com diferentes características e restrições, pois os similares estarão num mesmo grupo.

Para tanto, foram empregados três diferentes algoritmos de *clusters* para formar os grupos de terminais: Kmeans, PAM (partição ao redor de medoides) e Hierárquica. Para as

análises estatísticas foi utilizado o pacote *clValid* (BROCK *et al.*, 2008) para validação dos *clusters* na plataforma computacional R (R CORE TEAM, 2013).

Dado o reduzido número de trabalhos existentes a respeito desta temática aplicada a terminais de contêineres brasileiros, e a grande necessidade de se continuar investindo recursos para melhorar a qualidade dos serviços oferecidos pelos portos brasileiros para fazer frente aos concorrentes internacionais, espera-se que este capítulo possa contribuir de forma significativa no que tange a políticas de investimento a partir de uma melhor caracterização de tais dados.

A seção 2.2 traz uma breve revisão da literatura sobre competitividade portuária; a seção 2.3 apresenta a definição das variáveis e a metodologia escolhida para classificar os terminais da amostra; a seção 2.4 mostra os resultados obtidos, finalizando com as conclusões na seção 2.5.

2.2 Revisão da Literatura

Existem vários conceitos para definir competitividade. Talvez um dos mais utilizados seja o proposto por Porter (1990) que a define como a habilidade ou talento resultante de conhecimentos adquiridos capazes de criar e sustentar um desempenho superior ao desenvolvido pela concorrência. Segundo ele, competitividade é o mesmo que produtividade.

Nesse sentido, produtividade e eficiência são os dois conceitos mais importantes na medição do desempenho. No entanto, os conceitos de ambos, apesar de similares, são diferentes entre si e foram erroneamente tratados como o mesmo na maior parte da literatura (WANG *et al.*, 2002). Por isso se faz importante os diferenciarem neste momento.

A produtividade de uma firma pode ser simplesmente definida como a razão entre produto (s) e entrada (s). Esta definição é fácil e permite explicar qualquer situação em que existe uma única entrada e uma única saída. Mas é mais comum que a produção tenha várias entradas e saídas, nas quais a produtividade está relacionada à *Produtividade Total dos Fatores*, uma medida de produtividade envolvendo todos os fatores de produção (COELLI, 1998). Por outro lado, a eficiência pode ser definida como a produtividade em relação ao longo do tempo ou espaço, ou ambos. Por exemplo, ela pode ser dividida em medidas de eficiência intra e inter-firmas.

Em outras palavras, a produtividade envolve medir o uso do próprio potencial de produção da empresa, calculando o nível de produtividade ao longo do tempo em relação a

uma fronteira de produção específica à empresa, que se refere ao conjunto de saídas máximas, dados os diferentes níveis de insumos. Por outro lado, a eficiência mede o desempenho de uma empresa em particular em relação aos seus melhores concorrentes existentes na indústria (WANG *et al.*, 2002).

A eficiência acima é normalmente chamada em economia de *Eficiência Técnica* e considera apenas grandezas físicas e relações técnicas, sem abordar questões como custos ou lucros. Somente a eficiência alocativa (outro conceito importante) estuda os custos de produção, dadas informações sobre os preços e suposições de comportamento, tais como minimização de custos ou maximização do lucro devidamente estabelecidas (COELLI, 1998).

Em se tratando de competitividade portuária, segundo Yeo *et al.* (2008), a bibliografia encontrada a respeito deste tema tem se concentrado em critérios de seleção portuária. Ou seja, para medir a competitividade dos portos, faz-se necessário identificar os componentes ou fatores que influenciam nela.

Nesse sentido, podem-se citar vários autores como Willingale (1981), que utilizou como componentes a distância de navegação entre os portos, a proximidade de cidades do tipo hinterlândia - que em geografia urbana corresponde a uma área geográfica (que pode se tratar de um município ou um conjunto de municípios) servida por um porto e a este conectada por uma rede de transportes, através da qual recebe e envia mercadorias ou passageiros (do porto ou para o porto). Trata-se, portanto, da área de influência de uma cidade portuária que, por concentrar significativa atividade econômica, pode engendrar uma rede urbana, constituída por centros urbanos menores. Além dessa variável, o autor também utilizou a conectividade e estrutura portuária, tarifas portuárias e o uso do porto.

Collison (1984) escolheu como critérios de seleção o tempo médio de espera, a pontualidade da programação portuária e a capacidade dos serviços portuários. Slack (1985) sugeriu vários fatores com foco em portos europeus, americanos e do sudeste da Ásia. UNCTAD (1992) preferiu trabalhar com a localização geográfica dos portos, redes *hinterland*, disponibilidade e eficiência de transportes, tarifas portuárias, estabilidade portuária, e sistema de informação portuário. Mccalla (1994) revelou diferentes dimensões de análise e os principais fatores que as influenciavam, como instalações portuárias, redes de transporte terrestres, rotas de transporte de contêineres.

Além dos autores citados, alguns pesquisadores utilizaram a eficiência portuária como uma *proxy* para medir a competitividade entre portos (CULLINANE e WANG, 2010;

CULLINANE *et al.*, 2006; DÍAZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2008; ODECK e BRÅTHEN, 2012; RIOS e MAÇADA, 2006; SCHØYEN e ODECK, 2013; TONGZON, 2001).

Os trabalhos citados não só foram aplicados em diversos países, como utilizaram de diversas variáveis nem sempre disponíveis para todos os portos. Esse é o primeiro problema que se encontra na identificação de critérios de competitividade no setor portuário, que se torna ainda mais grave quando se deseja comparar entre si portos localizados em diferentes países, pois em alguns casos, um determinado indicador de desempenho existe para um país, mas não para outro, tornando impossível realizar comparações entre eles.

Entre os estudos de portos brasileiros podem ser citados Sousa Júnior (2010) e Bertoloto (2010), que usaram como entradas o comprimento total de berços (em metros) e calado máximo (em metros) do porto; Acosta (2008), que incluiu "área total de armazenagem do porto", como uma variável adicional; Fontes (2006), que trabalhou apenas com a extensão do cais como entrada; Rios e Maçada (2006), que mediu a eficiência técnica de terminais de contêineres do Mercosul nos anos de 2002-2004; e Wanke *et al.*, 2011. Mais informações sobre estes trabalhos são apresentadas na Tabela 2.1.

Se apenas os estudos aplicados a portos ou terminais brasileiros forem considerados, vai notar-se que eles tentaram adaptar a informação disponível a partir de sites de autoridades portuárias para variáveis relacionadas à infraestrutura e superestrutura, e utilizaram de pesquisas secundárias em fontes oficiais brasileiras para levantar informações relativas ao número médio de contêineres movimentados por hora / navio, movimentação de contêineres e outros tipos de cargas. Somente em Rios e Maçada (2006) e Wanke *et al.* (2011), as variáveis foram coletadas através da aplicação de questionários diretos às empresas de contêineres ou entidades governamentais responsáveis pelos terminais de carga.

No que se refere aos trabalhos cujo foco era o transporte de mercadorias em contêineres exclusivamente, Rios e Maçada (2006) concluíram que o principal indicador utilizado na mensuração da eficiência do terminal é a movimentação de contêineres por hora por navio, ou seja, quanto mais rápido um terminal lida com um navio, mais eficiente este terminal será. A análise dos resultados revelou que mais de 70% dos terminais analisados foram 100% eficiente em 2002, mas que essa proporção se reduziu nos anos seguintes de sua análise, atingindo cerca de 65% em 2004. O Terminal TECONVI do Porto de Itajaí foi um dos terminais que serviram de referência para os terminais ineficientes.

Já em Sousa Junior (2010) seis portos nordestinos que movimentavam contêineres foram analisados e apenas o Porto de Salvador foi apontado como eficiente no ano de 2006,

segundo o modelo utilizado, e também como único *benchmark* para os demais portos da amostra, a saber: porto de Maceió/AL, Suape/PE, Natal/RN, Fortaleza/CE e Pecém/CE.

Infelizmente, o Brasil não dispõe de informação uniforme disponível para o público em geral, como força de trabalho, número e tipo de guindastes, áreas de armazenamento, gestão portuária ou a cooperação técnica com governos e universidades. Na verdade, é muito comum encontrar que os conjuntos de dados em terminais portuários não são suficientemente detalhados. Pesquisas de levantamento de dados neste campo ainda se fazem necessárias e podem ajudar bastante no acompanhamento da gestão portuária, de novos estudos científicos, e na formulação de políticas de financiamento e de administração.

Tabela 2.1 – Variáveis utilizadas na medição da eficiência técnica em portos no Brasil.

Autores	Objetivos e descrição dos dados	Variáveis	
		Inputs	Outputs
Fontes (2006)	Análise da eficiência técnica em 31 portos brasileiros, 1999-2001.	Extensão do cais	Quantidade de navios atracados, carga total movimentada
Rios e Maçada (2006)	Análise da eficiência técnica em 15 terminais de contêineres brasileiros, 06 argentinos e 01 uruguaio, 2002-2004.	Número de guindastes, número de berços, número de empregados, área do terminal, quantidade de equipamentos do pátio.	Total da carga movimentada em TEUs, prancha média (container/hour/ship)
Acosta (2008)	Análise da eficiência técnica em 27 portos brasileiros, 2004-2005.	Profundidade do berço, extensão total do berço e área de armazenamento.	Soma das cargas líquidas, sólidas, em contêineres e carga em geral (em toneladas)
Sousa Junior (2010)	Análise da eficiência técnica em 22 portos do Nordeste do Brasil, 2006.	Para terminais de contêineres: - extensão total do berço Para outros tipos de carga: - Profundidade e extensão total do berço	Para terminais de contêineres: - total de contêineres movimentados em TEUs Para outros tipos de carga: - Total da carga movimentada em toneladas
Bertoloto (2010)	Análise da eficiência técnica em 48 portos brasileiros e terminais privados, 2007-2009.	Profundidade e extensão total do berço	Soma das cargas líquidas, sólidas, em contêineres e carga em geral (em toneladas)
Wanke <i>et al.</i> (2011)	Calcular a eficiência técnica de 25 terminais portuários brasileiros, 2008.	Área do terminal (em m ²), tamanho do estacionamento para receber caminhões de carga (em número de caminhões), e número de berços.	Total da carga líquida, sólida e em contêineres movimentada por ano (em toneladas); e número de navios atracados por ano.

Fonte: Essa pesquisa.

2.3 Metodologia

Neste capítulo, procurou-se por uma taxonomia na literatura que pudesse englobar as informações disponíveis para os terminais de contêineres brasileiros, e neste sentido, o trabalho de Meza *et al.* (2007) encaixou-se adequadamente. Nesse trabalho, os autores propõem dez componentes de competitividade onde é possível incorporar qualquer critério de competitividade disponível para o setor portuário. São elas:

- 1) Rapidez: se refere tanto ao tempo de uso de um porto por um navio no cais desde a sua atracação até a sua saída para um outro destino, quanto pela carga no porto como a taxa de transferência da carga por navio e/ou tempo médio de carga/descarga do navio.
- 2) Economicidade: Refere-se ao custo de uso do porto para os usuários finais (navios e donos da carga), ou seja, as tarifas portuárias;
- 3) Descongestionamento: Essa componente mede o grau de congestionamento de um porto através da taxa de ocupação do porto (ou de um berço em particular) ou através do tempo médio de espera de um navio até o seu atracamento para carga/descarga. No caso brasileiro, pode-se ainda citar engarrafamentos no acesso ao porto devido às filas de caminhões, utilizados muitas vezes como armazéns móveis devido a poucas áreas de armazenamento disponíveis no porto.
- 4) Profundidade: Essa componente é de fundamental importância pois acompanha a tendência mundial de utilização de navios com capacidades cada vez maiores o que torna o custo dos fretes mais baratos e a tendência do uso de cargas containerizadas mais forte.
- 5) Amigabilidade: Tem a ver com a facilidade de se usar o porto em função da coordenação entre atores, a burocracia envolvida e os trâmites administrativos.
- 6) Qualidade: Refere-se aos erros ou falhas que possam ser cometidos pelas autoridades portuárias e pelas diversas agências, empresas marítimas e empresas de transporte relacionadas.
- 7) Transparência: As cobranças, tanto aos donos da carga quanto aos dos navios devem ser claras, transparentes e detalhadas.
- 8) Segurança: refere-se à seguridade das embarcações no mar, das instalações terrestres do porto e de seus acessos. São procedimentos que impedem roubo e furtos nas operações no porto.
- 9) Ecologia: tem a ver com a preservação e a conservação do meio ambiente marinho e terrestre próximas às instalações do porto. Também leva em conta a adoção de regulamentação internacional a respeito do tema da ecologia marinha.

10) Integração: refere-se ao grau de conexão logística (intermodal) entre o porto e as origens e destinos das cargas. Um indicador para esta componente seria a existência de ferrovias, rodovias, aeroportos que comuniquem os portos às zonas econômicas de produção.

Como cada componentes reflete um enfoque específico da competitividade portuária, isso ajuda a identificar qual critério é mais relacionado com uma determinada componente, e ao se realizar análises comparativas entre terminais, objetivo maior deste capítulo.

Outra justificativa para o uso desta classificação, além de adaptação com os dados disponíveis, é transformar a análise posterior mais fácil e menos repetitivo para o leitor, como será visto na seção de resultados. Infelizmente, não existem outras variáveis disponíveis no relatório da ANTAQ ou em outros trabalhos encontrados na literatura que poderiam ser incluídos nos componentes de competitividade 05 a 10 mostrados acima.

2.3.1 Definição dos Critérios de Seleção de Competitividade Portuária Escolhidos

Os critérios de competitividade selecionados e suas definições estão representados pela Tabela 2.2. Ao todo, estão disponíveis 08 (oito) critérios que podem ser classificados de acordo com 04 (quatro) dos componentes de competitividade já citados no texto. Estatísticas importantes relacionadas à amostra estão resumidas na Tabela 2.3.

A fonte dos dados secundários para os critérios de seleção selecionados foi a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Procurou-se ter como base inicial as informações oficiais disponíveis no último Relatório de Desempenho Operacional dos Serviços Portuários 2010 (ANTAQ, 2010), mas informações a respeito do número de berços, suas extensões e respectivas profundidades foram coletadas a partir de dados disponibilizados pela própria ANTAQ, bem como informações disponibilizadas nos sítios de cada terminal. O ano de referência das informações disponibilizadas foi 2009 e é importante frisar que a unidade de análise nesta tese não é o porto como um todo, mas terminais específicos em portos que operaram com contêineres e informaram à ANTAQ tais operações.

O ano de 2009 foi marcado pela forte retração no comércio mundial, consequência da crise financeira iniciada a partir da falência do Banco *Lehman Brothers*, nos EUA, em setembro de 2008.

As cargas transportadas em contêineres caíram tanto pela redução do comércio mundial, como também, no caso das importações, por meio da desvalorização do Real frente à

moeda americana (em agosto de 2008, a taxa de câmbio (R\$/US\$) estava em 1,61, elevando-se até a 2,31 em março de 2009) que tornou os produtos importados mais caros comparados aos produtos nacionais.

Mesmo assim, optou-se nesta tese por trabalhar com a base de dados disponível mais recente, já que muitos portos brasileiros foram contemplados com 1,8 bilhão em obras oriundas de recursos do Programa de Aceleração do Crescimento (1ª parte) entre 2007 e 2010.

Segundo Brito (2010), somente em 2009 e 2010 os processos de contratação para as primeiras licitações do Programa Nacional de Dragagem foram concluídos. Assim, 2009 representa o marco zero para se avaliar a evolução dos indicadores de competitividade portuários.

Tabela 2.2 - Critérios de seleção para medir a competitividade portuária - variáveis analisadas.

Critérios de seleção de competitividade	Descrição	Componente de competitividade
Número de contêineres movimentados (contêineres)	Em quantidades de unidades de contêineres de 20' e 40' por terminal, indicando a intensidade de utilização de cada terminal	Descongestionamento
Extensão do(s) berço(s) (metros)	Extensão total do(s) berço(s) pertencente a um determinado terminal que apresenta movimentação de contêineres.	Descongestionamento
Número de berços (unidades)	Quantidade de berços que movimentam contêineres em um determinado terminal portuário	Descongestionamento
Tempo médio de espera (horas/navio)	Indicador da qualidade do atendimento, em termos do tempo, medido em horas e minutos, gasto em espera de atracação dos navios para cada terminal ou conjunto de berços	Descongestionamento
Tarifas portuárias (US\$/contêiner)	Somatório dos preços públicos e privados cobrados pelo porto/terminal ao usuário final	Economicidade
Profundidade do(s) berço(s) (metros)	Profundidade média do(s) berço(s) que movimentam contêineres de um determinado terminal portuário	Profundidade
Consignação média (contêiner/navio)	Indica a característica do tamanho de navio que frequenta o porto, para cada tipo de carga ou mercadoria, em cada terminal.	Rapidez
Prancha média (contêiner/hora)	Produtividade média do terminal em relação ao tempo de atracação dos navios	Rapidez

Fonte: Essa pesquisa.

Tabela 2.3 - Resumo estatístico para a amostra (n = 17 terminais).

	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Coef. de variação
Movimentação de contêineres (unidades)	8.008	663.992	168.629	102.862	1,10
N. de berços (unidades)	1	5	3	2	0,40
Extensão do berço (m)	252	1.100	558	510	0,42
Profundidade do berço (m)	7	20	12	12	0,21
Tarifas portuárias (US\$)	239	550	373	371	0,24
Taxa de consignação (unidades de contêineres/navio)	109	650	295	274	0,55
Prancha média (unidades de contêineres/h)	7	36	20	18	0,43
Tempo de espera (horas)	0	103	18	14	1,33

Fonte: Essa pesquisa.

2.3.2 Localização dos Terminais Selecionados

Levando-se em conta a disponibilidade de informações para os oito critérios de seleção, apenas 17 (dezessete) terminais portuários foram analisados para o ano de 2009. Ao todo, foram responsáveis por 75% de toda carga em contêineres movimentada no Brasil naquele mesmo ano. Dentre os cais públicos tem-se: cais públicos dos portos de Vila do Conde e Belém no estado do Pará, do porto de Fortaleza no Ceará, do porto de Natal no Rio Grande do Norte, e os dos portos de Imbituba e São Francisco do Sul, ambos em Santa Catarina. Dentre os terminais de uso privativo foram escolhidos: TUP de Chibatão localizado no Porto de Chibatão, TUP Tecon no Porto de Suape em Pernambuco, TUP Tecon no Porto de Salvador na Bahia, TVV no porto de Vitória No Espírito Santo; TUPs Libra T35, Libras T37, Tecon e Tecondi no porto de Santos em São Paulo, TUP TCP no porto de Paranaguá no Paraná, TUP Tesc no porto de São Francisco do Sul e TUP Teconvi no porto de Itajaí, ambas em Santa Catarina, e por fim, TUP Tecon no porto de Rio Grande no Rio Grande do Sul. Todos esses terminais podem ser visualizados na Figura 2.1, com exceção do TUP Chibatão que por uma questão de escala do mapa não pode ser mostrado, mas o leitor pode considerar que este terminal está localizado a menos de 4 km ao leste do Porto de Manaus no estado do Amazonas.



Figura 2.1 - Localização dos portos públicos marítimos do Brasil
 Fonte: CNT (2006).

2.3.3 Análise de *Clusters*

Com o intuito de formar grupos de portos com performances distintas entre si externamente (intragrupo), mas internamente semelhantes (intergrupo), de acordo com os critérios de seleção competitiva selecionados, foram empregadas as funções `hclust()`, `pam()`, `kmeans()`, todas utilizáveis na plataforma de computação estatística R (R CORE TEAM, 2013). Já para a validação dos *clusters* formados, foram empregados os pacotes *clValid* (BROCK *et al.*, 2008) e o *RankAggreg* (PIHUR *et al.*, 2007). Ao todo, foram utilizados três métodos de agrupamento: *K-means*, *PAM* (partição em torno de medóides) e hierárquica (método não ponderado de agrupamento emparelhado - UPGMA).

K-means é um método iterativo que minimiza a soma dos quadrados dentro da classe para um determinado número de clusters. O algoritmo começa com uma estimativa inicial para os centros dos *clusters*, e cada observação é colocada no grupo ao qual está mais próxima. *PAM* é semelhante ao *K-means* porque o número de clusters é fixado previamente e um conjunto inicial de centros de *clusters* é necessário para iniciar o algoritmo. Mas ele é considerado mais robusto porque admite o uso de outras distâncias entre os objetos (observações), além da euclidiana, que é uma das medidas mais usadas para calcular o comprimento do segmento de reta que une dois pontos quaisquer a e b . Sua fórmula é:

$$\|a-b\|_2 = \sqrt{\sum_i (a_i - b_i)^2} .$$

No algoritmo hierarquizado, cada observação é inicialmente colocada em seu próprio *cluster*, e os *clusters* são sucessivamente colocados juntos na ordem de sua proximidade. A proximidade de quaisquer dos grupos é determinada por uma matriz de dissimilaridade, e pode basear-se numa variedade de métodos de aglomeração (“Ward”, “Complete”, “Single” ou “Average”). Este método permite-nos construir uma hierarquia de *clusters* (grupos), cujos resultados podem ser apresentados em um dendograma que facilmente nos permite ver que terminais portuários pertencem a cada grupo.

A estimativa inicial para o número de *clusters* foram três, quatro e cinco para os métodos *K-means* e *PAM* respectivamente. No algoritmo hierarquizado, cujo dendograma obtido pode ser cortado a uma altura escolhida para produzir o número desejado de grupos, também foram feitas simulações para cada um dos quatro métodos de aglomeração citados.

A rotina *Rankaggreg* se utiliza dos resultados obtidos em todas as simulações possíveis ao se alterar o algoritmo de aglomeração, o número de *clusters* inicial, e o método de aglomeração. Em seguida, através de um *bootstrapp* essa rotina torna possível determinar o

algoritmo vencedor global dentre todas as simulações realizadas; classificando todos os algoritmos de agrupamento com base no seu desempenho como determinado por todas as medidas de validação simultaneamente. Maiores detalhes sobre esta função são descritas em detalhe no Pihur *et al.*(2009).

Os resultados são mostrados na próxima seção

2.4 Resultados Empíricos e Análises

O principal objetivo de uma análise de *cluster* é identificar grupos em que existem grandes semelhanças entre seus indivíduos, mas grandes diferenças em relação aos indivíduos dos outros grupos.

Para tanto, executou-se diversas simulações no R utilizando o pacote *cValid* e o *RankAggreg* aplicando *K-means*, *PAM* e algoritmo hierarquizado, todos eles variando de 3 a 5 grupos de cada vez. Além disso, no algoritmo hierárquico, também foram feitas simulações usando vários métodos de aglomeração: de *Ward*, completo, único e média.

A partir de um banco de dados composto por oito variáveis e dezessete terminais portuários, os resultados mostraram que o melhor algoritmo é o hierárquico-3, ou seja, identificaram-se três grupos distintos de terminais. Dentro de cada grupo, os terminais são semelhantes uns aos outros ou possuem competitividade portuária parecidas. Se comparados com terminais dos outros grupos, há diferenças.

No dendograma formado pela análise de *cluster* hierárquica usando o critério de ligação único (“single”), o eixo vertical fornece os valores da soma dos quadrados dos erros (SSE), equivalente à perda de informações nos quais as fusões ocorrem. O critério de seleção para o número de grupos a serem escolhidos é o valor obtido para SSE, quanto menor for, menor é a perda de informações para cada grupo formado.

A Figura 2.2 mostra os grupos formados de acordo com este método e se podem observar claramente três grupos de terminais portuários onde a SSE é a menor de todas. A Tabela 2.4 traz a numeração a ser utilizada para cada grupo sugerido pelo dendograma, enquanto que a Tabela 2.5 traz os valores médios para os oito critérios de seleção de competitividade em cada um dos três grupos.

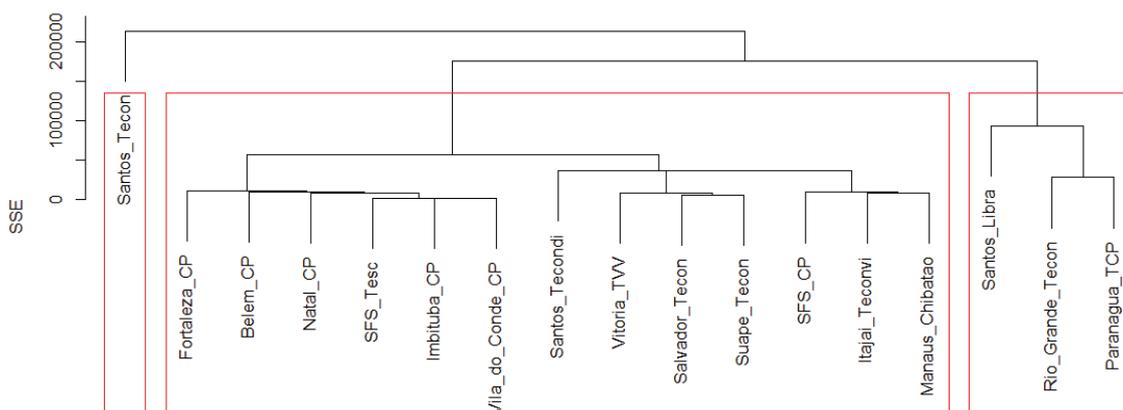


Figura 2.2 - Dendrograma com grupos obtidos.
Fonte: Essa pesquisa.

Tabela 2.4 – Terminais por grupos formados.

Grupos	Porto/Terminal
1	BELEM - Cais público CHIBATÃO – Chibatão FORTALEZA - Cais público IMBITUBA - Cais público ITAJAÍ – Teconvi NATAL - Cais público SALVADOR – Tecon SANTOS – Tecondi SÃO FRANCISCO DO SUL - Cais público SÃO FRANCISCO DO SUL – Tesc SUAPE – Tecon VILA DO CONDE - Cais público VITÓRIA - TVV
2	PARANAGUÁ – TCP RIO GRANDE – Tecon SANTOS - Libra (T35 + T37)
3	SANTOS - Tecon

Fonte: Essa pesquisa.

Tabela 2.5- Valores médios dos critérios de seleção de competitividade por grupos

Grupos	Componentes e critérios de seleção de competitividade							
	Descongestionamento				Profundidade	Economicidade	Rapidez	
	N. de containeres	Extensão do berço	N. de berços	Tempo de espera	Calado do berço	Tarifas do Porto	Taxa de consignação	Prancha média
1	78.137	485	2	18	12	387	277	17
2	395.639	888	3	16	13	351	292	28
3	663.992	510	3	14	13	256	551	36

Fonte: Essa pesquisa.

A seguir, uma análise dos resultados obtidos para as componentes de competitividade em cada grupo formado.

Grupo 1

O grupo 1 é composto por treze terminais. Entre eles, cinco são públicos e oito são terminais de uso privado (TUP). Este grupo tem os menores valores para os componentes de Profundidade e Rapidez (Tabela 2.5). Os terminais são pequenos no comprimento e número de berços utilizados para movimentação de contêineres, têm baixa movimentação de carga em contêineres, as profundidades dos berços têm em média 12 metros, e só podem receber navios de pequeno porte, o que reduz ainda mais as taxas de produtividade como prancha média e taxa de consignação. O tempo médio de espera para o navio atracar é o maior dentre todos os grupos (18 horas). Além disso, esse grupo tem as maiores tarifas portuárias (US\$ 387).

Esse *cluster* corresponde a 35,4% de toda a movimentação de contêineres da amostra e apenas seis terminais são especializados nesse tipo de carga (quando mais de 90% do valor de todos os bens, em toneladas, foi devido apenas à carga em contêiner) (Fig. 2.3).

Isto contrasta com a carga heterogênea movimentada nos cais públicos, cujos principais produtos (cerca de 95% do total movimentado em toneladas) por ordem de importância são:

- Cais público de Fortaleza: **Contêineres (52%)**; trigo (31%); minério de ferro (8%); e açúcar (4%). Outros dois terminais movimentaram contêineres neste porto: TUP Pecém e o Pier petroleiro, mas eles não informaram à ANTAQ valores que permitissem incluí-los na amostra.
- Cais público de Natal: **Contêineres (32%)**; trigo (41%); enxofre, terras e pedras, gesso e cal (9%); coque de petróleo (8%); e produtos siderúrgicos (2%).
- Cais público de Belém: **Contêineres (29%)**, cimento (18%), trigo (17%), enxofre, terras e pedras, gesso e cal (14%), coque de petróleo (13%), minérios, escórias e cinzas (4%).
- Cais público de Imbituba: **Contêineres (20%)**; coque de Petróleo (34%), sal (9%), malte e cevada (8%), produtos químicos e inorgânicos (7%), fertilizantes e adubos (5%), trigo (4%), soda cáustica (4%), carvão mineral (3%), e enxofre, terras e pedras, gesso e cal (2%).

- Cais público de Vila do Conde: Bauxita (41%), alumina (29%), soda cáustica (8%), combustíveis e óleos minerais e produtos (5%), carvão mineral (4%), manganês (3%), coque de petróleo (2%), alumínio e suas obras (2%).
- TUP Tesc de São Francisco do Sul: Reatores, caldeiras e máquinas (45%), aeronaves, embarcações e suas partes (16%), fibras, fios, tecidos e outros artefatos (12%), fertilizantes e adubos (10%), soda cáustica (8%),

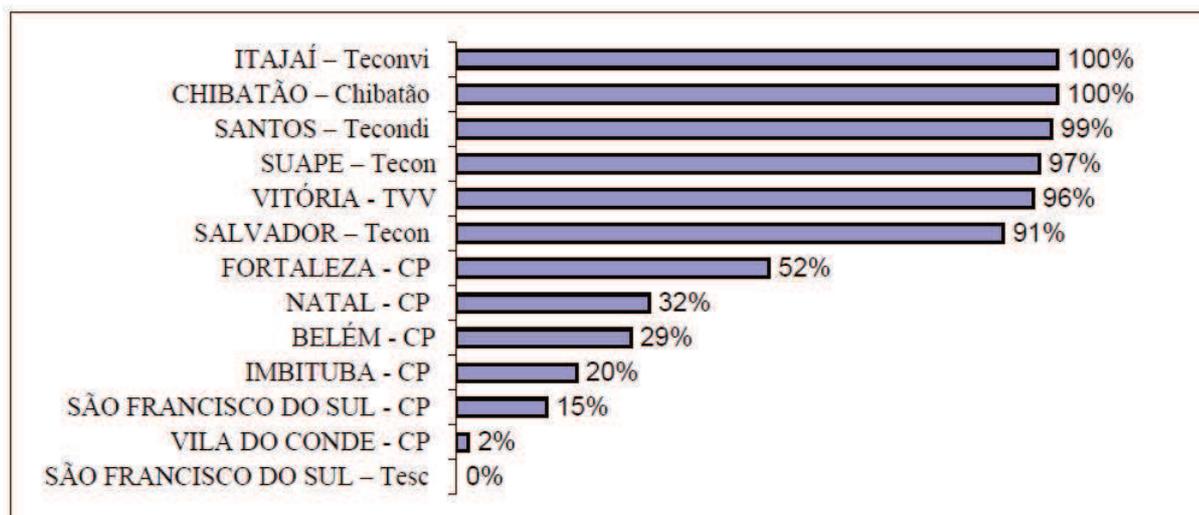


Figura 2.3 - Percentual da carga em contêineres em relação ao total movimentado, 2010.

Nota: CP = Cais Público.

Fonte: ANTAQ (2013).

Sobre os terminais especializados desse grupo, alguns comentários serão feitos: O terminal Tecondi do porto de Santos é o mais competitivo deste grupo por apresentar a mais alta taxa de consignação média (650 container/navio) e prancha média (27 unidades/hora), e o menor tempo de espera (8 horas). Ele também é o que apresenta a maior movimentação do grupo - 183.312 contêineres. Quanto a preço, ele aparece em 4º lugar no ranking dos mais baratos.

Chibatão é considerado o maior complexo portuário privado da América Latina. Localizado no coração do Pólo Industrial de Manaus e com capacidade de carga estática de 40 mil TEUs em toda sua estrutura, apresenta uma área de 1 milhão de metros quadrados de pátios destinados ao armazenamento de contêineres, carretas e cargas em geral. Sua instalação de acostagem é composta por um píer/cais flutuante de 450 metros de comprimento, para embarque e desembarque de navios provenientes da navegação de longo curso e cabotagem,

podendo operar simultaneamente 04 navios com calados de até 20 metros (maior calado do Brasil).

Teconvi no porto de Itajaí e TVV no porto de Vitória atendem ao sul e sudeste brasileiro e ambos se assemelham pela sua infraestrutura, mas diferem um pouco em economicidade e rapidez: Itajaí é mais econômico e rápido que o TVV, mas ambos apresentam similaridades com os demais terminais desse grupo.

Tecon de Suape destaca-se por apresentar um enorme potencial de crescimento sem sequer precisar de novos investimentos em infraestrutura, podendo atender a uma demanda sete vezes maior que a atual se utilizando de seus dois berços de atracação e 660 m de cais acostável, mais 275m de cais público em situações especiais. Seu calado de 15m só perde para Chibatão o que lhe dá vantagens competitivas duradouras.

Tecon de Salvador encontra-se em uma posição de crescimento inferior a de Suape. Sua capacidade de movimentação é de 500 mil TEUs por ano (1/3 da Tecon Suape), possui uma retroárea de 118.000 m², mas 40% dela já se encontra utilizada. Seu calado também é inferior ao de Tecon Suape, mas atualmente ele já possui um cais também com uma profundidade de 15m aguardando apenas a homologação das autoridades competentes.

Segundo Lima (1999), o porto de Suape é o que apresenta as melhores condições operacionais e geográficas para se transformar em um porto concentrador de cargas nas rotas norte-sul entre América do Norte-Europa-África-costa leste da América do Sul (Brasil, Uruguai e Argentina) devido à sua infraestrutura favorável. Além disso, sua localização geográfica possibilita a concentração dos serviços marítimos das rotas norte-sul, viabilizando sua utilização tanto como porto concentrador (*hub port* com *feeder service*) quanto como porto de transbordo de cargas nessas mesmas rotas e viabilizando também maior utilização da capacidade dos navios e melhor planejamento das escalas no Brasil e no resto da costa leste da América do Sul.

Enquanto o porto de Suape não se transforma em um porto concentrador de cargas e nem num porto de transbordo de grande escala, o seu terminal Tecon é o que oferece o serviço mais caro não só deste grupo, mas de toda amostra (US\$ 550/contêiner) e a 3ª mais baixa taxa de consignação do grupo a que pertence (151 contêineres/navio).

Já em Salvador, o Tecon destaca-se por apresentar o preço mais baixo de toda a amostra - apenas US\$ 238,81 por contêiner movimentado - e a mais alta movimentação de contêineres do Nordeste brasileiro em 2009.

Apesar das diferenças entre os tipos de cargas movimentadas nos terminais de uso misto, em comparação com os terminais especializados, não se deve inferir que estes últimos são mais eficientes e/ou possuem um desempenho superior dentro ou fora desse grupo. Estudos mais aprofundados merecem ser realizados para calcular especificamente a eficiência técnica e testar uma possível relação entre porte do terminal com essa mesma eficiência.

A priori, é possível que um terminal em particular seja eficiente, embora não especializado e/ou apresentem uma baixa demanda de carga em contêineres. Também não se pode afirmar que os terminais pequenos são menos rentáveis do que os grandes. As elevadas tarifas cobradas podem justificar tanto uma falta de estrutura necessária para atender a esse tipo de carga, como também estes terminais podem estar oferecendo vantagens especiais que justifiquem suas tarifas elevadas.

É possível ainda que pequenos terminais comprovadamente ineficientes tenham poucos incentivos para se tornarem mais produtivos, uma vez que eles possuem um perfil de carga onde seus principais produtos podem ser carga líquida, carga sólida e/ou cargas em geral. Em outras palavras, talvez por receberem um pequeno número de navios porta-contêineres e sua infraestrutura ser suficiente para oferecer um bom serviço para outro tipo de carga de sua preferência, esses terminais preferem não focar em cargas containerizadas.

Afirmativas como essas precisam de abordagens diferentes da análise de *cluster* para serem mais bem estudadas. Neste momento, só se pode dizer que os terminais deste grupo têm características semelhantes entre si no que dizem respeito aos critérios de competitividade escolhidos neste capítulo.

Grupo 2

Três terminais fazem parte deste grupo: Terminais Libra T35 e T37 localizados no Porto de Santos/SP, TUP Tecon Rio Grande no Porto do Rio Grande/RS, e TUP TCP no Porto de Paranaguá/PR. Esses terminais possuem competitividade intermediária, ficando abaixo apenas dos terminais portuários do Grupo 3 (Tabela 2.5).

Os terminais desse grupo merecem destaque pelo montante de contêineres que movimentaram em 2009, ocupando do segundo ao quarto lugar no ranking brasileiro em peso total (Tabela 2.6). Eles também apresentam os melhores valores para todos as quatro componentes de competitividade comparando com os terminais do Grupo 1 e respondem por 41,4% de todo o número de movimentação de contêineres da amostra (Tabelas 2.5 e 2.7).

Tabela 2.6 - 10 maiores portos de contêineres brasileiros, 2010.

Rank	Porto	Terminal	Grupo pertencente	Número de contêineres (unid)
1	Santos	TECON	03	842.026
2	Rio Grande	TECON	02	389.000
3	Santos	Libra T-35	02	302.223
4	Paranaguá	TCP	02	300.341
5	TUP Portonave		Não pertencente a amostra	252.985
6	Santos	TECONDI	01	212.435
7	Itajaí	TECONVI	01	202.227
8	Suape	TECON	01	190.687
9	Vitória	TVV	01	178.010
10	Santos	Libra T-37	02	176.563

Fonte: ANTAQ (2013).

Tabela 2.7- Quantidade e percentuais de contêineres movimentados segundo grupos formados, 2009.

Grupos	Número de terminais	Número de contêineres (unid)	%
1	13	1,015,777	35,4
2	03	1,186,917	41,4
3	01	663,992	23,2

Fonte: Essa pesquisa.

A Libra Terminais Santos encerrou 2012 com aumento de produtividade de 42% em relação a 2009, com um salto expressivo de 31 MPH (movimentos por hora) de produtividade média em 2009 para 44 MPH em 2012. Os terminais Tecon Rio Grande e TCP Paranaguá também já vêm apresentando um acréscimo na sua produtividade com uma média acima de 39 MPH. Dados da ANTAQ permitem afirmar que esse crescimento se deu em maior parte pela diminuição do tempo total de atracação dos navios, do que pelo aumento da captação de cargas em contêineres, o que representa uma melhora na rapidez das movimentações de carga nesses terminais. A Figura 2.4 ilustra a melhora significativa da prancha média nos terminais desse grupo após 2009.

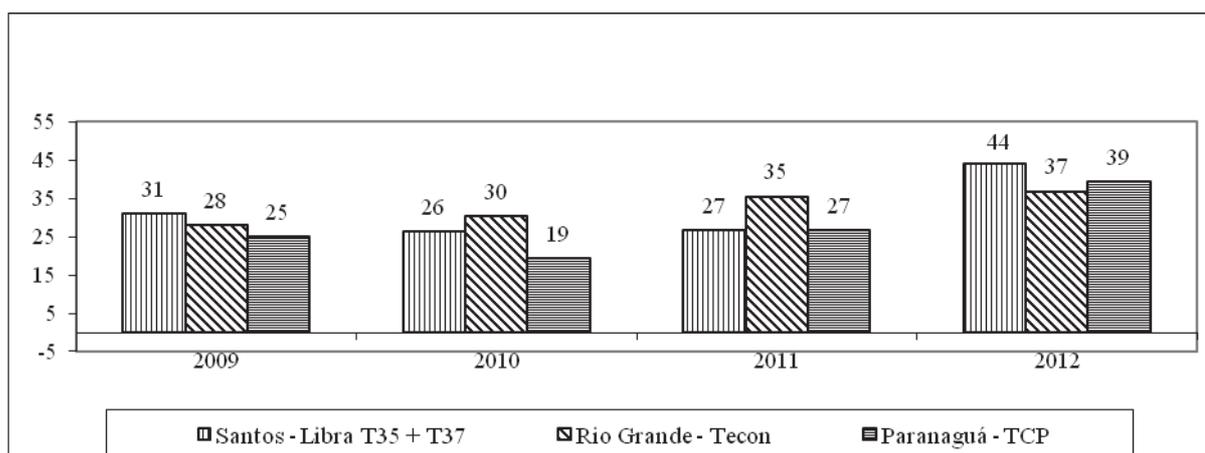


Figura 2.4 - Evolução da prancha média de contêineres
Fonte: ANTAQ (2013).

Grupo 3

Esse grupo possui apenas um terminal. Trata-se do TUP Tecon localizado no Porto de Santos. Não é à toa que ele é o mais competitivo do Brasil. Ele movimenta sozinho cerca de 49% de toda carga containerizada (em toneladas) de todo o Porto de Santos, o equivalente a 663.992 contêineres. Ele é, de longe, o principal terminal neste tipo de carga do Brasil.

Com uma infraestrutura invejável, o Tecon Santos atingiu a marca dos 74 MPH (movimentos por hora) em 2012, estabelecendo um novo padrão de produtividade na América do Sul, o que o coloca em patamar semelhante aos melhores terminais europeus, segundo informações da própria empresa. São 596 mil m² de área total, cais acostável com quatro berços de 13m de calado que, juntos, somam 980 metros de extensão, 2,4 mil tomadas *reefer*, 12 mil m² de armazéns cobertos, capacidade de movimentação anual de 2 milhões de TEUs; 46 RTGs; 18 *reach stackers*; 13 guindastes PT e 1 MHC; 30 Terminal Tractors; 4 ramais ferroviários internos; estrutura para operar navios Super Post Panamax; 150 câmeras de vídeo instaladas em locais estratégicos do terminal; 100% dos equipamentos são controlados por GPS; e sistema operacional de última geração, com controle online de todos os processos.

Em termos de competitividade é rápido, descongestionado, profundo e econômico. Em 2012, o Tecon Santos bateu a marca de 155,5 MPH na operação de um único navio, seguindo com a sua liderança no segmento de contêineres.

2.5 Conclusões

Este capítulo classificou 17 terminais de contêineres brasileiros em três grupos distintos entre si, segundo critérios de competitividade e utilizando como método a análise de cluster hierarquizada, tendo-se 2009 como ano base.

Entre as características de cada grupo formado, nota-se que o porte dos treze terminais do grupo 1 é muito menor do que o tamanho dos terminais nos outros dois grupos. Nesse grupo, em particular, existe um grande número de terminais não especializados na movimentação de contêineres com um perfil heterogêneo de cargas ao lado de terminais especializados. E isso também colabora para que os valores médios dos critérios de competitividade deste grupo sejam mais baixos do que os dos outros grupos. O porte desses terminais foi determinante para a sua localização neste grupo e nos demais.

Tanto foi que no grupo 2 tem-se o 2º, 3º e 4º maiores terminais de contêineres do Brasil em movimentação de cargas em contêineres. O grupo 2 continha apenas três terminais apresentando uma competitividade superior ao grupo 1, mas inferior ao grupo 3. Finalmente, no grupo 3 tem-se o maior terminal brasileiro de contêineres, especializado nesse tipo de carga e com um excelente desempenho em todos os critérios analisados (terminal Tecon do porto de Santos). Trata-se do principal *benchmarking* brasileiro em 2009, servindo de referência para todos os demais.

Pode-se afirmar, portanto, que dos 3 grupos obtidos, o grupo 3 é o mais competitivo e o maior de todos, seguido pelos terminais do grupo 2 e por fim, tem-se o grupo 1 como menos competitivo da amostra e de menor porte também.

Mesmo com essa classificação, não se pode afirmar que um determinado grupo ou terminal é mais eficiente ou rentável do que outros. Em outras palavras, mesmo com equipamentos obsoletos, um pequeno terminal especializado pode ser muito eficiente, enquanto um terminal especializado com equipamentos de última geração pode ser ineficiente. O contrário também é possível.

Há de se considerar que, especialmente para os pequenos terminais que possuem uma baixa demanda de carga em contêineres, às vezes são necessários grandes investimentos em equipamentos para se tornarem eficientes neste segmento, ou até mesmo para aumentar a sua produtividade; e talvez esse tipo de carga (contêineres) não seja o foco do terminal. Cada terminal tem suas próprias características e perfil de carga específica para as quais deve medir esforços para melhorar seus resultados e cobrar tarifas mais baixas.

Para mensurar essa eficiência, somente estudos como: a) análise envoltória de dados (DEA), método não paramétrico que permite determinar a eficiência técnica ou alocativa de uma unidade produtiva comparativamente às demais, considerando-se os múltiplos insumos utilizados e os múltiplos produtos gerados destinados; ou b) análise de fronteira estocástica (SFA), método paramétrico que também obtém estimativas da produtividade utilizando um modelo econométrico paramétrico definido com um único produto como variável dependente e os vários insumos como variável independente no modelo, além de requerer a normalidade dos erros gerados.

Lamenta-se a ausência de dados de terminais importantes no segmento de contêineres no país como TUP Portonave, alguns terminais do porto do Rio de Janeiro, sem deixar de falar nos terminais nordestinos que não puderam participar da amostra - apesar de pequenos em movimentação, sua presença nos permitiria uma análise mais ampla.

Outra dificuldade encontrada foi a ausência de variáveis pertinentes a outros componentes de competitividade como "amigabilidade", "qualidade", "transparência", "segurança", "ecologia" e "integração". Pesquisas específicas são necessárias para reunirem informações sobre a satisfação dos clientes atendidos pelos terminais, o grau de burocracia envolvida nas operações portuárias, detalhamento e transparência das tarifas cobradas, níveis de segurança para cargas no mar e em terra, e cuidados com o meio ambiente ao redor das instalações portuárias.

Uma vez de posse de um maior número de variáveis, talvez o uso de análise de componentes principais seja mais apropriada, a fim de reduzir o seu número antes de aplicar a análise de *cluster*, DEA ou mesmo SFA. Ainda assim, também é importante ressaltar que qualquer abordagem de *cluster* é susceptível de ser adaptada para outros bancos de dados de portos, caso se tenha um grupo de terminais cujo desempenho se deseje comparar.

Os resultados obtidos neste capítulo mostram que se faz necessário um estudo mais amplo sobre esses portos, pois na ausência de um número maior de fatores de competitividade, é essencial que novos estudos sobre a sua realidade e problemas, como a mensuração de sua eficiência técnica, por exemplo, possam complementar a análise apresentada.

Por esse motivo, no capítulo a seguir será utilizada a abordagem DEA e FDH (*free disposal hull*) para determinar quais desses terminais são eficientes/ineficientes, quais as metas a serem atingidas pelos terminais ineficientes a caminho da eficiência máxima e se o porte do terminal ou o grau de especialização na movimentação de contêineres possui alguma correlação com o fato de serem eficientes ou não.

Conclui-se que, como a competitividade está associada à capacidade sustentada para manter a produção a preços crescentes, é possível esperar que o foco para o transporte de carga containerizada e os investimentos anunciados pelo PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) no setor de transportes como um todo permita a conquista de melhores indicadores de produtividade dos portos brasileiros.

3 TERMINAIS DE CONTÊNERES BRASILEIROS: EFICIÊNCIA PORTUÁRIA UTILIZANDO OS MÉTODOS DEA E FDH.

3.1 Introdução

Na última década, o tráfego mundial de cargas em contêineres cresceu a uma taxa de 7,3% ao ano, passando de 69 milhões de TEUs em 2000 para 139 milhões em 2010. Entre 2000 e 2010, a proporção do transporte marítimo internacional em toneladas carregadas realizada por contêineres aumentou de 10,5% para 16%, estimando-se uma taxa de crescimento para este segmento da ordem de 6,6% ao ano até 2015. Ao todo, cerca de 1,3 bilhão de toneladas foram transportados por contêineres em 2010 e esse tipo de carga apresentou um ganho de 12,9% em relação a 2009, ou seja, uma das mais fortes taxas de crescimento na história da containerização (UNCTAD, 2011).

No Brasil, a movimentação total de cargas em 2010 alcançou o montante de 834 milhões de toneladas, dos quais 60,7% eram cargas do tipo granéis sólidos, 25% granéis líquidos e 14,3% carga geral. Entre 1986 e 2010, os granéis sólidos aumentaram sua participação relativa na movimentação de 51% para 61%, a participação da carga geral subiu de 8% para 14%, e os granéis líquidos tiveram uma forte redução, de 41% para 25% (ANTAQ, 2010).

Tratando-se de mercadorias em contêineres, ao todo foram movimentados 6,8 milhões de TEUs nos portos e Terminais de Uso Público (TUP) brasileiros, sendo que o porto de Santos sozinho respondeu por 39,8% dessa movimentação e os cinco maiores concentraram 69,1% do total, ou seja, 4,77 milhões de TEUs. Em termos de peso, o ano de 2010 alcançou 74,6 milhões de toneladas em cargas containerizadas – incluindo o peso da tara do contêiner –, contra 65,4 milhões em 2009, resultando em um crescimento de 14,1%. (ANTAQ, 2010)

De acordo com informações da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), o montante de mercadorias containerizadas, seguindo a tendência internacional de crescimento, também apresentou um desempenho positivo em 2010. A força da demanda doméstica impulsionou a importação de cargas containerizadas de alto valor agregado, enquanto que a demanda externa em recuperação impactou a exportação de alguns produtos containerizados importantes, tais como: carnes de aves congeladas, café e açúcar (8% da exportação de açúcar foi realizada em contêineres). Juntos representavam 30% da tonelagem de carga containerizada exportada.

Vale enfatizar que 94,2% das exportações brasileiras (489,6 milhões) em 2010 foram movimentadas através de transporte marítimo e, deste total, 11% (54 milhões de toneladas) foram de produtos classificados como carga geral. Os contêineres embarcados carregaram 34 milhões de toneladas de mercadorias (63% da carga geral, ou 14,4% do total das exportações), dados que por si só exigem e justificam a necessidade de o Brasil dispor de excelente infraestrutura portuária, principal e única via de acesso ao mercado internacional para a maioria dos produtos exportados pelo Brasil (ANTAQ, 2010).

Uma análise retrospectiva mostra que o modal marítimo é não só o mais utilizado mundialmente, mas também o que mais cresceu nos últimos anos, indicando uma tendência global de aumento de sua participação na matriz de transportes da exportação. Isso torna ainda maior a importância para a economia mundial, de possuir portos eficientes, bem localizados, e com capacidade suficiente para atender às necessidades de transporte mundiais.

O Brasil é um grande exportador de commodities (mais de 70% das receitas cambiais e acima de 90% da tonelagem exportada em 2011) e os produtos dessa pauta são os maiores consumidores da infraestrutura portuária por serem de grandes volumes. É então que os precários acessos por terra e por mar estão entre os principais problemas apontados para os portos brasileiros. O acesso rodoviário é visto pelos usuários segundo o Relatório de pesquisa Panorama Logístico: Análise e Avaliação dos Portos Brasileiros (CEL/COPPEAD/UFRJ, 2008, p.13), como o mais grave de todos. Isso ocorre em virtude da baixa qualidade de manutenção das rodovias do país, da indisponibilidade de vias expressas que facilitem o acesso ao porto, do pouco planejamento para o recebimento de produtos sazonais de grande volume e os engarrafamentos no acesso ao porto devido às filas de caminhões, utilizados muitas vezes como armazéns móveis. Esses problemas são agravados pela carência de áreas de estacionamento e pelo crescente urbano ao redor da área portuária, o que gera o aumento do tráfego nas cidades.

Por sua vez, com relação ao acesso marítimo, pode-se citar os problemas de assoreamento em canais portuários e/ou a baixa profundidade em vários portos que impede o atracamento de navios de maior calado. É uma característica que leva os portos a apresentarem menores ganhos de escala e perda de produtividade.

Fora esses dois problemas acima citados, existem outros relacionados à disponibilidade de espaço para armazenamento de mercadorias, que já chegou ao seu limite; a qualidade dos serviços portuários oferecidos aos usuários dos portos; ou problemas relacionados à gestão dos portos e legislação vigente.

Há, portanto, grande necessidade para a economia brasileira em possuir portos eficientes e eficazes, bem localizados, e com capacidade suficiente para atender às suas necessidades de transporte (AEB, 2012).

Nesse sentido, procura-se neste capítulo mensurar e avaliar a eficiência técnica dos terminais portuários brasileiros que apresentaram movimentação de carga em contêineres no ano de 2009, utilizando-se da técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) e da abordagem *Free Disposal Hull* (FDH), a partir de informações disponibilizadas pelos sítios dos próprios portos e terminais de uso privado, e dos dados produzidos pela ANTAQ. A amostra se restringe àqueles terminais que participaram das pesquisas sobre desempenho portuário de responsabilidade da ANTAQ no referido ano.

A seção 3.2 mostra os principais trabalhos desenvolvidos na área; a seção 3.3 traz uma breve noção das técnicas não paramétricas de medição da eficiência técnica utilizadas neste capítulo; a seção 3.4 apresenta a definição das variáveis e os modelos escolhidos; a seção 3.5 mostra os resultados obtidos, finalizando com as conclusões na seção 3.6.

3.2 Revisão da Literatura

O modelo não paramétrico DEA, formulado e desenvolvido por Charnes *et al.* (1978), possibilita a análise comparativa de processos com escalas diferentes com o auxílio da fronteira de produção, possibilitando a hierarquização dos processos segundo um critério de desempenho previamente definido. O objetivo do DEA é identificar unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* - DMUs) como eficientes ou ineficientes, assim como determinar procedimentos para ajustar os *inputs* e *outputs* das DMUs ineficientes para que estas atinjam a eficiência.

O uso dessa técnica possui várias vantagens. Entre elas tem-se que é possível trabalhar com múltiplos *outputs*, diferentemente da análise da fronteira de produção estocástica (SPF) e de outras análises onde apenas um *output* pode ser levado em consideração, e o peso de cada insumo é avaliado de forma isolada. Outra vantagem advém do fato do DEA ser um modelo não paramétrico, o que significa que não há necessidade, a priori, de se assumir qualquer tipo de relação entre *outputs* e *inputs*, ou mesmo para a distribuição de probabilidade dos escores de eficiência técnica, o que também não é possível ao se utilizar a SPF onde tais suposições precisam ser estabelecidas e atendidas sob pena de viés da estimação.

Além das vantagens apresentadas, pode-se citar ainda que o método DEA permite obter novas descobertas em ramos ou unidades de produção que tenham sido fonte de estudos de outros métodos. Por exemplo, a aplicação do método permite que se encontrem várias origens de ineficiências em empresas que haviam sido escolhidas como *benchmarks* em estudos anteriores que utilizavam como critério de escolha apenas a lucratividade das mesmas (COOPER et al., 2007).

A técnica DEA tem sido amplamente usada para avaliar a eficiência técnica de portos. Entenda-se por eficiência técnica como sendo a produtividade relativa ao longo do tempo ou espaço, ou ambos, e que a mesma pode ser melhorada através de uma melhor alocação e utilização de uma combinação adequada de diferentes entradas para produzir as saídas pretendidas (ITOH, 2002).

Wang e Cullinane (2006) analisaram a eficiência de 104 portos de contêiner da Europa, distribuídos por 29 países, e suas principais conclusões são que a ineficiência permeia a maioria dos portos e que produção em larga-escala tende a ser associada a alta eficiência.

Outros trabalhos podem ser citados como Roll e Hayuth (1993), que trabalharam com dados numéricos hipotéticos de vinte portos; Martinez-Budria *et al.* (1999) e Díaz-Hernández *et al.* (2008), que trabalharam com portos espanhóis e concluíram que portos de maiores complexidades e de maior porte são mais eficientes; Tongzon (2001), que focou seu trabalho em 4 portos australianos e outros 12 portos de contêineres internacionais; Valentine e Gray (2001), que estudaram 31 portos de contêineres retirados da lista dos 100 melhores portos de contêineres mundiais para o ano de 1998; Itoh (2002), que preferiu estudar os 8 maiores portos japoneses na década de 90; e Barros e Athanassiou (2004) que compararam a eficiência entre portos gregos e portugueses.

Dentre os trabalhos que tiveram como objeto de estudo os portos brasileiros, pode-se citar Sousa Júnior (2010) e Bertoloto (2010) que utilizaram como um dos *inputs* a extensão total dos berços (em metros) e o calado máximo (em metros) do porto; Acosta (2008) que incluiu mais um *input* em seu trabalho que foi "área de armazenamento de contêineres"; Fontes (2006) que só trabalhou com a extensão total do cais como variável de entrada; e Rios e Maçada (2006) que mediram a eficiência técnica de terminais de contêineres localizados no Mercosul nos anos de 2002-2004.

Neste último trabalho, os autores incluíram o maior número de variáveis em seu modelo: ao todo foram 05 (cinco) *inputs* - N° de guindastes, N° de berços, Área do terminal, N° de funcionários do terminal e N° de equipamentos do pátio; e mais 02 (dois) *outputs* –

quantidades de contêineres movimentados em TEUs e número médio de contêineres por hora/navio. Todos os dados foram coletados diretamente dos terminais de contêineres. Também merece destaque o fato de que foi o único trabalho que focou exclusivamente em terminais de contêineres brasileiros, enquanto que os demais autores brasileiros utilizaram-se de dados agregados para os *inputs* (dados para o porto como um todo, não para terminais específicos) e *outputs* (somatório de dois ou mais tipos de cargas).

Já o trabalho de Wanke et al. (2011), que também coletou dados diretamente dos terminais mediante aplicação de questionários, não focou unicamente em contêineres (apenas 20% de sua amostra). Os autores inovaram ao introduzir como *input* o tamanho do estacionamento para receber caminhões de carga no terminal (em número de caminhões), além da área do terminal (em m²). Todos os dados referiam-se a 2008.

O modelo apresentado nesta tese se diferencia dos demais uma vez que nenhum dos modelos construídos por outros autores para portos/terminais brasileiros consideraram simultaneamente os *inputs* "profundidade do canal do terminal", a "extensão total do cais do terminal" e o "número de berços do terminal". Bertoloto (2010) foi o único que utilizou a extensão dos berços e a sua profundidade como *inputs*, entretanto, o foco do seu trabalho não era carga conteneirizada, mas sim os segmentos de carga geral, granel sólido, granel líquido e misto.

Um resumo dos trabalhos citados é mostrado no Quadro 3.1.

3.3 Metodologia

3.3.1 Modelagem DEA e FDH

Os modelos de envelopamento podem admitir retornos constantes de escala (DEA-CCR) ou retornos variáveis de escala (DEA-BCC); podem ainda serem orientados a *inputs* ou a *outputs*; podem admitir um descarte forte ou fraco; e podem diferir quanto ao tipo de medida de eficiência: radial ou não radial.

O modelo DEA-CCR foi concebido por Charnes *et al.* (1978) e considera retorno constante à escala de produção. Posteriormente, Banker *et al.* (1984) conceberam o DEA-BCC, presumindo retornos variáveis, (também conhecido como modelo VRS – *Variable Returns to Scale*). Ao tornar a fronteira convexa, o modelo BCC permite, teoricamente, que

DMUs que operam com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala.

Ambos os modelos são apresentados na Tabela 3.1. As variáveis de decisão são as mesmas do modelo orientado a *inputs*. Entretanto, o θ representa por quanto todas as entradas devem ser multiplicadas no modelo orientado a *inputs*, mantendo-se constantes os produtos, para a DMU atingir a fronteira eficiente; já o ϕ representa por quanto todas as saídas devem ser multiplicadas no modelo orientado a *outputs*, sem alterar as entradas, com o mesmo objetivo de se atingir a fronteira eficiente.

Quadro 3.1 - Mensuração de eficiência portuária: o uso de modelos DEA.

Autores	Objetivos	Descrição dos dados	Modelo DEA usado	Inputs	Outputs
Roll and Hayuth (1993)	Analisar a eficiência portuária.	Dados hipotéticos de 20 Portos.	CCR	Mão de obra, capital, uniformidade de cargas.	Movimentação de cargas, nível dos serviços prestados, satisfação do usuário, número de atracações.
Martinez-Budria <i>et al</i> (1999)	Analisar a eficiência portuária.	26 portos espanhóis, 1993-1997.	BCC	Custo com mão de obra, taxas de depreciação, outras despesas.	Movimentação de cargas, receitas obtidas com o aluguel de instalações portuárias.
Tongzon (2001)	Testar fatores que influenciam na performance e eficiência portuária.	04 portos australianos e mais 12 outros portos de contêineres, 1996.	CCR Aditivo	Número de guindastes, de berços e rebocadores para contêineres, área do terminal, tempo de espera, mão de obra.	Movimentação de cargas, taxa de trabalho.
Valentine and Gray (2001)	Determinar se há um tipo particular de propriedade e estrutura organizacional que conduz a um porto ser mais eficiente.	31 portos de contêineres retirados da lista dos 100 melhores portos de contêineres mundiais, 1998.	CCR	Total de ativos (US\$), comprimento total do berço para contêineres.	Número de contêineres, quantidade de carga movimentada em tons.
Itoh (2002)	Analisar a eficiência portuária.	08 maiores portos japoneses, 1990-1999.	CCR BCC	Área do terminal de container (m ²), número de berços para contêineres	Importação e exportação de contêineres movimentados ao ano em cada porto em TEUs.
Barros e Athanassiou (2004)	Comparar a eficiência portuária e encontrar os principais <i>benchmarks</i> .	06 portos marítimos internacionais na Grécia e Portugal, 1998-2000.	CCR BCC	Mão de obra, capital.	Número de navios atracados, número de fretes contratados, quantidade de carga movimentada, movimentação de contêineres.
Wang and Cullinane (2006)	Criar um <i>ranking</i> de terminais, referentes a sua localização e escala.	104 terminais europeus, 2003.	CCR BCC	Extensão do cais, área do terminal, custos com equipamentos.	Movimentação de cargas em contêineres.
Rios e Maçada (2006)	Analisar a eficiência portuária.	15 terminais de contêineres brasileiros, 06 argentinos e 02 uruguaios, 2002-2004.	BCC	Número de guindastes, de berços, de empregados, área do terminal, quantidade de equipamentos do pátio.	TEUs movimentados, número médio de contêineres movimentados por hora/navio.

(continua)

Quadro 3.1 - Mensuração de eficiência portuária: o uso de modelos DEA.

(continuação)

Autores	Objetivos	Descrição dos dados	Modelo DEA usado	Inputs	Outputs
Díaz-Hernández <i>et al.</i> (2008)	Medir as variações de produtividade no transporte de carga movimentadas nos portos espanhóis.	21 portos espanhóis, 1994-98.	CCR BBC Aditivo	Homens-hora, guindaste-hora.	Carga geral em contêineres, carga geral não-conteneirizada, carga sólida a granel.
Fontes (2006)	Analisar a eficiência técnica de portos brasileiros.	31 portos brasileiros, 1999-2001.	BCC	Extensão total do cais aportável.	Movimentação total de embarcações, movimentação total da carga movimentada
Acosta (2008)	Analisar a eficiência técnica de portos.	27 portos brasileiros, 2004-2005.	CCR	Profundidade do canal, extensão total de cais e área de armazenagem	Soma de granéis sólidos, líquidos, carga geral e contêineres (em toneladas)
Souza Júnior (2010)	Medir a eficiência relativa dos portos.	22 portos e terminais da região Nordeste do Brasil, 2006.	CCR	Para terminal de contêineres: - extensão do berço Para demais tipos de cargas: - tamanho do berço e calado	Para terminal de contêineres: - movimentação em TEU Para demais tipos de cargas: - quantidade de carga movimentada
Bertoloto (2010)	Analisar a eficiência técnica relativa de portos públicos e terminais de uso privativo.	48 portos e terminais de uso privado brasileiros, 2007-2009.	BCC	Extensão total dos berços (em metros) e o calado máximo (em metros) do porto ou terminal	Soma de granéis sólidos, líquidos, carga geral e contêineres (em toneladas).
Wanke <i>et al.</i> (2011)	Medir a eficiência relativa dos portos.	25 terminais portuários brasileiros, 2008.	CCR e BCC	Área do terminal (em m ²), tamanho do estacionamento para receber caminhões de carga (em número de caminhões), e número de berços.	Total da carga líquida, sólida e em contêineres movimentada por ano (em toneladas); e número de navios atracados por ano.

Fonte: Essa pesquisa

(conclusão)

Formalmente, considere-se a existência de n DMUs. Cada DMU ($j=1, 2, \dots, n$) possui m insumos x_{ij} ($i=1, 2, \dots, m$) que produzem s outputs y_{rj} ($r=1, 2, \dots, s$). Seja λ um vetor não negativo, que forma combinações lineares para as n DMUs, e s_i^- e s_r^+ representam as folgas para *inputs* e *outputs* respectivamente. Para resolver o problema de otimização, primeiro se obtém, para cada DMU, um conjunto de soluções possíveis para θ ou ϕ (dependendo da orientação do modelo) e λ_j , ignorando as folgas. Com essas soluções é possível calcular as respectivas folgas para cada DMU no segundo estágio. Considere ainda que $\varepsilon > 0$ é um número não-Arquimediano (infinitesimal), permitindo a minimização sobre θ ou a maximização sobre ϕ de forma a impedir a otimização envolvendo as folgas s_i^- e s_r^+ num primeiro momento.

A eficiência técnica derivada a partir de modelos DEA-CCR e DEA-BCC são frequentemente utilizadas para obter a medida de eficiência de escala, como mostrada na Eq. (3.1) (COOPER et al., 2007).

$$SE_j = \frac{\theta_{CCR_j}^*}{\theta_{BCC_j}^*} \text{ ou } \frac{1/\phi_{CCR_j}^*}{1/\phi_{BCC_j}^*} \quad (3.1)$$

onde SE_j representa a eficiência de escala da j -ésima DMU, enquanto que $\theta_{CCR_j}^*$ e $\theta_{BCC_j}^*$ são as eficiências técnicas obtidas pelos modelos DEA-CCR e DEA-BCC respectivamente (modelo orientado a entrada). Quando $SE_j = 1$ indica que aquela DMU apresenta eficiência de escala, ou seja, a lei dos rendimentos constantes prevalece para a j -ésima firma. Quando $SE_j \neq 1$, significa que rendimentos variáveis (crescente ou decrescentes) de escala acontecem para a j -ésima firma. Tais retornos serão crescentes se $\lambda_j^* < 1$ para qualquer DMU num modelo CCR; ou decrescentes se $\lambda_j^* > 1$, onde “*” se refere a uma solução ótima para $\theta_{CCR_j}^*$ ou $\phi_{CCR_j}^*$ (dependendo da orientação do modelo). (COOPER et al., 2011).

Tabela 3.1 – Modelos envelopados DEA-CCR e DEA-BCC.

Tipo de Fronteira	Orientados a <i>inputs</i>	Orientados a <i>outputs</i>
CRS	$\min \theta - \varepsilon (\sum_{i=1}^m s_r^- + \sum_{r=1}^s s_r^+)$ <p>Subject to</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_i^+ = y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$ $\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n.$	$\max \phi + \varepsilon (\sum_{i=1}^m s_r^- + \sum_{r=1}^s s_r^+)$ <p>Subject to</p> $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_i^+ = \phi y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$ $\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n.$
VRS	Add $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$	

Fonte: Zhu (2009).

Já o modelo não paramétrico FDH foi concebido por Deprins *et al.* (1984), desconsiderando a hipótese de convexidade. Este modelo apenas mantém o pressuposto de livre descarte, sendo portanto menos limitante que os demais. Na prática, a fronteira do conjunto de produção é simplesmente o limite do cone de livre disponibilidade do conjunto de dados (SOUSA; RAMOS, 1999).

Formalmente, a medida de eficiência usada em modelos FDH é obtida a partir de:

$$\varphi^* = \max_{\lambda} \min_{r=1,2,\dots,s} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}}{y_{ro}} \right\}, \text{ tal que } \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \in (0, 1) \quad (3.2)$$

Obtém-se a fronteira de produção nesse método comparando-se insumos e produtos de forma a estabelecer as DMUs dominantes. Entenda-se por dominante aquela firma que produz uma quantidade maior de *output* a partir de uma quantidade igual ou menor de insumos em relação a uma outra firma. Uma observação é declarada ineficiente se ela for dominada por pelo menos uma outra observação.

A figura 3.1 ilustra essa metodologia para o caso em que se considera um insumo e um produto. Nesse gráfico, os pontos *ABDC* descrevem a fronteira de produção associada ao método FDH. Por construção, toda observação ineficiente é necessariamente dominada por pelo menos uma observação. Então, a observação *D* é eficiente e domina a observação *P*: comparando-se os pontos *P* e *D*, pode-se ver que em *D* é possível produzir mais com menor quantidade de insumos. Por outro lado, a observação *A* não domina nem tampouco é

dominada por qualquer outra observação. Diz-se, então que essa observação é eficiente por *default*. (Sousa & Ramos, 1999).

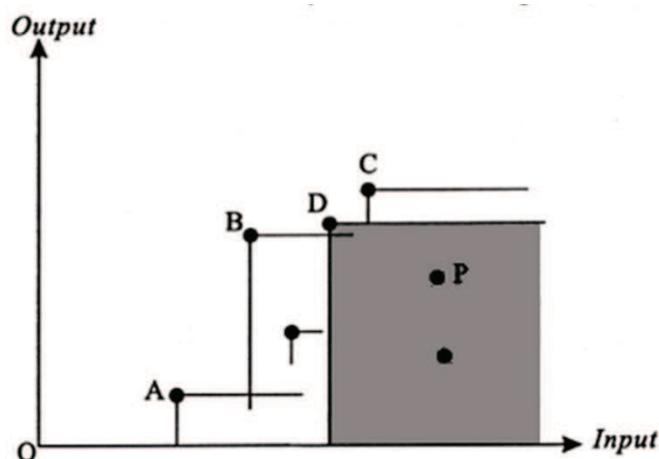


Figura 3.1 - Método FDH de construção da fronteira de produção.
Fonte: Tulkens (1990).

A Figura 3.2 mostra as fronteiras DEA-CCR, DEA-BCC e FDH. Percebe-se claramente quais seriam as implicações da hipótese de convexidade. A fronteira do conjunto de produção associada ao método DEA-CCR é dada pelo segmento OF. Excluindo-se a origem, a fronteira do conjunto de produção é dada pelo segmento VABCD, correspondente à variante DEA-BCC que incorpora retornos de escala variáveis. Finalmente, a fronteira FDH é dada pelo segmento VAEBGHJCD.

Observe que o ponto E não seria eficiente segundo o modelo DEA-CCR e nem de acordo com o DEA-BCC, mas ele representa um ponto de eficiência segundo a técnica FDH. Isto nos permite afirmar que existe uma relação entre essas fronteiras, sendo possível uma ordenação dos índices de eficiência associados às metodologias DEA e FDH, tal que $0 < \theta_{CCR_j}^* < \theta_{BCC_j}^* < \varphi_{FDH_j}^* < 1$ (desigualdade FGL com o índice FDH, φ , incluído). (Sousa & Ramos, 1999).

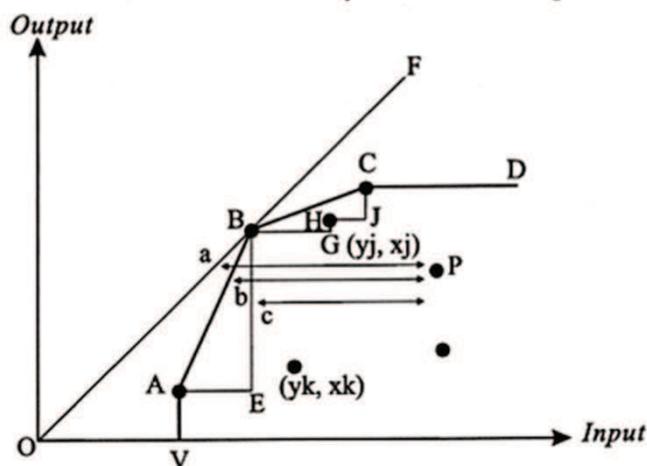


Figura 3.2 - Formas alternativas de construção da fronteira de produção não-paramétricas.

Nota: P_a = DEA-CCR; P_b = DEA-BCC; P_c = FDH.

Fonte: Tulkens (1990)

Assim, uma DMU considerada eficiente pelo método DEA-CCR será eficiente em todas as outras metodologias. Enquanto que uma DMU considerada ineficiente pela técnica FDH, será considerada ineficiente pelas demais.

3.4 Construção do Modelo DEA para Análise da Eficiência Portuária

Dependendo do tipo de carga movimentada em um porto tem-se uma combinação diferente de *inputs* necessários para a obtenção de um determinado *output*, ou seja, a necessidade de um determinado insumo pode ser maior ou menor a depender do tipo de carga que se está trabalhando: graneis líquidos, graneis sólidos, carga geral containerizada ou não. Esta seria uma primeira dificuldade encontrada ao se desejar obter uma função de produção para cada cenário. Outras dificuldades poderiam ser enumeradas como, por exemplo, que nem sempre as informações estão disponíveis e isto piora se os portos comparados pertencerem a países diferentes. Às vezes, um indicador encontrado para um país, não o é para outro, dificultando uma possível comparação entre eles.

Se observados os trabalhos desenvolvidos por autores brasileiros, nota-se que eles procuraram adaptar as informações disponíveis nos *sites* das autoridades portuárias para os *inputs* e se utilizaram de pesquisas secundárias de fontes oficiais brasileiras para obter os *outputs*. Isto não inviabilizou suas pesquisas, mas certamente, o Brasil ainda não possui uma

uniformização no que diz respeito às informações disponibilizadas ao público em geral. Em outras palavras, é comum não se encontrar dados que permitam uma desagregação suficiente por terminal portuário, ou ainda, pela própria existência de portos que não procuraram realizar um zoneamento do seu espaço para se tornarem mais organizados e/ou competitivos, tal desagregação é impossível de se obter.

Portanto, existe certa limitação tanto nos *inputs* quanto nos *outputs* escolhidos para avaliação de portos brasileiros, se comparado com as informações disponíveis em outros países.

Dadas as informações disponíveis, foram utilizados três variáveis como *inputs*. São elas: número de berços que movimentaram contêineres (unidades), extensão do berço (m), e profundidade do berço (m). Já como *outputs* tem-se mais três: movimentação de contêineres (unidades), prancha média (unidades de contêineres/h), e taxa de consignação (unidades de contêineres/navio).

O primeiro *output* refere-se à quantidade de contêineres movimentados em unidades em um determinado terminal. Quase todos os estudos anteriores incluíram essa variável em seus modelos porque ela está intimamente relacionada à necessidade de instalações e serviços de movimentação de cargas. Além disso, este *output* é a base principal sobre a qual são comparados os terminais de contêineres, especialmente em relação ao seu tamanho (porte), ou à magnitude dos investimentos realizados pelo porto, ou nos níveis de atividade praticados. Outra consideração feita por alguns autores é de que este *output* é o indicador mais adequado e analiticamente tratável da eficiência de produção de um porto.

A prancha média, 2º *output* do modelo, indica a produtividade média de cada terminal medida em relação ao tempo de atracação dos navios, tomado como tempo de atendimento. Espera-se que este indicador seja o maior possível já que tanto a diminuição do tempo de atracação quanto o aumento das cargas movimentadas implica em redução de custos para o navio e possibilita aos agentes portuários um aumento no número de atracações gerando mais receita para o porto.

No modelo desenvolvido neste capítulo, adicionalmente, utiliza-se um terceiro *output*, que indica a característica do tamanho de navio que frequenta o terminal de contêineres. Como este *output* representa uma taxa que mede o total das unidades de contêineres movimentados por número de atracações, quanto maior for essa taxa, menor seria o custo para o navio de maior capacidade com alguns serviços portuários, menor seria o tempo gasto com a burocracia envolvida entre o agente portuário e o navio, e menor o tempo de atracação e

carregamento/descarregamento da mercadoria caso o mesmo montante estivesse distribuído em dois navios, ao invés de um navio apenas. Apenas portos com canais de acesso e profundidades maiores podem se utilizar de navios maiores e em um único berço, deixando os demais berços para o carregamento/descarregamento de um outro navio. É uma forma de otimizar a infraestrutura portuária e aumentar a quantidade de carga movimentada. Existe, portanto, um ganho de ambos os lados (porto e cliente) nesses terminais, sendo importante a sua inclusão no modelo quando se quer medir a eficiência de um determinado terminal.

A fonte dos dados para as variáveis de saída foi a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Procurou-se ter como base inicial as informações oficiais disponíveis no último relatório de Desempenho Operacional dos Serviços Portuários que traz vários indicadores operacionais e estatísticos, com base em dados e informações recebidas das Administrações dos Portos Organizados e dos Terminais de Uso Privativo, associados às operações dos navios – carregamento e descarga – que operam em cada uma destas instalações portuárias brasileiras. O ano de referência foi 2009, por ser o último disponibilizado pela ANTAQ. É importante frisar que a unidade decisora (DMU) nesta tese não é o porto como um todo, mas terminais específicos em cada porto que operaram com contêineres e informaram à ANTAQ tais operações.

Para obtenção das saídas acima escolhidas e para facilitar as operações de um porto, uma variedade de insumos são necessários. A priori, seriam necessárias informações sobre mão de obra, bens de capital e terra. Levando-se em conta que nem sempre existem dados confiáveis ou disponíveis no que diz respeito à mão de obra, informações sobre esse insumo podem ser obtidas a partir de uma relação pré-determinada e altamente correlacionada com as facilidades dos terminais. Em outras palavras, o número de guindastes, berços e a área do terminal terminam por guardar uma relação implícita entre número de funcionários necessários e infraestrutura portuária, assim, os resultados obtidos continuam confiáveis (WANG *et al.*, 2003).

Dessa forma, buscou-se complementar esta base de dados com as variáveis de entrada disponíveis que foram os *inputs* "profundidade do canal do terminal", a "extensão total do cais do terminal" e o "número de berços do terminal". Tais *inputs* foram encontrados para a grande maioria dos terminais da amostra, tendo como fonte primária os sítios dos próprios terminais da amostra. Vale enfatizar que nenhum dos modelos construídos por outros autores para portos/terminais brasileiros consideraram esses três *inputs* simultaneamente. Bertoloto (2010) foi o único que utilizou a extensão dos berços e a sua profundidade como *inputs*, entretanto, o

foco do seu trabalho não era carga conteneirizada, mas sim os segmentos de carga geral, granel sólido, granel líquido e misto;

Ademais, alguns terminais foram retirados da amostra por não ser possível obter alguns dados de entrada. Outra observação pertinente é que os terminais Libra T-35 e T-37 do Porto de Santos tiveram que ser agregados, pois não se encontrou informações desagregadas. De qualquer forma, os terminais retirados respondiam apenas por 1% dos containeres movimentados, não representando assim grandes prejuízos na análise dos resultados obtidos.

Ao todo, a amostra continha 25 terminais portuários brasileiros pertencentes a 17 portos responsáveis por cerca de 80% dos contêineres movimentados no Brasil no ano de 2009; com seis variáveis ao todo, atendendo desta forma às recomendações encontradas na literatura no que se refere ao tamanho da amostra de no mínimo três e preferencialmente quatro vezes o número total de *inputs* e *outputs*. (Sarkis, 2007). Estatísticas importantes relacionadas à amostra podem ser vistas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Resumo estatístico para a amostra ($n = 25$ DMUs)

	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	c. v.
Extensão do berço (m)	250	1.656	549	450	1,71
Profundidade do berço (m)	7,3	20	12,1	12,0	4,99
N. de berços (unidades)	1	5	2	2	2,25
Movimentação de containeres (unidades)	540	663.992	121.130	35.208	0,71
Prancha média (unidades de containeres/h)	4	36	17	14	1,89
Taxa de consignação (unidades de containeres/navio)	57	650	267	225	1,66

Fonte: Essa pesquisa.

3.4.1 Modelos Propostos

Modelos DEA podem ser diferenciados de acordo com o tipo de orientação que se pretenda ter. O modelo orientado para a entrada está intimamente relacionado a questões operacionais e de gestão, enquanto o orientado à saída está mais relacionado ao planejamento e estratégias macroeconômicas. Ambas as orientações têm a sua utilidade no contexto da indústria portuária de contêineres (Cullinane, Wang, Song, & Ji, 2006).

Modelos orientados à entrada podem ser aplicados quando o foco é descobrir o quão eficientemente os insumos portuários estão sendo utilizados. Os portos que movimentam contêineres possuem instalações de longa duração e um horizonte de planejamento a longo prazo. Uma vez que um porto é construído, a sua capacidade de movimentação de cargas em potencial (porte) é fixada dentro de aproximadamente algum intervalo de tempo. Em geral,

um porto é capaz de prever e sua movimentação de contêineres pelo menos para o ano seguinte, já que possui uma clientela de linhas de transporte razoavelmente estável. No curto prazo, salvo acidentes como o ocorrido no Porto de Chibatão (AM) em 2010 e no porto de Itajaí (SC), em 2008, que causaram grandes estragos em sua estrutura física, os terminais de contêineres podem ainda tentar prever sua movimentação futura estudando seus dados históricos (séries de movimentação de carga dos últimos anos para previsão futura) ou observando o desenvolvimento econômico regional local. Dado como fixa, portanto, a movimentação de contêineres, justifica-se o uso de modelos orientados a entrada. Nesse caso, o quão eficientemente o porto utiliza seus insumos é a chave para diminuir custos na produção portuária. (CULLINAME et al., 2006)

Por outro lado, com a rápida expansão dos negócios globais e do comércio internacional, muitos portos de contêineres necessitam rever a sua capacidade produtiva com frequência, a fim de assegurar-se que podem fornecer serviços satisfatórios para seus clientes e manter a sua vantagem competitiva. Às vezes, a necessidade de se construir um novo terminal ou aumentar a capacidade é inevitável, como é o caso do Porto de Santos (SP) e outros grandes portos brasileiros que estão operando próximos a sua capacidade de produção. No entanto, antes de um porto implementar tal plano, é de grande importância saber se suas instalações já existentes foram totalmente usadas e que sua produção (saída) tem sido maximizada dado os recursos existentes. Nesse contexto, o modelo orientado a *output* funciona como referência para a indústria de contêineres. (CULLINAME et al., 2006)

Neste capítulo optou-se por desenvolver três modelos não paramétricos: DEA do tipo CCR e BCC e um outro modelo FDH (*Free disposal hull*), todos com orientação voltada para *output* (obter o máximo nível de *output* mantendo os *input* fixos), dada as crescentes taxas de crescimento observadas para este modal marítimo. A escolha pelo modelo DEA-CCR e DEA-BCC se justifica por que a priori não se sabe se existem ganhos de escala nos terminais da amostra e desse modo será possível descobrir também quais terminais são os mais eficientes de todos os modelos a serem construídos. O modelo FDH por sua vez fornecerá quais terminais são os mais ineficientes dentre todos.

É relevante ressaltar que além da existência de poucos trabalhos se utilizando de portos brasileiros como objetos de estudo, nenhum deles utilizou a abordagem FDH em seus modelos. O uso desta técnica permitiu a obtenção de uma subamostra mais rigorosa dos terminais ditos ineficientes, já que estes também se mostrariam ineficientes nas abordagens

DEA-CCR e DEA-BCC, tornando possível um olhar mais cuidadoso sobre tais terminais. Isso reforça ainda mais a importância do presente estudo.

3.5 Resultados Empíricos e Análises

Para o cálculo do índice de eficiência dos terminais e *benchmarks* foi usado o *software* EMS (SCHEEL, 2000), versão 1.3. Para obter os retornos e as eficiências de escala, as folgas e realizar alguns testes estatísticos utilizou-se a plataforma computacional R (R Core Team, 2013). Sem conhecimento prévio da existência de rendimentos de escala na função de produção dos terminais analisados, foi necessário trabalhar inicialmente com o modelo DEA-CCR que não considera retornos variáveis de escala. Se fosse verificado que retornos constantes se aplicavam a alguns terminais, a eficiência de escala seria igual à unidade.

Como resultados, tanto os terminais mais eficientes quanto os mais ineficientes podem ser visualizados facilmente na tabela 3.3. O modelo DEA-CCR foi o que apresentou o menor número de terminais portuários considerados eficientes, apenas 05 (cinco), consequência das hipóteses mais restritivas assumidas por esta abordagem. Já as abordagens DEA-BCC e FDH apontaram, respectivamente, 11 e 14 terminais como eficientes. Considerando-se que os terminais tidos como eficientes na abordagem DEA-CCR o são para qualquer uma das outras, pode-se afirmar com segurança, a partir dos resultados obtidos, que esses terminais tiveram uma performance superior à dos demais. Diametralmente oposto, tem-se que os terminais reputados como ineficientes na metodologia FDH tiveram incontestavelmente um desempenho insuficiente.

Tabela 3.3 – Eficiência dos terminais para os modelos DEA-CCR, DEA-BCC e FDH (terminal eficiente = 1; terminal ineficiente < 1).

DMU - Porto/TUP	Terminal	DEA-CCR	DEA-BCC	FDH	Eficiência de escala	Retornos de escala
Santos-SP	TECONDI	1,00	1,00	1,00	1,00	Constante
Santos-SP	TECON	1,00	1,00	1,00	1,00	Constante
Suape-PE	Cais Público	1,00	1,00	1,00	1,00	Constante
Vitória-ES	Comercial	1,00	1,00	1,00	1,00	Constante
Paranaguá-PR	TCP	1,00	1,00	1,00	1,00	Constante
Itajaí-SC	TECONVI	0,95	1,00	1,00	0,95	Crescente
Santos-SP	Rodrimar	0,92	1,00	1,00	0,92	Crescente
Vila do Conde-PA	Cais Público	0,80	1,00	1,00	0,80	Crescente
Maceió-AL	EMPAT	0,80	1,00	1,00	0,80	Crescente
Belém-PA	Cais Público	0,71	1,00	1,00	0,71	Crescente
Vitória-ES	Peiu	0,59	1,00	1,00	0,59	Crescente
Imbituba-SC	Cais Público	0,83	0,99	1,00	0,83	Crescente
Vitória-ES	TVV	0,81	0,90	1,00	0,90	Crescente
Rio Grande-RS	TECON	0,84	0,88	1,00	0,96	Crescente
Salvador-BA	TECON	0,96	0,96	0,96	1,00	Constante
Santos-SP	LIBRA (T.35) e LIBRA (T37)	0,83	0,86	0,86	0,96	Decrescente
TUP Chibatão-AM	Chibatão	0,77	0,85	0,85	0,90	Decrescente
Santarém-PA	Cais Público	0,36	0,36	0,80	0,97	Crescente
Suape-PE	TECON	0,68	0,68	0,79	1,00	Constante
Maceió-AL	Cais Público	0,32	0,36	0,75	0,89	Crescente
São Francisco do Sul- SC	Cais Público	0,51	0,53	0,63	0,96	Crescente
Fortaleza-CE	Cais Público	0,45	0,45	0,57	0,99	Crescente
São Francisco do Sul- SC	TESC	0,33	0,33	0,33	1,00	Constante
Natal-RN	Cais Público	0,24	0,25	0,32	0,97	Crescente
Itaqui-MA	Cais Público	0,10	0,11	0,11	0,93	Decrescente
Valores médios		0,71	0,78	0,84		

Fonte: Essa pesquisa.

Fazendo-se uma conexão com os resultados apresentados no capítulo 2, o terminal Tecon do Porto de Santos, além de classificado como o mais competitivo da amostra (grupo 3), aqui também se configura como um terminal eficiente (Figura 3.3).

Dos 3 terminais do grupo 2, apontados como 2º, 3º e 4º maiores terminais brasileiros em números de contêineres movimentados no ano de 2010, e com critérios de competitividade médios intermediários; somente os terminais Libra (T35 + T37) foram apontados como ineficientes, apresentando uma eficiência técnica igual a 0,86 pela abordagem FDH.

O terminal TCP do Porto de Paranaguá/PR foi considerado eficiente (abordagem DEA-CCR pois ele apresenta retornos constantes de escala), juntamente com o terminal Tecon do Porto de Rio Grande/RS (abordagem FDH pois possui retorno variável de escala).

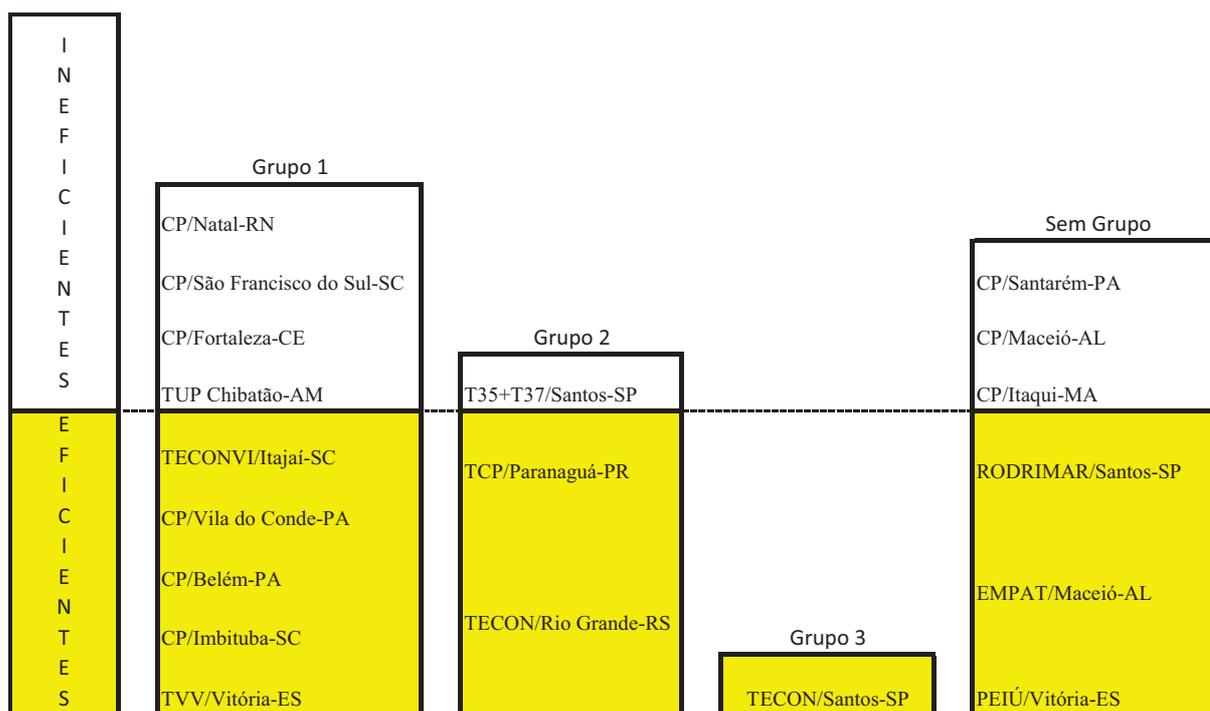


Figura 3.3 – Eficiência técnica x competitividade.
 Fonte: Essa pesquisa.

Os terminais portuários do grupo 1, os menos competitivos da amostra, se distribuem entre eficientes e ineficientes, conforme mostra a Figura 3.3. Dos 07 (sete) terminais ineficientes deste grupo, somente 01 (um) é especializado na movimentação de contêineres (TUP Chibatão). Já entre os demais considerados eficientes deste grupo, são especializados os terminais TECONVI/Itajaí-SC e o TVV/Vitória-ES.

Este último grupo não permite a visualização de qualquer relação entre eficiência, competitividade, especialização e localização geográfica. É possível que um terminal seja eficiente, mesmo apresentando baixos valores de competitividade, não especializado em cargas containerizadas, e que não se situe na região sul ou sudeste brasileira, a qual movimenta um quantitativo de cargas bem superior à região norte-nordeste. Como exemplo, tome os cais públicos do porto de Belém e do porto de Vila do Conde, ambos no Pará.

Sobre a questão geográfica, ainda, o sistema portuário brasileiro como um todo é composto por 37 portos públicos, entre marítimos e fluviais (Figura 3.4). Existem, ainda, 42 terminais de uso privativo e três complexos portuários que operam sob concessão à iniciativa privada, entre eles Chibatão no estado do Amazonas. Observa-se que dos 05 terminais mais eficientes pelo modelo DEA-CCR (Tabela 3.3), quatro deles estão na região sul e sudeste.

Apenas um, Suape/PE, encontra-se na região nordeste do Brasil. Juntos, eles respondiam por 40% dos contêineres movimentados de toda a amostra. Enquanto que os 11 terminais mais ineficientes pelo modelo FDH, 08 deles estavam localizados na região norte e nordeste brasileira, movimentando um montante inferior, 33% dos contêineres.

Haveria uma relação entre eficiência técnica *versus* movimentação de cargas *versus* especialização do terminal *versus* localização geográfica? É o que será discutido na seção seguinte.



Figura 3.4 – Localização dos portos organizados brasileiros.
Fonte: ANTAQ.

3.5.1 Investigação sobre as Relações entre Porte, Especialização e Localização Geográfica de um Terminal com a sua Eficiência Técnica

Uma pergunta comum entre os estudiosos é se deveria esperar que terminais maiores (com grandes movimentações de contêineres) fossem mais eficientes do que pequenos terminais. Ou ainda, se os terminais especializados nesse tipo de carga, por terem um foco maior em produtividade e obtenção de receitas, seriam mais eficientes do que os não

especializados. Em particular no Brasil, os portos localizados nas regiões sul e sudeste movimentaram em 2009 muito mais contêineres que os das regiões norte e nordeste. Para investigar essas possíveis relações, uma vez obtidas as eficiências técnicas nas três abordagens, foi aplicado um teste não paramétrico - Teste da Soma dos Postos de *Wilcoxon* (*Rank Sum Test*) (COOPER *et al.*, 2007), para examinar se haveria diferenças significativas entre as eficiências calculadas em três situações particulares (DÍAZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2008): a) Terminais que movimentaram contêineres acima da média amostral *versus* terminais com movimentação abaixo desta média, b) Terminais especializados *versus* não especializados. Eis os resultados para cada cenário, e c) Terminais localizados nas regiões norte e nordeste *versus* sul e sudeste .

Seriam os terminais mais eficientes os de maiores portes?

Os testes aplicados mostraram que não. O fato do terminal se mostrar eficiente nada teria a ver com a quantidade de contêineres movimentada. O nível de significância adotado para rejeição da hipótese nula (medianas dos escores de eficiências dos terminais maiores = mediana dos escores de eficiências dos terminais menores) foi de 1% para as modelagens DEA-BCC e FDH e de 5% para a DEA-CCR. Ou seja, não existem diferenças estatísticas nas eficiências dos terminais independente do seu porte.

Também foi aplicado o teste de correlação de postos de *Spearman*, ρ_s , para verificar se haveria alguma relação entre carga movimentada e as eficiências calculadas pelos três modelos como um todo, e como resultados obteve-se 0,52; 0,19 e 0,23 para os modelos DEA-CCR, DEA-BCC e FDH respectivamente, todos estatisticamente significativos 1% e a 5%. Os baixos valores para os coeficientes de correlação de *Spearman* sugerem que a eficiência de um terminal não é significativamente afetada pelo seu tamanho. Isto pode ser um indicador de que nem sempre, aqueles portos que se beneficiam de economias de escala, são necessariamente os mais eficientes do que aqueles com baixa movimentação de mercadorias em contêineres.

Seriam os terminais especializados os mais eficientes?

A resposta aqui também foi negativa. Nos dois grupos formados, o primeiro grupo foi formado por onze terminais especializados em cargas containerizadas e, desses, dois, cinco e sete se mostraram eficientes nas modelagens DEA-CCR, DEA-BCC e FDH respectivamente. No outro grupo, 14 terminais não especializados, dois, seis e sete eram eficientes segundo as

mesmas abordagens. Essa configuração levou a rejeição da hipótese nula a um nível de significância de 1% para as abordagens DEA-BCC e FDH e de 5% para a DEA-CCR.

Seriam os terminais localizados no eixo sul-sudeste brasileiro os mais eficientes?

A resposta aqui foi positiva. Os terminais localizados na parte norte e nordeste do Brasil são menos eficientes que os da parte sul e sudeste. Nos dois grupos formados, o primeiro grupo foi formado por treze terminais localizado no eixo sul/sudeste brasileiro e destes, três, sete e dez se mostraram eficientes nas modelagens DEA-CCR, DEA-BCC e FDH respectivamente. No outro grupo, 12 terminais do eixo norte-nordeste, um, quatro e quatro eram eficientes segundo as mesmas abordagens. Essa configuração levou a não rejeição da hipótese alternativa a um nível de significância de 5% para as abordagens DEA-CCR e FDH. e de 12% para a DEA-BCC.

3.5.2 Economias de Escala

Sobre as economias de escala, apenas três terminais apresentaram retornos decrescentes (todos estes também apontados como ineficientes pelas três modelagens). São eles: Terminal Libra 35 em conjunto com o Libra 37 no porto de Santos, o terminal de Chibatão e o cais público do porto de Itaquí/MA. A grande maioria dos terminais se dividiu entre retornos constantes (32% dos terminais) e crescentes de escala (56% dos terminais).

São exemplos de possíveis razões para os terminais que apresentaram retornos decrescentes de escala:

- a) Alguns terminais estão operando próximo da sua capacidade máxima, e o aumento em seus insumos não se refletirá em maior captação de carga ou maior velocidade e eficiência de suas operações na mesma proporção.
- b) Alguns portos não possuem uma grande demanda por carga contêinerizada, e se aproveitam de um mesmo terminal para outros tipos de carga. Logo, aumentar seus insumos poderia trazer resultados satisfatórios muito mais para a captação de cargas não contêinerizadas, do que para contêineres.
- c) É possível que alguns destes terminais sofram com restrições físicas ao seu crescimento como, por exemplo, a não disponibilidade da terra para uma futura ampliação, ou ainda o seu elevado custo e/ou impedimentos ambientais para aquisição de novas áreas ao redor.

Vale frisar que quando se trata de múltiplos *outputs*, afirmar que um terminal possui rendimentos decrescentes de escala é o mesmo que dizer que nenhum *output* está aumentando a uma taxa que exceda a taxa na qual todos os *inputs* sofreram incrementos. O oposto vale para rendimentos crescentes: todos os *outputs* estão aumentando a uma taxa no mínimo igual à taxa de crescimento sofrida por todos os *inputs*.

3.5.3 Folgas e Valores Projetados

Neste ponto, discutir quais os alvos que os terminais apontados como ineficientes deveriam atingir para se tornarem eficientes faz-se necessário para compreender melhor a realidade dos mesmos.

O Quadro 3.2 mostra os valores projetados tanto dos *inputs* quanto dos *outputs*, considerando a abordagem FDH que admite rendimentos variáveis de escala. A maior parte das folgas aconteceram para as variáveis de saída “quantidade de contêineres movimentados” e “taxa de consignação”. Para as variáveis de entrada, as folgas encontradas são devido à projeção em faces não Pareto-eficientes (presença de folgas diferentes de zero), o que faz com que, apesar de o modelo ser orientado a *outputs*, seja indicada a diminuição de um ou mais *inputs* para alcance da eficiência. Tais folgas positivas não devem ser encaradas como um problema grave, pois estas podem decorrer do tamanho da amostra ou ainda devido ao método utilizado para construir a envoltória, segundo Coelli (1998)

De qualquer forma, tais resultados sugerem que para a maioria dos terminais analisados, parcela do cais e/ou berços poderiam no mínimo se manterem como estão e no máximo não serem totalmente utilizados; e mesmo assim se tornaria possível o aumento na movimentação de cargas, sob a forma de contêineres, na velocidade de descarga e uma maior taxa de consignação para tornar o terminal mais eficiente. Falar em diminuição na profundidade dos berços não faz qualquer sentido. Isto pode ser apenas um indicador de que os navios que frequentam os terminais onde essas folgas apresentam baixos calados. Com o crescimento do comércio mundial de mercadorias, essas folgas só tendem a melhorar os resultados nos terminais estudados, não se justificando a sua diminuição.

Tomando como exemplo novamente os terminais Libra 35 e 37, ambos localizados no Porto de Santos (SP), segundo a análise das folgas, eles deveriam captar 13,5% a mais do que movimentaram em 2009 e aumentar sua taxa de consignação em 46%. A operação de navios de maiores capacidades não seria a única forma para esta otimização, pois incrementar a sua

taxa de consignação de 314 para 457 contêineres/navio, não requer uma classe superior de porta-contêineres. Essas metas podem ser alcançadas por um maior volume de cargas movimentadas, mantendo-se relativamente fixo o número de navios que atracam nesses terminais.

Destaca-se que o incremento na captação de cargas depende de fatores econômicos conjunturais. O ano de 2009 foi um ano de baixo crescimento econômico internacional e brasileiro, o que impactou no volume de cargas exportadas e importadas através dos portos. Estudos para anos posteriores são mais que necessários para avaliação dos novos indicadores operacionais e cálculo da eficiência técnica para os terminais analisados.

Já o Terminal de Chibatão, que confundia-se com o próprio porto de Chibatão em 2009, é o único porto privado de toda a amostra e possui o maior calado de todos (12 a 20m dependendo da época do ano). Tal vantagem competitiva em conjunto com a sua proximidade com o distrito industrial de Manaus permite uma grande movimentação de navios de grande porte. Para atingir a sua plena eficiência, ele precisa aumentar em 60% o volume de cargas e em 77% a sua prancha média. A redução sugerida em 15% na sua taxa de consignação significa que ele apresenta resultados bons o suficiente em relação aos demais terminais da amostra para esse *output*. É bem provável que Chibatão já aproveite a sua infraestrutura para receber grandes navios porta-contêineres, mas ainda precisa aumentar a sua captação e ser mais veloz em suas operações. O remanejamento sugerido para utilizar de metade de seus berços, porém de uma extensão quase que idêntica a ocupada pelos 04 berços que possui, reforça essa ideia.

Demais folgas e projeções para tornarem um terminal mais eficiente segundo a modelagem FDH podem ser vistos no Quadro 3.2. As folgas obtidas pelas abordagens DEA-CCR e DEA-BCC fazem parte do Apêndice A.

Quadro 3.2 – Alvos para uma DMU ineficiente se tornar eficiente (modelagem FDH).

(continua)

Porto/TUP	Terminal	Eficiência (FDH)	Valor atual	Folga	Valor projetado	Porto/TUP	Terminal	Eficiência (FDH)	Valor atual	Folga	Valor projetado
Salvador (BA)	TECON	0,96				Santarém (PA)	Cais Público	0,80			
Inputs						Inputs					
EXT			450	60	390	EXT			380	100	280
PB			12	0,3	11,7	PB			11,5	4,2	7,3
NB			2	0	2	NB			2	0	2
Outputs						Outputs					
C			148.920	28.664	172.063	C			3.163	21.499	24.013
PM			26	0	25	PM			8	2	8
TC			169	475	637	TC			225	0	179
Santos (SP)	LIBRA (T.35) + LIBRA (T37)	0,86				Suape (PE)	TECON	0,79			
Inputs						Inputs					
EXT			1.100	590	510	EXT			660	270	390
PB			13,5	0,5	13	PB			15,5	3,8	11,7
NB			5	2	3	NB			2	0	2
Outputs						Outputs					
C			462.727	126.632	525.088	C			144.053	0	113.205
PM			31	0	27	PM			18	4	18
TC			314	186	457	TC			151	458	577
TUP Chibatão (AM)	Chibatão	0,85				Maceió (AL)	Cais Público	0,75			
Inputs						Inputs					
EXT			431,5	41,5	390	EXT			400	120	280
PB			20	8,3	11,7	PB			10,5	3,2	7,3
NB			4	2	2	NB			3	1	2
Outputs						Outputs					
C			95.015	71.428	152.121	C			3.056	21.402	23.694
PM			13	12	23	PM			9	0	7
TC			552	0	469	TC			145	90	198

Nota: EXT = Extensão do berço (m); PB = Profundidade do berço (m); NB = Número de berços (unidades); C = número de contêineres movimentados (unidades de contêineres); PM = Prancha média (containers/h); TC = Taxa de consignação (contêineres/navio).

Quadro 3.2 – Alvos para uma DMU ineficiente se tornar eficiente (modelagem FDH).

(continuação)

Porto/TUP	Terminal	Eficiência (FDH)	Valor atual	Folga	Valor projetado	Porto/TUP	Terminal	Eficiência (FDH)	Valor atual	Folga	Valor projetado
São Francisco do Sul (SC)	Cais Público	0,63				Natal (RN)	Cais Público	0,32			
Inputs						Inputs					
EXT			927	537	390	EXT			540	5	535
PB			12	0,3	11,7	PB			11,5	0,5	11
NB			4	2	2	NB			3	1	2
Outputs						Outputs					
C			102.862	19.943	84.708	C			8.008	62.866	65.420
PM			17	0	11	PM			7	3	5
TC			246	259	414	TC			140	0	45
Fortaleza (CE)	Cais Público	0,57				Itaqui (MA)	Cais Público	0,11			
Inputs						Inputs					
EXT			480	32,59	447,41	EXT			1.656	1146	510
PB			11,5	0,83	10,67	PB			14	1	13
NB			2	0	2	NB			4	1	3
Outputs						Outputs					
C			35.208	75.282	95.401	C			577	658.799	658.863
PM			12	0	7	PM			4	0	0,44
TC			154	66	154	TC			57	38	44
São Francisco do Sul (SC)	TESC	0,33									
Inputs											
EXT			603	213	390						
PB			12	0,3	11,7						
NB			2	0	2						
Outputs											
				137,68							
C			15.208	8	142.757						
PM			9	0	3						
TC			109	323	359						

Fonte: Essa pesquisa.

(conclusão)

Nota: EXT = Extensão do berço (m); PB = Profundidade do berço (m); NB = Número de berços (unidades); C = número de contêineres movimentados (unidades de contêineres); PM = Prancha média (contêineres/h); TC = Taxa de consignação (contêineres/navio).

3.5.4 Principais *Benchmarks*

Pelo método DEA-BCC, os principais *benchmarks* foram os terminais Tecondi do Porto de Santos/SP, o Cais público do porto de Belém/PA e o terminal Tecon, também do porto de Santos/SP, com nove, oito e seis citações respectivamente (Tabela 3.4). Pela abordagem FDH, o porto de Santos (SC) - Tecondi aparece também como principal dominante de seis portos ineficientes: Itaquí (MA) - Cais público, São Francisco do Sul (SC) - Cais público e TESC, Suape (PE) - Tecon, Chibatão (AM) - Chibatão e Salvador (BA) - Tecon. O terminal TVV (porto de Vitória/ES) e o cais público do porto de Belém/PA aparecem empatados com 05 citações cada um.

Tabela 3.4 – Terminais apontados como benchmarks pela modelagem BCC e FDH.

DMU - Porto/TUP	Terminal	Eficiências		Número de citações	
		BCC	FDH	BCC	FDH
Vitoria/ES	TVV	0,90	1,00	-	5
Imbituba/SC	Cais Público	0,99	1,00	-	3
Rio/Grande/RS	TECON	0,88	1,00	-	2
Santos/SP	TECONDI	1,00	1,00	9	6
Belém/PA	Cais Público	1,00	1,00	8	5
Santos/SP	TECON	1,00	1,00	6	2
Paranaguá/PR	TCP	1,00	1,00	2	2
Itajaí/SC	TECONVI	1,00	1,00	1	3
Maceió/AL	EMPAT	1,00	1,00	1	1
Santos/SP	Rodrimar	1,00	1,00	1	1
Vila/do/Conde/PA	Cais Público	1,00	1,00	1	1
Vitoria/ES	Peiú	1,00	1,00	0	1
Suape/PE	Cais Público	1,00	1,00	0	0
Vitoria/ES	Comercial	1,00	1,00	0	0

Fonte: Essa pesquisa.

A Tabela 3.5 permite uma melhor visualização da informação acima. Observa-se que o terminal Tecondi (Porto de Santos/SP), apesar de possuir a menor extensão de berços e o menor calado, apresentou a maior movimentação de contêineres e os maiores valores para os indicadores de prancha média e taxa média de consignação dentre os demais terminais listados, razão pela qual ele é considerado um terminal dominante.

Tabela 3.5 - Posição do terminal de TECONDI do Porto de Santos/SP como benchmark.

Porto/TUP	Terminal	FDH	INPUTS			OUTPUTS		
			EXT	PB	NB	C	PM	TC
Santos/SP	TECONDI	1,00	390	11,7	2	183.312	27	650
Salvador/BA	TECON	0,96	450	12	2	148.920	26	169
TUP Chibatão/AM	Chibatão	0,85	431,5	20	4	95.015	13	552
Suaape/PE	TECON	0,79	660	15,5	2	144.053	18	151
São Francisco do Sul/SC	Cais Público	0,63	927	12	4	102.862	17	246
São Francisco do Sul/SC	TESC	0,33	603	12	2	15.208	9	109
Itaqui/MA	Cais Público	0,11	1.656	14	4	577	4	57

Fonte: Essa pesquisa.

Nota: EXT = Extensão do berço (m); PB = Profundidade do berço (m); NB = Número de berços (unidades); C = número de contêineres movimentados (unidades de contêineres); PM = Prancha média (contêineres/h); TC = Taxa de consignação (contêineres/navio).

Aparecem empatados como o 2^o mais importante benchmark o Cais Público do porto de Belém/PA - que domina os cais públicos dos portos de Natal/RN, de Itaqui/MA, Maceió/AL e Santarém/PA; e o terminal TVV do porto de Vitória/ES. As Tabelas 3.6 e 3.7 são explicativas por si só quando facilmente se observa que esses *benchmarks* apresentam valores iguais ou menores para os *inputs*, e mesmo assim obtêm melhores resultados para todos os *outputs* em relação aos demais terminais listados nas referida tabelas.

Tabela 3.6 - Posição do Cais Público do Porto de Belém/PA como benchmark.

Porto/TUP	Terminal	FDH	INPUTS			OUTPUTS		
			EXT	PB	NB	C	PM	TC
Belém.PA	Cais Público	1,00	280	7,30	2,00	25.477	12,00	283
Santarém.PA	Cais Público	0,80	380	11,50	2,00	3.163	8,00	225
Maceió.AL	Cais Público	0,75	400	10,50	3,00	3.056	9,00	145
Natal.RN	Cais Público	0,32	540	11,50	3,00	8.008	7,00	140
Itaqui.MA	Cais Público	0,11	1.656	14,00	4,00	577	4,00	57

Fonte: Essa pesquisa.

Nota: EXT = Extensão do berço (m); PB = Profundidade do berço (m); NB = Número de berços (unidades); C = número de contêineres movimentados (unidades de contêineres); PM = Prancha média (contêineres/h); TC = Taxa de consignação (contêineres/navio).

Tabela 3.7 - Posição do terminal TVV do Porto de vitória/ES como benchmark.

Porto/TUP	Terminal	FDH	INPUTS			OUTPUTS		
			EXT	PB	NB	C	PM	TC
Vitória/ES	TVV	1,00	447,4	10,7	2	136.896	21	336
São Francisco do Sul/SC	Cais Público	0,63	927	12	4	102.862	17	246
Fortaleza/CE	Cais Público	0,57	480	11,5	2	35208	12	154
São Francisco do Sul/SC	TESC	0,33	603	12	2	15.208	9	109
Natal/RN	Cais Público	0,32	540	11,5	3	8008	7	140
Itaqui.MA	Cais Público	0,11	1.656	14	4	577	4	57

Fonte: Essa pesquisa.

Nota: EXT = Extensão do berço (m); PB = Profundidade do berço (m); NB = Número de berços (unidades); C = número de contêineres movimentados (unidades de contêineres); PM = Prancha média (contêineres/h); TC = Taxa de consignação (contêineres/navio).

Os terminais comerciais do portos de Vitória (ES) e de Suape (PE) são eficientes por *default*. Este tipo de eficiência não resulta necessariamente de uma superioridade certificada em relação aos outros terminais, mas que se origina da escassez de informações que possibilite estabelecer comparações relevantes. A abordagem FDH também pode classificar como eficiente por *default* uma DMU que apresente o menor valor para pelo menos um *input* ou o maior valor para pelo menos um dos *outputs* do modelo. Apesar destas limitações, esse método é muito mais indicado para identificar os casos mais óbvios de ineficiências do que os de eficiência conforme já comentado na seção 2 (SOUSA & RAMOS, 1999).

3.6 Conclusões

Este capítulo analisa a eficiência técnica de 25 terminais portuários brasileiros que enviaram informações a ANTAQ a respeito da movimentação de cargas em contêineres no ano de 2009. O enfoque dado tinha como objetivo verificar se tais terminais estavam preparados para um aumento hipotético na demanda de seus serviços ao investigar se a sua produção (saída) têm sido maximizada dados os recursos existentes (infraestrutura atual).

Como principais resultados observou-se que a grande maioria dos terminais ineficientes da amostra possuem uma infraestrutura superior do que a necessária para atender a atual demanda de transporte de contêineres. Em outras palavras, se apenas fosse movimentado contêineres nesses terminais (em alguns o uso é concomitante com outros tipos de carga), existiria espaço para captar um número superior ao atual - cerca de 87% do montante de unidades movimentadas - utilizando-se apenas de parcela da sua infraestrutura.

Como 2009 foi um ano atípico, com enfraquecimento do comércio mundial, é possível que essa ociosidade diminua nos anos anteriores e/ou posteriores a 2009. Uma investigação maior se faz necessária, portanto, em outros trabalhos futuros.

Também foi observado que não existem diferenças estatísticas entre eficiência portuária e porte do terminal naquele ano. Os terminais Libra 35 e 37 são um exemplo claro disso, pois movimentaram mais de 400 mil contêineres em 2009 e mesmo assim havia necessidade de melhora em seus *outputs*. Enquanto que o terminal EMPAT do porto de Maceió, com uma pequena movimentação (600 unidades), configurou-se como um terminal eficiente.

Dois portos se destacaram no estudo servindo de referencia para a maioria dos terminais segundo os modelos DEA-BCC e o FDH, foram eles: Porto de Santos (SP) - Terminal Tecondi, e o Porto de Belém (PA) - cais público. Isso aconteceu porque tais *benchmarks* possuíam menores quantidades de insumos (em algumas situações particulares até a mesma quantidade) que alguns terminais específicos, e mesmo assim conseguiram obter melhores resultados que os demais.

De acordo com o modelo DEA-CCR, os terminais da Tecondi e Tecon do porto de São Paulo foram apontados como principais *benchmarks* (15 e 14 citações respectivamente), mas considerando-se que havia retornos variáveis de escala em 80% dos terminais investigados, tal modelagem não foi amplamente investigada, dando-se ênfase às outras duas (BCC e FDH).

Os resultados obtidos neste capítulo terminaram por complementar os resultados do capítulo 2. Ou seja, lá a formação dos grupos tinha uma forte influencia do porte dos terminais estudados. Neste capítulo, os terminais apontados anteriormente como mais competitivos (grupos 2 e 3 - todos de grande porte, especializados e localizados no sul-sudeste brasileiro) também foram considerados eficientes com exceção dos terminais Libra 35 e 37 (eficiência = 0,86 pela fronteira FDH).

Além disso, dos três *outputs*, a movimentação de contêineres foi de longe a principal folga apontada e merece maiores investigações mesmo que os testes estatísticos tenham sugerido que o porte e grau de especialização não implique em eficiência técnica.

Outro aspecto importante aplica-se ao terminal Tecon do Porto de Santos, que além de classificado anteriormente como o mais competitivo da amostra (grupo 3), aqui também se configura como um terminal eficiente e principal *benchmark* pelo DEA-CCR.

Descobriu-se também que terminais localizados no norte-nordeste brasileiro são menos eficientes do que os construídos nas regiões sul e sudeste.

No próximo capítulo pretende-se ir além dos resultados já alcançados. Se até este momento, o gestor de um terminal portuário ineficiente tem conhecimento do quanto cada *output* precisa ser incrementado para se tornar um terminal eficiente; no próximo, pretende-se conhecer também qual(is) das variáveis exercem um maior impacto no escore de eficiência técnica aqui calculado. Assim, o gestor poderá optar por não atingir a eficiência plena no curto prazo, mas aumentá-la consideravelmente alterando um menor número de insumos.

4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA PORTUÁRIA UTILIZANDO A REGRESSÃO BETA INFLACIONADA

4.1 Introdução

É crescente o interesse por terminais de contêineres dados a velocidade com que esse segmento vem crescendo e a constante busca pela eficiência com o aumento da competição entre portos.

Uma das ferramentas mais utilizadas para estudar a eficiência técnica desses terminais vem sendo a construção de fronteiras de produção através de uma análise de envelopamento de dados (DEA) ou da *free disposal hull* (FDH) que permitem estabelecer um *ranking* entre portos ou terminais portuários, identificar possíveis folgas nos *inputs* e *outputs* e estabelecer quem são os *benchmarkings* do setor.

A eficiência compara o que foi produzido com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos. Essa comparação pode ser feita pela razão entre a produção observada e a produção máxima, dados os recursos disponíveis, ou pela razão entre a quantidade mínima necessária de recursos e a quantidade efetivamente empregada, dada a quantidade de produtos gerada.

Diz-se que uma unidade é Pareto-eficiente (ou tecnicamente eficiente) quando uma tentativa de melhorar qualquer uma de suas entradas ou saídas irá afetar negativamente outras entradas ou saídas. Formalmente, Charnes *et al.* (1981) consideram uma DMU 100% eficiente somente quando nenhum de seus insumos pode ser diminuído sem que (i) algumas de suas saídas sejam diminuídas, ou (ii) alguns dos seus outros insumos sejam aumentados; e nenhum das suas saídas podem ser aumentadas sem que (i) haja o aumento de uma ou mais das suas entradas ou (ii) a diminuição de algumas das suas outras saídas. Uma vez que a condição de Pareto-eficiência é atingida, o valor do escore (eficiência) de uma DMU é igual a 1. Segundo os mesmos autores, deve-se entender que eficiência e Pareto-eficiência são sinônimos.

Nesse contexto, o objetivo deste capítulo é utilizar a classe de regressão beta inflacionada em *um* de forma a analisar como outras variáveis, diferentes dos *inputs* e *outputs* utilizados na geração da eficiência técnica no capítulo anterior desta tese, contribuem para que um terminal seja mais eficiente do que o outro.

Para tal serão estimadas dois modelos de regressão beta inflacionado onde a variável dependente em cada um deles será a eficiência técnica obtida a partir da modelagem DEA

admitindo-se retornos variáveis de escala e a mensurada através da técnica FDH, e aplicada a 25 terminais portuários que movimentaram containeres no Brasil em 2009.

O presente capítulo está estruturado da seguinte forma: A seção a seguir mostra os trabalhos existentes que se utilizaram de regressões para explicar as eficiências técnicas em portos; a seção 4.3 introduz a análise de envelopamento de dados DEA, a técnica FDH e a regressão beta inflacionada; a seção 4.4 introduz os modelos a serem estimados para que seus resultados e análises possam ser feitas na seção 4.5. Finalmente, na seção 4.6 são apresentadas algumas conclusões e comentários finais.

4.2 Revisão da Literatura

Ao se trabalhar na construção de escores de eficiência não se está somente interessado em determinar quem são as melhores e as piores unidades em termos de eficiência técnica, ou quais as metas a serem atingidas para tornar uma DMU ineficiente em eficiente. Tão importante quanto é determinar quais fatores que contribuem para que uma unidade seja mais eficiente do que outra.

Nesse sentido, existem vários trabalhos na literatura que, a partir dos valores dos escores construídos utilizando-se de técnicas não-paramétricas como modelagens de envelopamento de dados (DEA) e *free disposal hull* (FDH), ou de técnicas paramétricas como análise de fronteiras estocásticas (SFA), procuraram também construir um modelo de regressão onde as variáveis explicativas fossem diferentes daquelas utilizadas na construção dos escores, tendo como variável dependente os escores obtidos num primeiro estágio.

Seguindo essa vertente, vários autores se utilizaram de regressões convencionais baseadas na normalidade dos resíduos como a linear ou a não-linear clássica, o modelo normal censurado (Tobit), o modelo *logit*, os modelos que usam a distribuição beta, e os de quasi-verossimilhança. Afinal, era necessário um modelo que tornasse possível trabalhar com dados de proporções, ou seja, uma variável dependente que assumisse valores no intervalo (0,1].

Kieschnick e Mccullough (2003) comentam que ao trilhar esse caminho, muitos autores ignoraram o fato de que a distribuição dos erros deve ser heterocedástica já que a variância condicional dos erros deve se aproximar de zero à medida que a sua média condicional se aproxima de um dos seus limites (zero ou um neste caso). Baseando-se nos resíduos e no critério AIC_c (uma variação do critério de seleção de Akaike - AIC proposto por

Akaike, 1974), os autores concluíram que o modelo que utilizou a distribuição beta para a variável resposta e a função de ligação *logit* para a esperança condicional superou outros seis modelos testados.

Mesmo assim, o método Tobit (TOBIN, 1958) ainda é um dos mais utilizados em trabalhos que se utilizaram de eficiências técnicas como variável dependente, tanto aplicada a portos como a outros setores. Pode-se citar vários trabalhos como os de Chilingerian (1995), Turner *et al.* (2004), Grosskopf *et al.*, (2004), Rios e Maçada (2006), Hahn e Kim (2010), Odeck e Brathen (2012), entre outros.

Hoff (2007) afirma que apesar do grande uso da regressão Tobit limitada ao intervalo $[0,1]$, ela não é adequada pois tais escores possuem probabilidade nula de serem iguais a zero e probabilidade positiva de serem iguais a 1. E mesmo que se perguntasse porque não se poderia utilizar o *one-limit tobit model* com limite superior igual a 1 ao invés do *two-limit one*, ele responde que mesmo assim continuaria sendo não adequado pois este modelo assume implicitamente que a variável dependente é contínua em $]-\infty,1]$, o que não condiz com a realidade já que os escores DEA possuem limite inferior aberto em zero $(0,1]$.

McDonald (2009) comenta ainda que além de uma possível não-normalidade e heterocedasticidade dos resíduos obtidos via regressões Tobit, este modelo censurado não descreve como os escores de eficiências foram gerados, sendo portanto um estimador viesado.

Em outras palavras, tais escores não poderiam ser utilizados como variável dependente por dois motivos. Primeiro não se tratam de dados censurados. Quando uma variável dependente é censurada, valores num certo intervalo são transformados em um único valor. Por exemplo, se a demanda por ingressos for maior que a lotação L de um determinado estádio, ela será transformada em L toda vez que exceder esse valor; algo que não acontece ao se trabalhar com escores.

E em segundo lugar, tais escores não podem ser considerados como variáveis de solução de canto (*corner solution data*). Um variável é dita solução de canto somente quando ela é o resultado de um problema de otimização. Um exemplo disso seria uma contribuição de caridade feita por uma família determinada por um problema de otimização sujeito a restrições orçamentárias. O tamanho da contribuição depende de valores dos parâmetros da função de utilidade e restrições orçamentárias dessa família. Para todos os valores abaixo de um certo nível de contribuição será atribuído o valor zero. Dessa forma, zero é uma solução de canto. Mas tal tratamento também não se aplica aos escores de eficiência técnica tão pouco.

O autor diz ainda que o processo de geração dos escores de eficiência pode ser descrito mais como um processo de normalização. A justificativa utilizada pelo autor é apresentada a seguir.

A análise de envelopamento de dados DEA gera uma fronteira de produção utilizando dados de entrada e saída da unidade de produção e algumas premissas envolvendo, por exemplo, retornos de escala e livre descarte de insumos. Na análise orientada para *output*, a eficiência de uma unidade de produção é determinada pela sua produção atual dividida pela produção da fronteira de *outputs* correspondente aos valores de entrada (*inputs*) da unidade. Esse processo normaliza o escore de eficiência máxima para ser um e todos os escores de eficiência para caírem dentro do intervalo (0,1]. Embora possa haver várias dezenas de uns (unidades eficientes), não há censura. Esse processo gera um tipo particular de dados fracionados ou proporcionais. A variável dependente da regressão, então, não é censurada nem solução de canto, mas sim um dado fracionário. Maiores detalhes podem ser obtidos em Mcdonald (2009).

Sobre o uso de regressão de mínimos quadrado ordinários para abordar o mesmo problema sabe-se que a menos que os intervalos das variáveis independentes sejam restritos, a expressão para probabilidade de que $y_i = 1$ (ou y_i igual a um intervalo de valores) pode cair fora do intervalo unitário.

Sobre os modelos de quasi-verossimilhança, apesar de recomendados por alguns autores, tem-se o trabalho de Pereira (2010), que procura explicar escores de eficiência de municípios brasileiros, recomendando a regressão beta inflacionada a esta.

Por fim, modelos de regressão beta como proposto por Ferrari e Cribari-Neto (2004) só podem ser aplicados à variável resposta no intervalo aberto (0,1), o que impede o seu uso nesse caso.

Sendo assim, optou-se por trabalhar com o modelo de regressão beta inflacionado em *um* que nada mais é do que uma mistura entre uma distribuição degenerada no ponto um e uma distribuição beta, modelo este proposto por Ospina (2008). Este modelo é uma extensão natural do modelo de regressão beta assumindo que a distribuição da variável dependente é beta inflacionada. A palavra *inflacionada* sugere que a massa de probabilidade de alguns pontos excede o que é permitido pelo modelo proposto, no caso, pela distribuição beta.

4.3 Metodologia

4.3.1 Modelagem DEA e FDH

A modelagem DEA (análise de envelopamento de dados) toma por base um conjunto de dados observados (*inputs* e *outputs*) em diversas organizações onde pretende-se mensurar e avaliar a eficiência de cada uma delas, comumente conhecidas como DMUs (unidades tomadoras de decisão), comparando-as entre si.

Trata-se de uma técnica não paramétrica baseada em programação matemática onde não é necessário supor qualquer comportamento prévio de como os *inputs* geram os *outputs* em cada unidade. Através dela é possível obter medidas de eficiência relativas que possibilitam a classificação das unidades em estudo em eficientes ou ineficientes ao compará-la a um grupo de referência teórico obtido pelo próprio modelo.

Essa técnica foi introduzida por Charnes et al. (1978) e nela somente retornos constantes de escala eram permitidos (conhecido como modelo CCR). Mais tarde, *Banker et al.* (1984) adotaram a suposição de rendimentos variáveis de escala e o modelo BCC foi desenvolvido. Ao tornar a fronteira convexa, o modelo BCC permite que DMUs que operam com baixos valores de inputs tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala.

O modelo não paramétrico *free disposal hull* (FDH) foi concebido por Deprins et al. (1984), desconsiderando a condição de convexidade. Este modelo apenas mantém o pressuposto de livre descarte sendo portanto menos limitante que os demais (SOUSA; RAMOS, 1999).

Na prática, a principal diferença entre as modelagens DEA-CCR, DEA-BCC e FDH é que se uma determinada DMU é eficiente segundo a técnica DEA-CCR, ela também será classificada como eficiente nas outras duas, enquanto que se uma DMU é considerada ineficiente pela técnica FDH, ela será considerada ineficiente pelas demais também. Pode-se afirmar o que foi dito pois existe uma relação entre as fronteiras de produção obtidas pelas três abordagens, o que torna possível uma ordenação dos índices de eficiência associados às metodologias DEA e FDH, tal que $0 < \theta_{CCR}^* < \theta_{BCC}^* < \varphi_{FDH}^* < 1$ (desigualdade FGL com o índice FDH, φ , incluído), onde θ_{CCR}^* , θ_{BCC}^* e φ_{FDH}^* são as eficiências estimadas segundo as abordagens DEA-CCR, DEA-BCC e FDH respectivamente (SOUSA; RAMOS, 1999).

A orientação de um modelo DEA ou FDH indica como uma DMU irá atingir a fronteira de eficiência. Se um modelo é orientado a *inputs*, significa que as DMUs tentarão

atingir a fronteira realizando uma diminuição de seus recursos, sem que seus resultados sejam alterados. Se um modelo é orientado a *outputs*, as DMUs tentarão atingir a fronteira maximizando seus resultados, sem alterar os recursos disponíveis. Neste capítulo só serão abordados modelos orientados a *output*.

4.3.2 Regressão Beta Inflacionada

A regressão beta inflacionada foi desenvolvida por Ospina (2008) para modelar dados contínuos que incluem observações nos intervalos $[0,1)$, $(0,1]$ ou $[0,1]$. Nesta seção serão abordados apenas os modelos concentrados em zero ou um (com foco neste último), baseados nos trabalhos de Ospina (2008) e Ospina e Ferrari (2012), lembrando que as eficiências técnicas (escores) concentram-se em intervalos do tipo $(0,1]$.

Em tempo, diz-se então que o modelo de regressão beta é inflacionado no sentido de que a massa de probabilidade em zero e/ou um excede o que é permitido pela distribuição beta. Tal característica não nos permite mais supor que os dados provem de uma distribuição contínua o que exclui o uso de regressões beta.

A idéia principal na construção de modelos de regressão beta inflacionados consiste em adicionar à distribuição beta um ponto de massa em zero ou um (ver OSPINA (2008) para maiores detalhes). Desse modo, pode-se supor a existência de um componente contínuo dos dados que é modelado por uma distribuição beta de probabilidade, e um componente discreto (ponto de massa) modelado através de uma distribuição degenerada no valor conhecido c onde $c = 0$ ou $c = 1$ dependendo da situação.

A função de distribuição acumulada do modelo beta inflacionado que representa essa mistura, como definida em Ospina e Ferrari (2012), é dada então por:

$$BI_c(y; \alpha, \mu, \phi) = \alpha \Pi_{\{c\}}(y) + (1 - \alpha)F(y; \mu, \phi) \quad (4.1)$$

onde $\Pi_{\{c\}}(y)$ é uma função indicadora que assume valor 1 se $y = c$ e 0 caso contrário, $F(y; \mu, \phi)$ é a função de distribuição acumulada beta $\mathcal{B}(\mu, \phi)$ e $\alpha \in (0,1)$ é o parâmetro de mistura da distribuição dado por $\alpha = \Pr(y = c)$. A função BI_c tem um ponto de massa em $y = c$, e portanto não é totalmente contínua. Isto significa que y possui probabilidade $1 - \alpha$ de ser selecionada de uma distribuição beta, e probabilidade α de ser escolhida de uma distribuição degenerada no ponto c .

A função densidade de probabilidade de y para o modelo beta inflacionado é definida por

$$bi_c(y, \alpha, \mu, \phi) = \begin{cases} \alpha, & y = c \\ (1 - \alpha)f(y; \mu, \phi), & 0 < y < 1 \end{cases} \quad (4.2)$$

em que $0 < \alpha < 1$, $0 < \mu < 1$, $\phi > 0$ e $f(y; \mu, \phi)$ é a função de densidade $\mathcal{B}(\mu, \phi)$. Observe que α representa a probabilidade de se observar zero ($c = 0$) ou um ($c = 1$). Se $c = 0$, a densidade (4.2) é denominada distribuição beta inflacionada no ponto zero e escreve-se $y \sim \text{BEZI}(\alpha, \mu, \phi)$. Se $c = 1$, a densidade (4.2) é denominada distribuição beta inflacionada no ponto um e escreve-se $y \sim \text{BEOI}(\alpha, \mu, \phi)$.

A média de y e sua variância se tratando de uma distribuição beta inflacionada podem ser expressas como

$$E(y) = \alpha c + (1 - \alpha)\mu \quad (4.3)$$

$$\text{Var}(y) = (1 - \alpha) \frac{\mu(1 - \mu)}{\phi + 1} + \alpha(1 - \alpha)(c - \mu)^2 \quad (4.4)$$

Note ainda que $E(y)$ é a média ponderada entre a média da distribuição degenerada em c e a média da distribuição beta $\mathcal{B}(\mu, \phi)$ com pesos α e $(1 - \alpha)$. E também que $E(y | y \in (0, 1)) = \mu$ e $\text{Var}(y | y \in (0, 1)) = \mu(1 - \mu)/(1 + \phi)$, ou seja, são a média e a variância de uma distribuição beta pura ($\alpha = 0$).

Modelos de regressão beta inflacionados podem ser formalmente definidos. Seja y_1, \dots, y_n uma variável aleatória independente que possui função densidade (4.2) com parâmetros $\mu = \mu_t$, $\alpha = \alpha_t$, e $\phi = \phi_t$ para cada y_t , com $t = 1, \dots, n$. Suponha que μ_t , α_t , e ϕ_t sejam definidos como:

$$\begin{cases} g_1(\mu_t) = \eta_{1t} = f_1(a_t, \lambda) \\ g_2(\alpha_t) = \eta_{2t} = f_2(b_t, \tau), \\ g_3(\phi_t) = \eta_{3t} = f_3(d_t, \chi), \end{cases} \quad (4.5)$$

Onde $\lambda_t = (\lambda_1, \dots, \lambda_p)^T$, $\tau_t = (\tau_1, \dots, \tau_k)^T$ e $\chi_t = (\chi_1, \dots, \chi_m)^T$ são vetores de parâmetros da regressão desconhecidos; $\{p + k + m < n\}$, $\eta_1 = (\eta_{11}, \dots, \eta_{1n})^T$, $\eta_2 = (\eta_{21}, \dots, \eta_{2n})^T$ e $\eta_3 = (\eta_{31}, \dots, \eta_{3n})^T$ são os vetores das variáveis resposta, $f_1(\cdot, \cdot)$, $f_2(\cdot, \cdot)$ e $f_3(\cdot, \cdot)$ são funções contínuas duas vezes diferenciáveis no segundo argumento, lineares ou não-lineares, tais que sua matriz de

derivadas $A = \partial\eta_1/\partial\lambda$, $B = \partial\eta_2/\partial\tau$, e $C = \partial\eta_3/\partial\chi$ possuam ordem p , k e m respectivamente, para todo λ , τ , e χ .

Considere ainda que $a_1 = (a_{11}, \dots, a_{1p})^T$, $b_1 = (b_{11}, \dots, b_{1k})^T$ e $d_1 = (d_{11}, \dots, d_{1m})^T$ são as observações das covariáveis conhecidas. As funções g_1 , g_2 e g_3 são funções de ligação tais que $g_1: (0, 1) \rightarrow \mathcal{R}$, $g_2: (0, 1) \rightarrow \mathcal{R}$ e $g_3: (0, +\infty) \rightarrow \mathcal{R}$ estritamente monótonas e duas vezes diferenciáveis. São exemplos de funções de ligação para μ e α :

$$\text{Logit:} \quad g_1(\mu_t) = \log \frac{\mu_t}{1 - \mu_t} \quad (4.6)$$

$$\text{Probit:} \quad g_1(\mu_t) = \Phi^{-1}(\mu_t) \quad (4.7)$$

$$\text{Log-log:} \quad g_1(\mu_t) = -\log(-\log(\mu_t)) \quad (4.8)$$

$$\text{Clog-log:} \quad g_1(\mu_t) = \log(-\log(1 - \mu_t)) \quad (4.9)$$

onde Φ^{-1} na equação (4.7) é a função quantil da distribuição normal padrão. São possíveis funções de ligação para ϕ , $g_3(\phi) = \log \phi$ e $g_3(\phi) = \sqrt{\phi}$.

A função de log-verossimilhança para estimar os parâmetros $\theta = (\lambda^T, \tau^T, \chi^T)$ do modelo de regressão beta inflacionado em c , baseado numa amostra de n observações independentes é

$$L(\theta) = \prod_{t=1}^n bi_c(y_t; \alpha_t, \mu_t, \phi_t) = L_1(\tau) L_2(\lambda, \chi) \quad (4.10)$$

onde,

$$L_1(\tau) = \prod_{t=1}^n \alpha_t^{\mathbb{I}_{\{c\}}(y_t)} (1 - \alpha_t)^{1 - \mathbb{I}_{\{c\}}(y_t)} \quad (4.11)$$

$$L_2(\lambda, \chi) = \prod_{t: y_t \in (0,1)} f(y_t; \mu_t, \phi_t) \quad (4.12)$$

com $\mathbb{I}_C(y_t)$ sendo uma função indicadora que é igual a 1 se $y_t \in C$, e 0 se $y_t \notin C$. Aqui, $\mu_t = g_1^{-1}(\eta_{1t})$, $\alpha_t = g_2^{-1}(\eta_{2t})$ e $\phi_t = g_3^{-1}(\eta_{3t})$, como definida em (4.5), são funções de λ , τ , e χ , respectivamente. Observe que a função de verossimilhança $L(\theta)$ é fatorada em dois termos, o primeiro depende apenas de τ (componente discreto), e o segundo, apenas de (λ, χ) (componente contínuo). Assim os parâmetros são separáveis e a inferência de máxima verossimilhança para (λ, χ) pode ser realizada separadamente daquela para τ , como se os valores de τ fossem conhecidos, e vice-versa. (OSPINA e FERRARI, 2012)

$$l(\theta) = l_1(\tau) + l_2(\lambda, \chi) = \sum_{t=1}^n l_t(\alpha_t) + \sum_{t, y_t \in (0,1)} l_t(\mu_t, \phi_t) \quad (4.13)$$

onde

$$l_t(\alpha_t) = \Pi_{\{c\}}(y_t) \log \alpha_t + (1 - \Pi_{\{c\}}(y_t)) \log(1 - \alpha_t), \quad (4.14)$$

$$l_t(\mu_t, \phi_t) = \log \Gamma(\phi_t) - \log \Gamma(\mu_t \phi_t) - \log \Gamma((1 - \mu_t) \phi_t) + (\mu_t \phi_t - 1) y_t^* + (\phi_t - 2) y_t^\# \quad (4.15)$$

com $y_t^* = \log\{y_t/(1 - y_t)\}$ e $y_t^\# = \log(1 - y_t)$ se $y_t \in (0,1)$, e caso contrário $y_t^* = 0$ e $y_t^\# = 0$.

Veja que $l_1(\tau)$ representa a função log-verossimilhança de um modelo de regressão para respostas binárias onde a probabilidade de sucesso da t -ésima observação é $\alpha_t = g_1^{-1}(\eta_{1t})$. Já $l_2(\lambda, \chi)$ é a função log-verossimilhança para (λ, χ) num modelo de regressão beta não-linear baseado em observações que pertencem ao intervalo $(0,1)$

Ospina e Ferrari (2012) demonstraram que a função escore obtida através da diferenciação da função log-verossimilhança em relação aos parâmetros desconhecidos é dada por

$$U(\theta) = (U_\tau(\tau)^T, U_\lambda(\lambda, \chi)^T, U_\chi(\lambda, \chi)^T)^T \quad (4.16)$$

onde,

$$\begin{aligned} U_\tau(\tau) &= A^T C \mathcal{D} C^* (y^c - \alpha) \\ U_\lambda(\lambda, \chi) &= B^T (I_n - Y^c) T \phi (y^* - \mu^*) \\ U_\chi(\lambda, \chi) &= D^T (I_n - Y^c) H [M (y^* - \mu^*) + (y^\# - \mu^\#)] \end{aligned} \quad (4.17)$$

com $y^* = (y_1^*, \dots, y_n^*)^T$, $y^\# = (y_1^\#, \dots, y_n^\#)^T$, $y^c = (\Pi_{\{c\}}(y_1), \dots, \Pi_{\{c\}}(y_n))^T$, $\mu^* = (\mu_1^*, \dots, \mu_n^*)^T$, $\mu^\# = (\mu_1^\#, \dots, \mu_n^\#)^T$ e $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)^T$ são n -vetores. $M = \text{diag}(\mu_1, \dots, \mu_n)$, $C = \text{diag}(1/\alpha_1, \dots, 1/\alpha_n)$, $C^* = \text{diag}(1/(1 - \alpha_1), \dots, 1/(1 - \alpha_n))$, $\mathcal{D} = \text{diag}(1/g_2'(\alpha_1), \dots, 1/g_2'(\alpha_n))$, $\phi = \text{diag}(\phi_1, \dots, \phi_n)$, $T = \text{diag}(1/g_1'(\mu_1), \dots, 1/g_1'(\mu_n))$, $H = \text{diag}(1/g_3'(\phi_1), \dots, 1/g_3'(\phi_n))$, $Y^c = \text{diag}(\Pi_{\{c\}}(y_1), \dots, \Pi_{\{c\}}(y_n))^T$ são matrizes diagonais $n \times n$. Finalmente, A é uma matriz $n \times p \times p$ com faces $A_t = \partial^2 \eta_{1t} / \partial \tau \partial \tau^T$, B é uma matriz $n \times k \times k$ com faces $B_t = \partial^2 \eta_{2t} / \partial \lambda \partial \lambda^T$, D é uma

matriz $n \times m \times n$ com faces $D_i = \partial^2 \eta_{3i} / \partial \chi \partial \chi^T$, e I_n representa uma matriz identidade de ordem $n \times n$.

Os estimadores de máxima verossimilhança (MLEs) de τ e (λ, χ) são obtidos ao se resolver o sistema não linear $U_\tau(\tau) = 0$ e $(U_\lambda(\lambda, \chi)^T, U_\chi(\lambda, \chi)^T)^T = 0$. Não existe solução analítica para esses estimadores e os cálculos para a obtenção da solução devem ser numéricos através de um algoritmo não linear de otimização como o método de Newton ou um algoritmo quase-Newton como o BFGS.

4.4 Modelos Propostos

As variáveis utilizadas neste capítulo são provenientes de 25 terminais portuários brasileiros que movimentaram containeres no ano de 2009. Ao todo tem-se 06 variáveis independentes:

- O número de containeres movimentados (C) que serve para aferir o porte do terminal,
- Uma variável *dummy* ($DGEO$) que assume o valor 1 se o terminal estiver localizado nas regiões sul ou sudeste brasileira e 0 se contrário,
- Uma variável *dummy* ($DESP$) que assume o valor 1 se o terminal puder ser considerado como especializado em movimentações de cargas em contêineres e 0 se contrário,
- O tempo que o navio espera entre a chegada do navio no porto e a sua atracação no terminal (TA),
- O tempo de operação de descarga/carga de um navio de contêiner (TO), e
- A quantidade de navios atracados com carga/descarga de contêineres (N).

As eficiências técnicas obtidas pela modelagem DEA, admitindo-se retornos variáveis (DEA-BCC) de escala, e a calculada pela modelagem FDH serão as variáveis dependentes, todas orientadas a *outputs*, cada uma em um modelo específico mostrado abaixo:

Modelo com eficiência calculada por modelagem DEA-BCC:

$$\begin{aligned} \eta_{1i} &= g_1(BCC_i) = \rho_0 + \rho_1 * C_i + \rho_2 * DGEO_i + \rho_3 * DESP_i + \rho_4 * TA_i + \rho_5 * TO_i + \rho_6 * N_i \\ \eta_{2i} &= g_2(\alpha_i) = \beta_0 + \beta_1 * C_i + \beta_2 * DGEO_i + \beta_3 * DESP_i + \beta_4 * TA_i + \beta_5 * TO_i + \beta_6 * N_i \\ \eta_{3i} &= g_3(\phi_i) = \gamma_0 + \gamma_1 * C_i + \gamma_2 * DGEO_i + \gamma_3 * DESP_i + \gamma_4 * TA_i + \gamma_5 * TO_i + \gamma_6 * N_i \end{aligned} \quad (4.18)$$

Modelo com eficiência calculada por modelagem FDH:

$$\eta_{4i} = g_4(FDH_i) = \rho_0 + \rho_1 * C_i + \rho_2 * DGEO_i + \rho_3 * DESP_i + \rho_4 * TA_i + \rho_5 * TO_i + \rho_6 * N_i \quad (4.19)$$

$$\eta_{5i} = g_5(\alpha_i) = \beta_0 + \beta_1 * C_i + \beta_2 * DGEO_i + \beta_3 * DESP_i + \beta_4 * TA_i + \beta_5 * TO_i + \beta_6 * N_i$$

$$\eta_{6i} = g_6(\phi_i) = \gamma_0 + \gamma_1 * C_i + \gamma_2 * DGEO_i + \gamma_3 * DESP_i + \gamma_4 * TA_i + \gamma_5 * TO_i + \gamma_6 * N_i$$

onde, $i = 1, \dots, 25$ (terminais portuários);

$g(\circ)$ = Função de ligação a ser escolhida após simulação econométrica;

BCC = Eficiência portuária obtida através da modelagem *DEA* orientado a *output* com retornos variáveis de escala;

FDH = Eficiência portuária obtida através da modelagem *Free Disposal Hull* orientado a *output* com retornos variáveis de escala;

α = Probabilidade de que a eficiência seja igual a um;

ϕ = Parâmetro de precisão;

C = número de contêineres movimentados (unidades de containeres);

$DGEO$ = variável *dummy* que assume o valor 1 se o terminal estiver localizado nas regiões sul ou sudeste brasileira e 0 se contrário,

$DESP$ = variável *dummy* que assume o valor 1 se o terminal puder ser considerado como especializado em movimentações de cargas em contêineres e 0 se contrário,

TA = tempo que o navio espera entre a chegada do navio no porto e a sua atracação no terminal,

TO = tempo de operação de descarga/carga de um navio de contêiner, e

N = quantidade de navios atracados com carga/descarga de contêineres.

Os modelos acima servirão de base inicial para o primeiro modelo econométrico trabalhado, mas considerando-se que existem várias funções de ligação possíveis de serem aplicadas aos escores e várias combinações lineares entre as variáveis independentes, se buscará o modelo em que mais variáveis sejam estatisticamente significativas, expliquem melhor o comportamento da variável dependente e aquele que forneça o melhor ajuste dentre os demais.

Vale mencionar que não foram realizadas estimativas incluindo como variável dependente a eficiência técnica dos terminais considerando retornos constantes de escala, pois ficou comprovado no capítulo anterior que existe a presença de retornos variáveis de escala para a grande maioria dos terminais da amostra.

A tabela 4.1 apresenta os valores para as variáveis envolvidas no processo bem como algumas medidas descritivas que fornecem uma visão geral a respeito das mesmas.

A Figura 4.1 apresenta o histograma formado para os 02 escores e respectivos gráficos *box-plot*. Nota-se claramente uma assimetria na distribuição dessas variáveis dependentes assemelhando-se a figura de um J. O percentual de **uns** para os escores na modelagem DEA-BCC e FDH são 44% e 56% respectivamente.

Tabela 4.1 – Variáveis dependentes e independentes investigadas.

DMU - Porto/TUP	Terminal	Variáveis independentes						Escores - var. dependente	
		<i>C</i>	<i>DGEO</i>	<i>DESP</i>	<i>TA</i>	<i>TO</i>	<i>N</i>	<i>DEA-BCC</i>	<i>FDH</i>
Itaqui-MA	Cais Público	577	0	0	10,0	14,3	10	0,11	0,11
Natal-RN	Cais Público	8.008	0	0	0,0	20,0	57	0,25	0,32
São Francisco do Sul-SC	TESC	15.208	1	0	20,0	12,1	139	0,33	0,33
Maceió-AL	Cais Público	3.056	0	0	1,0	16,1	4	0,36	0,75
Santarém-PA	Cais Público	3.163	0	0	0,0	28,1	14	0,36	0,80
Fortaleza-CE	Cais Público	35.208	0	0	6,0	12,8	228	0,45	0,57
São Francisco do Sul-SC	Cais Público	102.862	1	0	19,0	14,5	417	0,53	0,63
Suape-PE	TECON	144.053	0	1	12,0	8,4	953	0,68	0,79
TUP Chibatão-AM	Chibatão	95.015	0	1	103,0	42,5	172	0,85	0,85
Santos-SP	LIBRA (T.35) e LIBRA (T37)	462.727	1	1	8,0	10,1	282	0,86	0,86
Rio Grande-RS	TECON	375.006	1	1	20,0	10,3	1302	0,88	1,00
Vitória-ES	TVV	136.896	1	1	18,0	16,0	407	0,90	1,00
Salvador-BA	TECON	148.920	0	1	11,0	6,5	877	0,96	0,96
Imbituba-SC	Cais Público	16.069	1	0	18,0	9,6	93	0,99	1,00
Belém-PA	Cais Público	25.477	0	0	0,0	23,6	90	1,00	1,00
Itajaí-SC	TECONVI	87.977	1	1	22,0	17,6	200	1,00	1,00
Maceió-AL	EMPAT	600	0	0	0,0	13,6	21	1,00	1,00
Paranaguá-PR	TCP	349.184	1	1	19,0	11,0	1274	1,00	1,00
Santos-SP	TECONDI	183.312	1	1	8,0	24,1	1470	1,00	1,00
Santos-SP	TECON	663.992	1	1	14,0	15,3	471	1,00	1,00
Santos-SP	Rodrimar	132.350	1	1	6,0	13,3	1204	1,00	1,00
Suape-PE	Cais Público	18.443	0	0	7,6	7,6	172	1,00	1,00
Vila do Conde-PA	Cais Público	16.772	0	0	0,0	17,7	86	1,00	1,00
Vitória-ES	Comercial	540	1	0	0,0	108,0	1	1,00	1,00
Vitória-ES	Peiu	2.829	1	0	11,0	19,6	18	1,00	1,00
	Média	549,4	12,09	2	121.130	17	267	0,78	0,84
	Desvio-padrão	321,7	2,42	1	170.046	9	161	0,30	0,26

Fonte: Variáveis independentes foram obtidos de ANTAQ (2010). Os escores foram calculados pela autora.

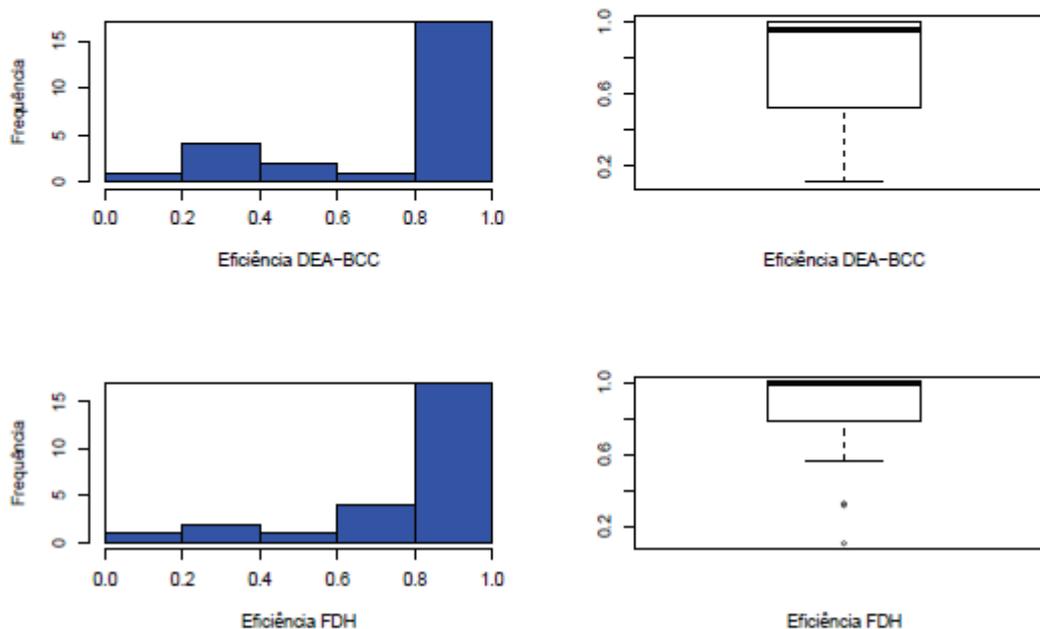


Figura 4.1 – Histogramas de frequências e gráficos Box-plot das eficiências portuárias para as modelagens DEA-BCC e FDH.

Fonte: Essa pesquisa.

4.4.1 Sinais Esperados para os Parâmetros $\hat{\rho}_i$ na Regressão Beta Inflacionada para Obtenção dos Escores Estimados $(\hat{\eta}_{1t}, \hat{\eta}_{4t})$.

Avaliando-se o coeficiente de correlação de *Spearman* entre as variáveis escolhidas (tabela 4.2), observa-se que o número de navios de contêineres recebidos pelos terminais da amostra está altamente correlacionado com a variável *dummy DESP*: $\hat{\rho}_{N,DESP} = -0,79$ tanto na modelagem DEA-BCC quanto na FDH a um nível de significância estatística praticamente nula. Com valores tão elevados, é melhor a exclusão de uma dessas variáveis do modelo final, mantendo-se aquela que melhor contribuição global ofereça.

Desta forma, estará se evitando problemas de multicolinearidade no modelo, ou seja, quando duas ou mais covariáveis estejam altamente correlacionadas entre si.

Tabela 4.2 – Correlação de Spearman para as variáveis escolhidas na modelagem DEA-BCC e FDH.

	<i>C</i>	<i>DGEO</i>	<i>DESP</i>	<i>TA</i>	<i>TO</i>	<i>N</i>	DEA-BCC	FDH
<i>C</i>	1,00						0,25	0,22
<i>DGEO</i>	0,23	1,00					0,32	0,42*
<i>DESP</i>	0,50**	0,37	1,00				0,23	0,29
<i>TA</i>	0,14	0,50**	0,52**	1,00			-0,09	0,00
<i>TO</i>	-0,21	-0,04	-0,21	-0,30	1,00		0,08	0,05
<i>N</i>	0,40*	0,40*	0,79**	0,51**	-0,45*	1,00	0,22	0,23

Fonte: Essa pesquisa.

Nota: O símbolo * significa que o coeficiente de correlação calculado entre duas covariáveis é estatisticamente significativa a 5%, e o símbolo ** significa que é estatisticamente significativa a 1%.

Sobre os possíveis sinais entre cada covariável independente e sua respectiva variável dependente, a tabela 4.2 não pode dar indícios mais confiáveis em termos estatísticos.

Baseados no capítulo anterior desta tese, poder-se-ia afirmar que a eficiência técnica de um terminal seria maior quanto maior fosse a captação de contêineres desde que o tempo que o navio passa no cais carregando/descarregando fosse menor ou no mínimo se mantivesse nos mesmos patamares, elevando assim a prancha média do terminal. Assim, espera-se que o sinal para *C* seja positivo e para *TO* seja nulo ou negativo.

Com relação à localização dos terminais foi mostrado que existe uma diferença estatística entre a eficiência técnica obtida e sua localização geográfica, ou seja, terminais localizados no eixo sul-sudeste brasileiro tendem a ser mais eficientes do que os localizados no eixo norte-nordeste. Logo, espera-se que o sinal da variável *dummy DGEO* seja positivo.

Também se mostrou no capítulo anterior que o fato de um terminal ser especializado não significa que ele seria eficiente. Mas dado que houve uma grande folga no número de contêineres movimentados em 2009, e um aumento deste montante elevaria a eficiência técnica dos terminais ineficientes, isso leva a crer que a variável *dummy DESP* pode impactar de forma positiva no incremento dessa eficiência.

Sobre a variável acrescentada *TA*, tempo de espera do navio até ele ser devidamente atracado, seria aceitável inferir que quanto maior fosse esse valor, menor seria a eficiência do terminal.

A respeito do número de navios (*N*) que visitassem o terminal, há de se considerar a alta correlação entre o grau de especialização do terminal (*DESP*) e *N*, o que levará à exclusão de uma das duas. Entretanto, se o sinal para *DESP* for positivo, para *N* também poderia ser supondo que um maior movimento de navios porta-contêineres sugere uma maior especialização do terminal.

Por outro lado, um possível aumento da taxa de consignação (número médio de contêineres movimentados por navio), o que aumentaria a eficiência técnica na maioria dos terminais da amostra, só seria possível através de um aumento da movimentação de contêineres e/ou da diminuição de N , o que daria um sinal negativo ou nulo para N . Mas isso é discutível pois o porte dos navios recebidos teriam de ser maiores que os atuais frequentadores destes terminais, algo que ainda o modelo não capta.

A tabela 4.3 mostra um resumo dos sinais esperados para todas as variáveis independentes.

Tabela 4.3 – Sinais esperados para as variáveis independentes nas regressões beta inflacionadas $(\hat{\eta}_{1t}, \hat{\eta}_{4t})$.

Variáveis independentes	Sinal de $\hat{\rho}$
C	+
$DGEO$	+
$DESP$	0 ou +
TA	-
TO	0 ou -
N	indefinido

Fonte: Essa pesquisa.

4.5 Resultados Empíricos e Análises

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos a partir da regressão beta inflacionada aplicada aos dados de 25 terminais de contêineres brasileiros para o ano de 2009 e respectivas eficiências técnicas calculadas através de modelagem DEA-BCC e FDH.

A fonte de dados para as variáveis de saída (*output*) é a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Teve-se acesso à informação de base disponível no último relatório oficial do Desempenho Operacional dos serviços portuários (ANTAQ, 2010). Com relação às variáveis de entrada (*inputs*), elas foram encontrados em uma busca em sites dos próprios terminais.

Para a análise estatística dos dados utilizou-se o pacote *gamlss* (STASINOPOULOS; RIGBY, 2013) da plataforma computacional do *software* R (R CORE TEAM, 2013), e a distribuição de probabilidade BEOI desenvolvida por Ospina (2008).

4.5.1 Eficiências Obtidas por Modelagem DEA-BCC e FDH

Nesta seção, analisar-se-á em conjunto as duas regressões beta inflacionadas obtidas com as eficiências construídas a partir da modelagem DEA-BCC e FDH, pois ambas admitem retornos variáveis de escala.

4.5.1.1 Modelos Estimados

As funções de ligação no modelo de regressão beta inflacionado em *um* para estimar as eficiências segundo a modelagem DEA-BCC e FDH que permitiram a construção dos melhores modelos foram, respectivamente, *logit* para a média nos dois cenários, a de ligação *probit* e *logit* para o parâmetro α , e a logarítmica para o parâmetro de precisão em ambos.

Vale frisar que foram realizadas várias simulações com outras funções de ligação juntamente com a rotina automática *stepGAIC()* incluída no pacote *gamlss* que utiliza o AIC (*Akaike Information Criterion*) como critério de escolha para o melhor modelo.

Após todas as simulações chegou-se ao melhor modelo final para ambos os cenários:

A) Cenário com eficiências DEA-BCC:

$$\text{logit}(BCC_i) = \rho_0 + \rho_2 DGEO_i + \rho_3 DESP_i$$

$$\text{probit}(\alpha_i) = \beta_0 + \beta_2 DGEO_i + \beta_4 TA_i \quad (4.20)$$

$$\log(\phi_i) = \gamma_0 + \gamma_3 DESP_i + \gamma_4 TA_i + \gamma_5 TO_i$$

B) Cenário com eficiências FDH:

$$\text{logit}(FDH_i) = \rho_0 + \rho_3 DESP_i$$

$$\text{logit}(\alpha_i) = \beta_0 + \beta_2 DGEO_i + \beta_4 TA_i \quad (4.21)$$

$$\log(\phi_i) = \gamma_0 + \gamma_4 TA_i$$

A Tabela 4.4 apresenta o resumo dos parâmetros estimados, os seus desvios padrão e os *valores-p* para cada um dos cenários.

Tabela 4.4 – Estimativas dos parâmetros, desvios padrão e p-valores (DEA-BCC e FDH).

Variáveis	DEA-BCC			FDH		
	Estimativa	Desvio-padrão	p-valor	Estimativa	Desvio-padrão	p-valor
Modelo para μ						
Intercepto	-0,3542	0,7011	0,6208	-0,2132	0,2185	0,3422
<i>DESP</i>	2,0828	0,7011	0,0095	1,9417	0,2185	0,0000
<i>DGEO</i>	0,4009	0,2069	0,0751			
Modelo para α						
Intercepto	0,0476	0,4443	0,9160	-0,1391	0,7274	0,8505
<i>DGEO</i>	1,5924	0,8416	0,0780	2,9648	1,5348	0,0693
<i>TA</i>	-0,1053	0,0535	0,0677	-0,1062	0,0949	0,2779
Modelo para ϕ						
Intercepto	-3,4303	5,4166	0,5361	-0,1223	0,8292	0,8844
<i>TA</i>	0,1050	0,1293	0,4293	0,1844	0,0580	0,0052
<i>TO</i>	0,2214	0,3477	0,5340			
<i>DESP</i>	3,2671	1,6927	0,0727			

Fonte: Essa pesquisa.

O valor da estatística da razão de verossimilhança que testa se os parâmetros excluídos da análise da média μ foram respectivamente,

a) Para a modelagem DEA-BCC:

Teste da razão de verossimilhança para modelos GAMLSS aninhados:

H_0 : Melhor modelo encontrado para DEA-BCC (ver tabela 4.4) com

$$\rho_1, \rho_4, \rho_5, \rho_6, \beta_1, \beta_3, \beta_5, \beta_6, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_5, \gamma_6 = 0 .$$

H_1 : Modelo idêntico ao da H_0 mas com $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_6, \neq 0$.

Modelo nulo: desvio global= -11,77996 com 10 graus de liberdade

Modelo alternativo: desvio global = -12,97978 com 12 graus de liberdade

Valor da estatística = 1,199812 com 2 graus de liberdade e *valor-p*= 0,5489

b) Para a modelagem FDH:

Teste da razão de verossimilhança para modelos GAMLSS aninhados:

H_0 : Melhor modelo encontrado para FDH (ver tabela 4.4) com

$$\rho_1, \rho_2, \rho_4, \rho_5, \rho_6, \beta_1, \beta_3, \beta_5, \beta_6, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_5, \gamma_6 = 0 .$$

H_1 : Modelo idêntico ao da H_0 mas com $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_6, \neq 0$.

Modelo nulo: desvio global= 4,73246 com 7 graus de liberdade

Modelo alternativo: desvio global = 2,334661 com 10 graus de liberdade

Valor da estatística = 2,397799 com 3 graus de liberdade e *valor-p*= 0.4904

Em ambos os cenários H_0 não deve ser rejeitada pois o *p-valor* não é pequeno (nível de significância superior a 0,05) e, portanto a exclusão das variáveis em ambos os cenários para a média μ e os parâmetros α e ϕ são válidas.

Sobre a hipótese de que a dispersão seria constante, o teste da razão de verossimilhança entre um modelo nulo onde a dispersão era constante e os modelos mostrados na Tabela 4.4 revelaram que o valor da estatística de teste para os dois cenários são, respectivamente, $\Lambda_{BCC} = 28,68$ (*p-valor* < 0.01) com 3 graus de liberdade e $\Lambda_{FDH} = 13,24$ (*p-valor* < 0.01) com 1 grau de liberdade, rejeitando assim a hipótese de que o modelo beta inflacionado possui dispersão constante (H_0) a um nível de significância inferior a 1%.

Para verificar o ajuste global da regressão, utilizou-se o pseudo R^2 definido como $R - squared = 1 - (\hat{L}_0 / \hat{L})^{2/n}$ (NAGELKERKE, 1991) onde \hat{L}_0 e \hat{L} são as funções de máxima verossimilhança do modelo nulo (apenas o intercepto é estimado dentre todos os parâmetros)

e do modelo estimado que se esteja analisando. Chegou-se então aos valores $R_{BCC}^2 = 0,822$ e $R_{FDH}^2 = 0,661$, o que sugere um excelente ajuste dos dados tanto para a eficiência calculada segundo a modelagem DEA-BCC quanto para a FDH.

O critério de informação de *Akaike* (AIC) e o desvio global (GD) dos modelos finais foram $AIC_{BCC} = 8,22$, $AIC_{FDH} = 18,73$, $GD_{BCC} = -11,78$ e $GD_{FDH} = 4,73$ respectivamente.

4.5.1.2 Diagnóstico dos Modelos

Nesta fase se investiga se os pressupostos assumidos estão sendo respeitados pelo modelo ajustado. Faz-se necessário detectar a presença de pontos extremos no banco de dados utilizado e em caso afirmativo, avaliar o impacto nas previsões do modelo estimado. Para tal, a análise dos resíduos e alguns gráficos como por exemplo a construção de bandas de confiança (envelopes) simuladas, podem nos auxiliar a identificar tais extremos (*outliers*) pois se o modelo estiver bem ajustado é de se esperar que a maioria dos resíduos se encontrem aleatoriamente distribuídos dentro dessas bandas. Para tanto, Ospina (2008) definiu o resíduo quantil aleatorizado para o modelo de regressão beta inflacionado em zero ou um como sendo $r_t^q = \Phi^{-1}(u_t)$, com $t = 1, \dots, n$, onde u_t é uma variável aleatória uniforme no intervalo $(a_t, b_t]$, sendo $a_t = \lim_{y \rightarrow y_t} \mathcal{BI}_c(y; \hat{\alpha}, \hat{\mu}, \hat{\phi})$, $b_t = \mathcal{BI}_c(y; \hat{\alpha}, \hat{\mu}, \hat{\phi})$. Assim, ao trabalhar-se com uma regressão beta inflacionada em um, tem-se $y_t = 1$ (ponto de massa em um), $a_t = \lim_{y \rightarrow 1} \mathcal{BEOI}(y; \hat{\alpha}, \hat{\mu}, \hat{\phi}) = (1 - \hat{\alpha}) \lim_{y \rightarrow 1} F(y; \hat{\alpha}, \hat{\mu}, \hat{\phi}) = (1 - \hat{\alpha})$ e $b_t = \mathcal{BEOI}_c(y; \hat{\alpha}, \hat{\mu}, \hat{\phi}) = 1$. Portanto, u_t é uma variável uniforme no intervalo $(1 - \hat{\alpha}, 1]$.

A Figura 4.2 mostra os gráficos dos resíduos quantis aleatorizados contra os índices das observações, bem como o gráfico normal de probabilidade com envelopes simulados para um nível de confiança de 95% para os cenários DEA-BCC e o FDH. Deles, pode-se inferir que não existem *pontos atípicos* nem indícios de afastamento da suposição de que o modelo de regressão beta inflacionado é adequado para dados em ambos os cenários, já que todos os pontos se encontraram dentro das bandas de confiança do envelope simulado. Em relação ao gráfico de resíduos quantis percebe-se a não existência de qualquer tendência nos resíduos já que estes apresentam um comportamento aleatório o que indica uma boa adequação do ajuste do modelo aos dados, também em ambos os cenários.

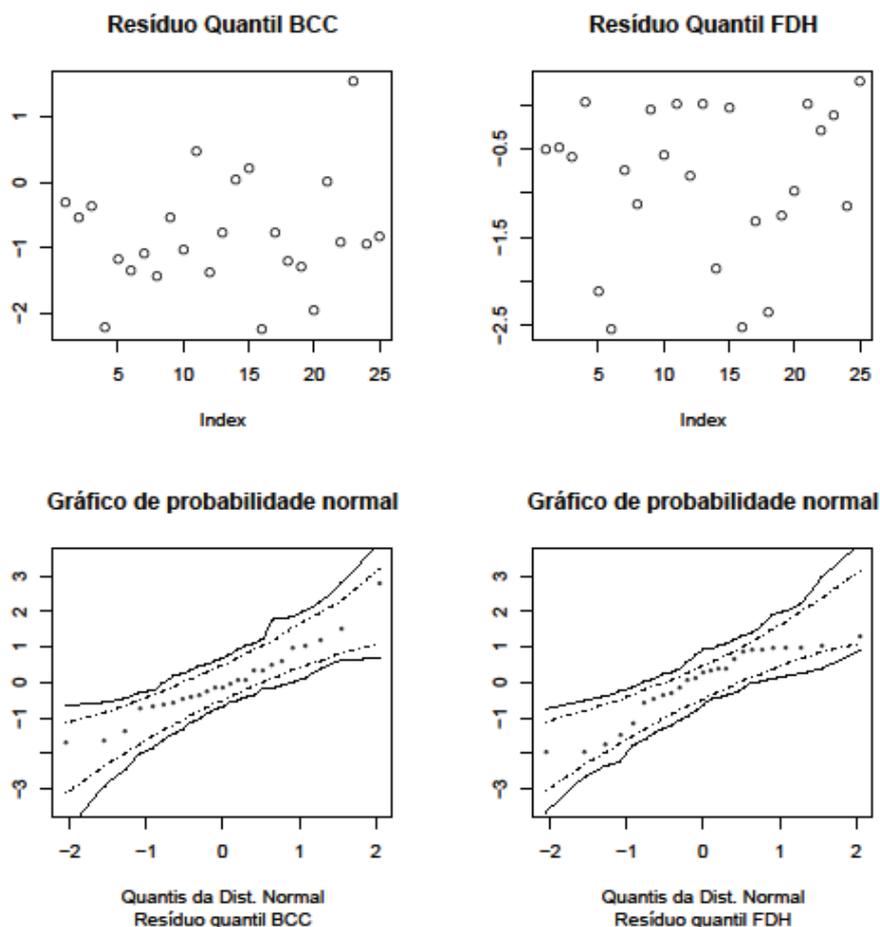


Figura 4.2 – Gráfico de resíduos do modelo beta inflacionado para a eficiência sob DEA-BCC e FDH.
 Fonte: Essa pesquisa.

4.5.1.3 Interpretação do Modelo

A interpretação dos parâmetros do modelo é uma etapa importante para a compreensão dos resultados encontrados e depende diretamente da função de ligação adotada. A função *logit* é uma das mais utilizadas pois essa interpretação é bastante intuitiva por ser baseada na razão de chances. Por exemplo, suponha que um modelo envolve os regressores x_{t1} , x_{t2} e x_{t3} , $t:1,2,\dots,T$ que $x_{t1} = 1$ para todo i , ou seja, há intercepto no modelo. Deseja-se analisar o impacto causado devido à variação de c unidades do regressor x_{t2} . Sabe-se que

$$\log \frac{\mu_t}{1 - \mu_t} = \eta_t = \rho_0 + \rho_1 x_{t2} + \rho_2 x_{t3} \tag{4.22}$$

é o logaritmo da chance quando não há alteração em x_{i2} e que

$$\log \frac{\mu_i^\#}{1 - \mu_i^\#} = \eta_i^\# = \rho_0 + \rho_1(x_{i2} + c) + \rho_2 x_{i3} \quad (4.23)$$

onde $\mu_i^\#$ e $\eta_i^\#$ são respectivamente a média e o preditor linear quando há variação em x_{i2} . Subtraindo a Equação 4.24 da Equação 4.23 e aplicando as propriedades dos logaritmos obtém-se:

$$\frac{\mu_i^\# / (1 - \mu_i^\#)}{\mu_i / (1 - \mu_i)} = \exp(c\rho_1) \quad (4.24)$$

Assim, a alteração de c unidades em x_{i2} proporciona um impacto de $\exp(c\rho_1)$ na razão de chances. Alternativamente, a chance de sucesso após a variação é $\exp(c\rho_1)$ vezes a chance anterior.

O impacto de variações em x_{i2} diretamente na média μ_i pode ser avaliado por meio da derivada parcial a seguir:

$$\frac{\partial \mu_i}{\partial x_{i2}} = \frac{\partial g_1^{-1}(\eta_i)}{\partial x_{i2}} = \mu_i(1 - \mu_i)\rho_1 \quad (4.25)$$

em que $g_1^{-1}(\eta_i)$ é a inversa da função logit:

$$\mu_i = g_1^{-1}(\eta_i) = \frac{\exp(\eta_i)}{1 + \exp(\eta_i)} \quad (4.26)$$

Portanto, pela análise da Equação 4.26, o sentido da mudança devido a variações em x_{i2} é definido pelo sinal do coeficiente ρ_1 e a sua intensidade será maior à medida que μ_i se aproxima de 0,5 e menor quanto mais próximo dos extremos 0 ou 1.

Para as demais funções de ligação não se tem a interpretação com base na razão de chances como no caso da *logit*. Por outro lado, a influência de variações nos regressores em

relação à média avaliada com derivadas parciais pode ser usada no caso de qualquer função de ligação. Por exemplo, para a clog-log, ou log-log complementar, tem-se

$$\frac{\partial \mu_t}{\partial x_{t2}} = \frac{\partial g_2^{-1}(\eta_t)}{\partial x_{t2}} = (1 - \mu_t)[- \log(1 - \mu_t)] \rho_1 \quad (4.27)$$

onde $g_2^{-1}(\eta_t)$ é a função inversa da clog-log, ou seja,

$$g_2^{-1}(\eta_t) = 1 - \exp(-\exp(\mu_t)) \quad (4.28)$$

M

Mais uma vez o sinal da derivada na Equação 4.28 é definido por ρ_1 , mas sua intensidade máxima ocorre em $\mu_t = 1 - \exp(-1) = 0,6321$.

Outra maneira de se avaliar os impactos de incrementos ou decrementos nos regressores é por meio do cálculo da variação percentual da média μ_t . Ainda considerando o exemplo da alteração de c unidades em x_{t2} e $\mu_t^\#$ como sendo a média associada à essa variação, a variação percentual no caso da função de ligação clog-log é

$$\frac{\mu_t^\# - \mu_t}{\mu_t} \times 100 \quad (4.29)$$

onde

$$\mu_t^\# = 1 - (1 - \mu_t)^{\exp(c\rho_1)} \quad (4.30)$$

A

variação percentual da média μ_t devido a uma mudança de c unidades em x_{t2} pode ser obtida de maneira análoga para as demais funções de ligação. Toda essa análise se estende para o caso geral em que se tem k regressores. Para maiores detalhes em funções de ligação e suas propriedades, consultar McCullagh e Nelder (1989).

Visto isso, pode-se passar agora à interpretação dos parâmetros estimados da regressão beta inflacionada.

Modelagem DEA-BCC

O modelo mostrado na Tabela 4.4 para a modelagem DEA-BCC mostra que a eficiência μ_i sofre impactos positivos ao se aumentar as variáveis *dummies* *DGEO* e *DESP* pois o sinal delas é positivo.

A análise dos coeficientes estimados para esta modelagem permite verificar que a localização geográfica dos terminais da amostra exerce papel relevante na eficiência dos terminais ineficientes. Talvez isto se deva ao fluxo de mercadorias que é bem mais intenso no sul-sudeste brasileiro, algo em torno de 5 vezes maior em número de contêineres, do que somados os terminais localizados no norte e nordeste.

Claro que não se está cogitando neste trabalho a possibilidade de transferir todas as operações de um terminal do eixo norte-nordeste para outras regiões de maiores fluxos de carga/descarga de contêineres, mas isto reforça a importância de portos como Suape que apresenta as melhores condições operacionais e geográficas para se transformar em um porto concentrador de cargas nas rotas norte-sul entre América do Norte-Europa-África-costa leste da América do Sul (Brasil, Uruguai e Argentina) devido à sua infraestrutura favorável.

Além disso, a localização geográfica de Suape também possibilita a concentração dos serviços marítimos das rotas norte-sul brasileira, viabilizando sua utilização tanto como porto concentrador (*hub port* com *feeder service*) quanto como porto de transbordo de cargas nessas mesmas rotas e viabilizando também maior utilização da capacidade dos navios e melhor planejamento das escalas no Brasil e no resto da costa leste da América do Sul (LIMA, 1999).

Um maior recebimento de navios e cargas em contêineres por sua vez, justifica um grau maior de investimentos nesses terminais o que também impacta positivamente na produtividade e na eficiência técnica de tais terminais.

Enquanto Suape não se estabelece como um importante porto concentrador, a Tabela 4.5 mostra todos os terminais que não são eficientes segundo a modelagem DEA-BCC e que também não estão localizados nas regiões sul e sudeste do Brasil. Quatro indicadores compõem esta tabela: μ_i (eficiência mensurada segundo a modelagem DEA-BCC no capítulo 3 desta tese), $\hat{\mu}_i$ (eficiência estimada pela regressão beta inflacionada tendo a eficiência DEA-BCC como variável dependente), $\hat{\mu}_i^\#$ (nova eficiência estimada pela regressão beta inflacionada ao se alterar a variável *dummy* *DGEO* de 0 para 1), e $\Delta_\%$ (impacto percentual em $\hat{\mu}_i^\#$ ao se alterar a variável *dummy* *DGEO* de 0 para 1).

Observe que dos oito terminais mostrados na tabela 4.5, cinco são terminais públicos com um perfil de cargas bastante heterogêneo (ver capítulo 1 desta tese). Um acréscimo na variável *DGEO* de **zero** para **um** seria o mesmo que um acréscimo no número de contêineres movimentados diante da análise feita acima. Os terminais públicos sofreriam os maiores impactos na sua respectiva eficiência técnica (10 a 20%). Os demais terminais (todos especializados nesse tipo de carga) teriam um menor impacto na sua eficiência.

Sobre o menor impacto nos terminais especializados, vale destacar que para os terminais Tecon do porto de Suape e de Salvador, a taxa de consignação foi a principal variável apontada que precisaria sofrer incrementos para torná-lo um terminal eficiente (ver Apêndice - Tabela A.2). E, infelizmente, o aporte de maiores navios porta-contêineres independe da decisão do gestor portuário.

A respeito desta questão, Brito (2010) comenta que navios como o *Emma Maesk* que podem transportar entre 13 mil e 15 mil contêineres (dependendo do peso total embarcado) quase não navegam ao sul do Equador, não cabendo em nenhum porto brasileiro. Apesar disso não representar um grande problema para os portos brasileiros na opinião do autor, ele menciona que a ausência de navios deste tipo não se deve às limitações da infraestrutura portuária, mas sim por uma simples questão de lógica do comércio global, que flui, de forma predominante, no sentido leste-oeste, no eixo Ásia-Europa-Estados Unidos.

Tabela 4.5 – Mudanças na eficiência portuária (DEA-BCC) devido ao acréscimo $c = 1$ na variável dummy *DGEO* somente para terminais ineficientes e onde *DGEO* = 0.

Porto/TUP	Terminal	DEA.BCC μ_t	$\hat{\mu}_t$	$\hat{\mu}_t^\#$	$\Delta\%$
Itaqui-MA	Cais Público	0,11	0,50	0,60	20%
Natal-RN	Cais Público	0,25	0,72	0,79	10%
Maceió-AL	Cais Público	0,36	0,69	0,77	11%
Santarém-PA	Cais Público	0,36	0,72	0,79	10%
Fortaleza-CE	Cais Público	0,45	0,58	0,67	16%
Suape-PE	TECON	0,68	0,87	0,91	5%
TUP Chibatão-AM	Chibatão	0,85	0,85	0,89	5%
Salvador-BA	TECON	0,96	0,87	0,91	5%

Fonte: Essa pesquisa.

Já o terminal especializado TUP de Chibatão apresentou um pequeno acréscimo na sua eficiência pois ele necessita prioritariamente aumentar, além da sua captação de contêineres, também a sua prancha média (contêineres/hora).

Dando continuidade à análise dos parâmetros estimados da Tabela 4.4, uma outra variável, *DESP*, também impacta de forma positiva na eficiência técnica. A Tabela 4.6 mostra todos os terminais ineficientes e não especializados da amostra.

Tabela 4.6 – Mudanças na eficiência portuária (DEA-BCC) devido ao acréscimo $c = 1$ na variável dummy *DESP* somente para terminais ineficientes e onde $DESP = 0$.

Porto/TUP	Terminal	DEA.BCC μ_t	$\hat{\mu}_t$	$\hat{\mu}_t^\#$	$\Delta_\%$
Itaqui-MA	Cais Público	0,11	0,50	0,89	77%
Natal-RN	Cais Público	0,25	0,72	0,95	33%
São Francisco do Sul-SC	TESC	0,33	0,67	0,94	41%
Maceió-AL	Cais Público	0,36	0,69	0,95	37%
Santarém-PA	Cais Público	0,36	0,72	0,95	33%
Fortaleza-CE	Cais Público	0,45	0,58	0,92	59%
São Francisco do Sul-SC	Cais Público	0,53	0,69	0,95	38%
Imbituba-SC	Cais Público	0,99	0,71	0,95	35%

Fonte: Essa pesquisa.

Dos oito terminais apontados na Tabela 4.6, todos possuem um perfil de cargas bem heterogêneo, movimentando menos que 52% da carga total em contêineres. Afirmar que torná-los especializados incrementaria a sua eficiência técnica é o mesmo que aumentar a sua captação de contêineres de forma a torná-los especializados (90% ou mais de toda carga movimentada através de contêineres).

Isso pode ser reforçado ao se analisar as folgas para esses terminais mostradas no capítulo 3 desta tese. Em absolutamente todos os terminais da Tabela 4.6, a principal folga apontada foi o número de contêineres movimentados (ver Apêndice - Tabela A.2). Vale destacar que juntos eles movimentavam cerca de 184.151 contêineres em 2009 e para se tornarem eficientes (ou bem próximo disso) eles precisariam captar a mais 2.106.190 unidades.

A relevância desse *output* (número de contêineres movimentados) é tão alta em relação aos demais que nenhum terminal precisaria aumentar a sua prancha média, e somente para os terminais TESC, CP-Fortaleza e CP-Imbituba, a taxa de consignação necessitaria de um incremento positivo pequeno.

Pela Tabela 4.6 observa-se também que os incrementos são superiores a 33%, bem maiores que os apresentados ao se incrementar a variável *DGEO*, e o cais público do porto de Fortaleza também poderia se beneficiar pelo acréscimo da variável *DGEO*.

O cais público de Imbituba se destaca da amostra pelo seu elevado valor de eficiência técnica. O forte deste terminal é o coque de petróleo que responde por 34% da carga total movimentada, seguida da carga em contêineres (20%).

Observando a estrutura de regressão para a massa de probabilidade em um , tem-se que as variáveis TA e $DGEO$ foram selecionadas. Um acréscimo na espera do navio para atracar impacta de forma negativa na eficiência enquanto que um acréscimo em $DGEO$ termina por aumentar a eficiência técnica.

Por fim, considerando a estrutura de regressão para o parâmetro de precisão, à medida que os valores das covariáveis TA , TO e $DESP$ aumentam, a precisão também aumenta, diminuindo a dispersão dos dados. Os terminais portuários que possuem valores maiores para essas variáveis possuem escores de eficiência menos dispersos, ao passo que os terminais que possuem uma maior quantidade de berços, possuem escores de eficiência mais dispersos.

Modelagem FDH

Das duas regressões betas inflacionadas, a que será mostrada agora é a mais simples. A modelagem *free disposal hull* admite retornos variáveis de escala, mas não exige a condição de convexidade sendo menos limitante que as demais aqui estudadas. Essa abordagem permite identificar de maneira mais fácil quais terminais são ineficientes tanto nela como ineficientes na DEA-BCC. Em contrapartida, é mais fácil ser eficiente segundo essa abordagem e, portanto o percentual de **uns** é o maior dos dois.

Apenas uma variável explica a média μ_i . Trata-se da variável *dummy* $DESP$ que também estava incluídas na regressão com a variável dependente DEA-BCC, modelo que incluía além dessas, $DGEO$. O valor para o coeficiente estimado na modelagem FDH (1,9417) é bem próximo do estimado pela modelagem DEA-BCC (2,0828) (ver Tabela4.4).

As principais diferenças entre os dois modelos estimados estão no fato de que as funções de ligação foram diferentes para o parâmetro ϕ , permanecendo idênticas para os demais parâmetros (μ_i e α).

As regressões obtidas, independente da modelagem para se calcular as eficiências técnicas, deixam claro que o foco é aumentar a captação de cargas em contêineres, rumo à especialização.

A Tabela 4.7 mostra os incrementos passíveis de serem obtidos com o incremento unitário na variável *dummy* $DESP$ e destaca-se a ausência do terminal de Imbituba na mesma

pois segundo a modelagem FDH, o mesmo é eficiente, ficando fora da referida tabela. Os demais terminais apresentados são idênticos aos da Tabela 4.6, valendo assim, a mesma interpretação apresentada na seção anterior.

Tabela 4.7 – Mudanças na eficiência portuária (FDH) devido ao acréscimo $c = 1$ na variável dummy *DESP* somente para terminais ineficientes e onde $DESP = 0$.

Porto/TUP	Terminal	FDH μ_t	$\hat{\mu}_t$	$\hat{\mu}_t^\#$	$\Delta_\%$
Itaqui-MA	Cais Público	0,11	0,57	0,90	57%
Natal-RN	Cais Público	0,32	0,70	0,94	34%
São Francisco do Sul-SC	TESC	0,33	0,82	0,97	19%
Fortaleza-CE	Cais Público	0,57	0,62	0,92	48%
São Francisco do Sul-SC	Cais Público	0,63	0,83	0,97	17%
Maceió-AL	Cais Público	0,75	0,69	0,94	36%
Santarém-PA	Cais Público	0,80	0,70	0,94	34%

Fonte: Essa pesquisa.

Sobre o parâmetro ϕ , apenas a variável explicativas *TA* foi incluída como estatisticamente significativas a um nível de significância de 1% enquanto que sob a modelagem DEA-BCC, três foram incluídas no modelo de regressão (*TA*, *TO* e *DESP*). A precisão portanto, aumenta apenas quando os valores para o tempo de espera para atracar cresce.

Sobre o parâmetro α , as regressões em ambos os casos são explicadas pelas mesmas variáveis (*DGEO* e *TA*), que, aliás, possuem os mesmos sinais e mesmos graus de intensidade dentro do modelo. O Quadro 4.1 mostra um resumo dos sinais e incrementos obtidos para as modelagens DEA-BCC e FDH.

Quadro 4.1 – Resumo do impacto sobre a eficiência DEA-BCC e FDH.

Variáveis Independentes	Sinal esperado	Sinal obtido	Acréscimos	Impacto em $\hat{\mu}_t^{BCC}$	Impacto em $\hat{\mu}_t^{FDH}$
<i>DGEO</i>	+	+	$c = 1$	5% a 20%
<i>DESP</i>	0 ou +	+	$c = 1$	33 a 77%	17% a 57%

Fonte: Essa pesquisa.

4.6 Conclusões

Este capítulo analisou o efeito de seis covariáveis na eficiência portuária de 25 terminais brasileiros para o ano de 2009 através da análise de regressão beta inflacionada em *um*, de forma a complementar a interpretação obtida no cálculo dos escores de eficiências pelas modelagens DEA e FDH. Ao todo, dois modelos de regressões beta inflacionada foram estimados e tiveram um excelente ajuste com pseudo R^2 superiores a 0,66.

Das seis covariáveis independentes utilizadas, apenas três se destacaram - *DGEO*, *DESP* e *TA*. Por conta disso, pode-se inferir que o aumento da movimentação de carga em contêineres se faz necessário para o incremento da eficiência técnica dos terminais utilizados. Também se viu que os terminais ineficientes precisam se especializar nesse tipo de carga se quiserem alcançar melhores resultados, justificando, assim, um maior investimento para aumentar a produtividade como um todo e se preparando para o crescimento da participação de contêineres no transporte marítimo internacional.

Também se verificou a necessidade de se ter um porto concentrador de serviços marítimos no nordeste brasileiro para atender as rotas norte-sul brasileira, que também funcionasse como um importante porto de transbordo de cargas nessas mesmas rotas. Isso tornaria possível uma maior utilização da capacidade dos navios e melhor planejamento das escalas no Brasil e no resto da costa leste da América do Sul.

Essa estratégia possibilitaria o aumento da eficiência técnica dos terminais localizados no norte-nordeste brasileiro apontados como ineficientes através do recebimento de um montante maior de cargas em contêineres, o que também aumentaria por consequência direta a sua respectiva taxa de consignação (número de contêineres/navio).

Sobre a covariável *TA*, ficou claro que se faz necessário uma diminuição do tempo de espera dos navios até o seu devido atracamento como forma de aumentar a eficiência técnica dos terminais ineficientes.

As duas regressões deixam claro que o foco é aumentar inicialmente a movimentação de contêineres desde que de uma forma mais homogênea, fazendo com que os portos do sul-sudeste não sejam os únicos a liderar o mercado neste segmento. Com uma melhor distribuição geográfica deste tipo de carga, o incremento da taxa de consignação dos terminais norte-nordestinos sofreriam incrementos imediatos.

Concomitantemente, faz-se necessário atrair navios maiores, o que pressupõe possuir berços com calados profundos (12.5 m ou mais) e mais extensos (300 m ou mais), algo que

não depende da decisão do gestor portuário mas do Governo Federal que é responsável por este tipo de investimento.

E, por fim, estudar novas formas de diminuir as filas de navios a espera do seu atracamento, aumentando assim a competitividade brasileira com a redução do custo do frete marítimo.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Com o objetivo geral de fornecer instrumentos analíticos e comparativos de competitividade e de eficiências técnicas aos gestores de portos e terminais públicos ou privados interessados em aumentar cada vez mais a qualidade de seus serviços, buscou-se realizar uma classificação inicial de terminais que movimentaram contêineres em 2009.

A partir de oito critérios de seleção distribuídos em 04 componentes de competitividade portuária como descongestionamento, profundidade, economicidade e rapidez, realizou-se uma análise de *cluster* que possibilitou a formação de 03 grupos que se destacaram por apresentarem características bem peculiares. O grupo 1 era formado por treze terminais de pequeno porte, dos quais cinco eram cais públicos não especializados em movimentação de contêineres. Nesse grupo foi mostrado que apesar de diferentes entre si no que diz respeito ao seu perfil de cargas, eles estavam no mesmo grupo devido aos critérios de competitividade analisados.

O grupo 2 era composto de três terminais responsáveis pela maior movimentação de contêineres da amostra só perdendo mesmo para o terminal Tecon do porto de Santos/SP – único terminal do grupo 3 e maior movimentador de cargas em contêineres da amostra, do Brasil e o melhor em competitividade segundo as variáveis analisadas.

Essa classificação permitiu uma primeira análise ao leitor sobre as características dos principais terminais de contêineres brasileiros, mas um olhar mais criterioso permite afirmar que essa abordagem não seria suficiente para determinar quem são os terminais mais eficientes. Tão pouco respondeu à questão de que o porte do terminal ou sua especialização seria ou não um fator relevante na determinação da eficiência técnica de um terminal. Maiores estudos seriam necessários para aprofundar essa questão.

As respostas para essas indagações viriam com os resultados obtidos no capítulo 3. Nele, escolheu-se a abordagem FDH para explorar mais de perto os terminais ineficientes e a abordagem DEA-CCR para os eficientes. Se Tecon Santos/SP fosse de fato o mais competitivo de todos, seria de se esperar que ele fosse apontado também como *benchmark* em alguma das fronteiras de produção construídas.

Algumas respostas foram obtidas nesse sentido. Primeiro, o terminal Tecon do porto de Santos foi confirmado como *benchmark* pela abordagem DEA-BCC (este terminal apresenta retornos constantes de escala).

Segundo, dos terminais mais competitivos (grupos 2 e 3), um apresentou elevado valor para a eficiência técnica (Libra Terminais T-35 e T-37), e os outros três (Terminais Tecon do porto de São Paulo e do porto de Rio Grande, e terminal TCP do porto de Paranaguá) foram considerados eficientes em alguma abordagem.

Terceiro, ficou mostrado através de testes estatísticos não paramétricos que o porte de um terminal ou o seu grau de especialização não estava correlacionado com o fato de serem ou não eficientes. Isso teve duas implicações diretas: a primeira, alguns terminais de pequeno porte e outros cais públicos (de Suape/PE e Vitória, por exemplo) foram apontados como eficientes da mesma forma que grandes terminais especializados em carga conteneurizadas como os terminais Tecon e Tecondi do Porto de Santos/SP também são eficientes; e segundo, tanto na abordagem DEA-BCC como na FDH, os principais *benchmarks* se dividiam também entre pequenos e não especializados (cais público do porto de Belém/PA) e grandes e especializados (Tecon e Tecondi do Porto de Santos/SP).

Já com relação à localização geográfica dos terminais estudados, os testes estatísticos aplicados sugerem que há uma diferença significativa entre os terminais localizados no eixo sul-sudeste brasileiro *versus* norte-nordeste.

Ou seja, apesar de uma classificação hierárquica nos levar a avaliar terminais portuários pelo seu porte ou mesmo pela sua infraestrutura e outros critérios de competitividade, o conceito de eficiência técnica e a sua metodologia de construção possibilita uma nova forma de comparação entre estes terminais.

Isso pode ser observado ao se analisar os cais públicos dos portos de Natal, Maceió, Santarém e São Francisco do Sul. Ao invés deles terem como meta inicial atingirem os mesmos patamares dos grandes terminais apontados como seus *benchmarks*, eles poderiam primeiro, se nivelarem por um *benchmark* de porte inferior aos demais— o cais público do porto de Belém (eficiente pela abordagem DEA-BCC e FDH e apontado como *benchmark* dos terminais citados em ambas as abordagens), por exemplo. Uma vez alcançadas essas metas, eles poderiam ir rumo aos demais terminais indicados também como *benchmarks*.

Logo, a metodologia utilizada no capítulo 3 permitiu uma visão mais ampla e aprofundada dos terminais estudados. Todavia, fazia-se necessário também oferecer uma

metodologia que pretendesse complementar os resultados obtidos de forma a oferecer respostas mais imediatas ao gestor.

De outra forma, de posse de suas metas estabelecidas pelas folgas calculadas para um terminal ineficiente passar a ser eficiente, existiriam outras variáveis que impactariam na eficiência técnica? Seria possível confirmar os resultados obtidos no capítulo 3 por outro caminho?

Foi nesse intuito que o capítulo 4 se utilizou de modelos de regressão beta inflacionados em *um* para investigar os impactos na eficiência técnica para cada um dos 25 terminais da amostra se utilizando de 06 covariáveis, a saber: o número de contêineres movimentados (*C*); uma variável *dummy* (*DGEO*) que assume o valor 1 se o terminal estiver localizado nas regiões sul ou sudeste brasileira e 0 se contrário; uma variável *dummy* (*DESP*) que assume o valor 1 se o terminal puder ser considerado como especializado em movimentações de cargas em contêineres e 0 se contrário; tempo que o navio espera entre a chegada do navio no porto e a sua atracação no terminal (*TA*), o tempo de operação de descarga/carga de um navio de contêiner (*TO*), e a quantidade de navios atracados com carga/descarga de contêineres (*N*).

As regressões estimadas tiveram um excelente ajuste com pseudo R^2 superiores a 0,66 e foi observado através da análise das variáveis *DESP*, *DGEO* e *TA* que se faz relevante aumentar a movimentação de contêineres desde que de uma forma mais distribuída entre o norte e sul brasileiro, fazendo com que os portos do sul-sudeste não sejam os únicos a liderar o mercado neste segmento. Com uma distribuição geográfica mais equitativa deste tipo de carga, o incremento da taxa de consignação dos terminais norte-nordestinos sofreriam incrementos imediatos.

Por fim, as regressões permitem afirmar que se faz necessário estudar novas formas de diminuir as filas de navios a espera do seu atracamento, aumentando, assim, a competitividade brasileira com a redução do custo do frete marítimo.

Se por um lado a aplicação da abordagem DEA e FDH evidenciou que a mensuração eficiência técnica em 2009 não era estatisticamente diferente entre terminais de pequeno ou grande porte, nem entre terminais especializados ou não; por outro lado, os resultados do capítulo 4 apontaram que algumas estratégias para se incrementar esta mesma eficiência técnica dos terminais ineficientes requer também uma maior especialização do terminal nos anos que se seguem, o que passa por uma maior movimentação de contêineres tanto em

termos absolutos (que também havia sido apontado nas folgas calculadas no capítulo 3), quanto em relação aos demais tipos de carga.

Nesse momento há de se frisar que a ausência de uma análise qualitativa relativa à gestão portuária neste trabalho não invalida os resultados apresentados. Sabe-se que a formação de filas de caminhões nas áreas próximas aos portos para escoarem suas mercadorias merecem igual atenção. A burocracia aduaneira e fiscal (baixa eficiência no processo de liberação ou desembaraço de transações nas alfândegas) também dificultam o processo de embarque e desembarque de mercadorias no porto, contribuindo ainda mais para o tempo de espera desses caminhões e dos navios. Sem falar na precariedade de acessos aos portos e questões referentes a contratação de mão de obra direta e indireta para trabalhar nos portos.

Mesmo assim, espera-se que o gestor, seja ele privado ou público, possa se utilizar dos resultados aqui apresentados como base para que trajetória deva seguir.

Para finalizar, destaca-se a necessidade de novas pesquisas de coleta de dados sobre operações portuárias que possam ser englobadas em outras componentes de competitividade. Além disso, que tais variáveis torne possível uma comparação entre portos brasileiros e internacionais.

Sendo assim, o objetivo principal desta tese foi alcançado ao se fornecer instrumentos de comparação e de eficiência aos gestores públicos e privados de portos e terminais públicos ou privados interessados em aumentar cada vez mais a qualidade de seus serviços, permitindo um melhor escoamento dos produtos em contêineres através de portos marítimos ou fluviais e uma maior competitividade.

5.2 Sugestões de Trabalhos Futuros

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se apontar:

1. O acompanhamento do índice de eficiência mostrado neste trabalho caso a ANTAQ venha a disponibilizar um novo relatório de desempenho portuário para os anos posteriores a 2009. Isto tornaria possível inclusive a utilização do índice de produtividade de Malmquist e outros índices de análise de eficiências ao longo do tempo;
2. A construção de índices de eficiência com um número maior de *inputs* e *outputs* como, por exemplo, área ocupada pelo porto, número de terminais

- na área do porto, número de funcionários, tipo de navegação (longo curso, cabotagem), variáveis ligadas à gestão portuária etc.; desde que se tenha um número maior de terminais na amostra. Caso não seja possível aumentar o tamanho da amostra, utilizar essas variáveis extras num modelo de regressão beta inflacionado mais amplo;
3. Trabalhar com modelos DEA não-radiais como o *Slacks-Based Measure (SBM)* que utiliza as folgas no cálculo da eficiência e não requer que as mudanças nos *inputs* e *outputs* sejam proporcionais;
 4. Estudos que permitam levantar o perfil dos produtos que são importados e exportados em contêineres;
 5. Diagnóstico do tempo de vida dos equipamentos utilizados em terminais de contêineres e adequação dos mesmos em relação a equipamentos de última geração,
 6. Criação de indicadores de perfil tecnológico dos terminais brasileiros,
 7. Qual é a estrutura de custo dos terminais e quais seriam os indicadores financeiros tido como metas a serem alcançadas.
 8. Identificação das boas práticas dos *benchmarks* e quais gargalos são apontados por eles.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, C. M. M. *Uma proposta de metodologia para análise de eficiência em portos brasileiros: a técnica de análise envoltória de dados (DEA)*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, 2008.

AEB (ASSOCIAÇÃO DE COMÉRCIO EXTERIOR DO BRASIL). *Radiografia do comércio exterior brasileiro: passado, presente e futuro*. Disponível em: <[http://www.aeb.org.br/userfiles/file/AEB - Radiografia Com%C3%A9rcio Exterior Brasil.pdf](http://www.aeb.org.br/userfiles/file/AEB_Radiografia_Com%C3%A9rcio_Exterior_Brasil.pdf)>.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, v.19, n. 6, p. 716–723. doi:10.1109/TAC.1974.1100705, 1974.

ANTAQ. *Relatório de Desempenho Operacional dos Serviços Portuários 2010*. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/DesempenhoPortuario/2010/index.htm>>.

ANTAQ. *Indicadores de Desempenho Portuário – Sistema Permanente de Acompanhamento de Preços e Desempenho Operacional dos Serviços Portuários, 2013*. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/DesempenhoPortuario/Index.asp>>.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1 set. 1984.

BARROS, C. P.; ATHANASSIOU, M. "Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal." *Maritime Economics & Logistics*, v. 6, n. 2, p. 122–140, 2004.

BERTOLOTO, R. F. *Eficiência de portos e terminais privados brasileiros com características distintas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2010.

BRITO, P. *Muito a navegar*. 1a. ed. Rio de Janeiro: Topbooks Editora, 2010. 136p.

BROCK, G. et al. cValid: An R Package for Cluster Validation. *Journal of Statistical Software*, v. 25, n. 4, p. 1–22, 2008.

CEL/COPPEAD/UFRJ, *Relatório de pesquisa Panorama Logístico. Análise e Avaliação dos Portos Brasileiros*, Rio de Janeiro, 2008, 221 p.

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

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. "Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through". *Management Science*, v. 27, n. 6, p. 668–697, 1981.

- CHILINGERIAN, J. A. "Evaluating physician efficiency in hospitals: A multivariate analysis of best practices." *European Journal of Operational Research*, v. 80, p. 548–574, 1995.
- CNT. *Atlas do transporte*. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.sistamacnt.org.br/informacoes/pesquisas/atlas/2006/index.htm>>.
- COELLI, T. "A multi-stage methodology for the solution of orientated DEA models." *Operations Research Letters*, v. 23, n. 3, p. 143–149, out. 1998.
- COLLISON, F. M. "North to Alaska: Marketing in the Pacific Northwest–Central Alaska linear trade." *Maritime Policy & Management*, v. 11, n. 2, p. 99–112, 1 jan. 1984.
- CONTAINERISATION INTERNATIONAL. *Top 100 Container Ports:2012*. p. 2, 2012.
- CONTAINERISATION INTERNATIONAL. "Trade in Turmoil". *The Containerisation International Yearbook 2013*, p. 10–16, 2013.
- COOPER, W. W. ; SEIFORD, L. M. ; ZHU, J. *Handbook on Data Envelopment Analysis*. 2a. ed. Boston, MA: Springer US, 2011. v. 164
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. 2nd. ed., Springer, 2007.
- CULLINANE, K.; WANG, T. "The efficiency analysis of container port production using DEA panel data approaches." *OR Spectrum*, v. 32, n. 3, p. 717–738, 11 mar. 2010.
- CULLINANE, K.; WANG, T.; SONG, DW; JI, P. "The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 40, n. 4, p. 354–374, maio. 2006.
- DEPRINS, D.; SIMAR, L.; TULKENS, H. "Measuring Labor-Efficiency in Post Offices." In: MARCHAND, M. et al. (Eds.). *The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurements*. Amsterdam: North-Holland., 1984. p. 243-267.
- DÍAZ-HERNÁNDEZ, J. J.; MARTÍNEZ-BUDRÍA, E.; JARA-DÍAZ, S. "Parametric estimation of inefficiency in cargo handling in Spanish ports." *Journal of Productivity Analysis*, v. 30, n. 3, p. 223–232, 16 set. 2008.
- DÍAZ-HERNÁNDEZ, J. J.; MARTÍNEZ-BUDRÍA, E.; JARA-DÍAZ, S. "Productivity in Cargo Handling in Spanish Ports During a Period of Regulatory Reforms." *Networks and Spatial Economics*, v. 8, n. 2-3, p. 287–295, 28 dez. 2008.
- FERRARI, S.; CRIBARI-NETO, F. "Beta Regression for Modelling Rates and Proportions." *Journal of Applied Statistics*, v. 31, n. 7, p. 799–815, ago. 2004.
- FONTES, O. H. P. M. *Avaliação da eficiência portuária através de uma modelagem DEA*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense/RJ, 2006.

- GROSSKOPF, S.; MARGARITIS, D.; VALDMANIS, V. "Competitive effects on teaching hospitals." *European Journal of Operational Research*, v. 154, p. 515–525, 2004.
- HAHN, J.; KIM, H. "A DEA Approach for Evaluating the Efficiency of Exclusive Bus Routes." *Journal of the Easter Society for Transportation Studies*, v. 8, p. 1217–1229, 2010.
- HOFF, A. "Second stage DEA: Comparison of approaches for modelling the DEA score." *European Journal of Operational Research*, v. 181, n. 1, p. 425–435, ago. 2007.
- ITOH, H. "Efficiency changes at major container ports in Japan: a window application of data envelopment analysis." *Review of Urban and Regional Development Studies*, v. 14, n. 2, p. 133–152, 2002.
- KIESCHNICK, R.; MCCULLOUGH, B. D. "Regression analysis of variates observed on (0, 1): percentages, proportions and fractions." *Statistical Modelling*, v. 3, n. 3, p. 193–213, 1 out. 2003.
- LIMA, E. "Diretrizes estratégicas para os portos do Nordeste." *BNDES Setorial*, 1999.
- MARTINEZ-BUDRIA, E; DIAZ-ARMAS, R; NAVARRO-IBANEZ, M; RAVELO-MESA, T. "A study of the Efficiency of Spanish port authorities using Data Envelopment Analysis." *Instituti Editoriali e Poligrafici Internazionali*, v. 26, n. 2, p. 237–253, 1999.
- MCCALLA, R. J. "Canadian container ports: how have they fared? How will they do?" *Maritime Policy & Management*, v. 21, n. 3, p. 207–217, 1 jan. 1994.
- MCCULLAGH, P.; NELDER, J. A. *Generalized linear models*. 2a. ed. Bury St Edmunds: Chapman & Hall, 1989.
- MCDONALD, J. "Using least squares and tobit in second stage DEA efficiency analyses." *European Journal of Operational Research*, v. 197, n. 2, p. 792–798, set. 2009.
- MEZA, M. A. et al. *Análisis de la Competitividad de los Puertos Peruanos*. 1st. ed. Lima: CENTRUM Publishing, 2007. p. 249
- NAGELKERKE, N. J. D. "A note on a general definition of the coefficient of determination." *Biometrika*, v. 78, n. 3, p. 691–692, 1 set. 1991.
- ODECK, J.; BRÅTHEN, S. "A meta-analysis of DEA and SFA studies of the technical efficiency of seaports: A comparison of fixed and random-effects regression models." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 46, n. 10, p. 1574–1585, dez. 2012.
- OSPINA, R. *Modelos de regressão beta inflacionados*. Tese de doutorado. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2008.
- OSPINA, R.; FERRARI, S. L. P. "A general class of zero-or-one inflated beta regression models." *Computational Statistics & Data Analysis*, v. 56, n. 6, p. 1609–1623, jun. 2012.

- PEREIRA, T. L. *Regressão beta inflacionada: inferência e aplicações*. Tese doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, 2010.
- PORTER, M. E. *The competitive advantage of nations*. New York, Free Press, 1990
- PIHUR, V.; DATTA, S.; DATTA, S. "Weighted rank aggregation of cluster validation measures: a Monte Carlo cross-entropy approach." *Bioinformatics (Oxford, England)*, v. 23, n. 13, p. 1607–15, 1 jul. 2007.
- R CORE TEAM, *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria, 2013. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>
- RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. G. "Analysing the Relative Efficiency of Container Terminals of Mercosur using DEA." *Maritime Economics & Logistics*, v. 8, n. 4, p. 331–346, 2006.
- ROLL, Y.; HAYUTH, Y. "Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA)." *Maritime Policy & Management*, v. 20, n. 2, p. 153–161, 1 jan. 1993.
- SARKIS, J. "Preparing your data for DEA". In: *Modeling data irregularities and structural complexities in Data Envelopment Analysis*. Springer, 2007. p. 305–320.
- SCHEEL, H. *EMS: Efficiency Measurement System*, 2000. Disponível em: <www.wiso.uni-dortmund.de/lsg/or/scheel/ems>
- SCHØYEN, H.; ODECK, J. "The technical efficiency of Norwegian container ports: A comparison to some Nordic and UK container ports using Data Envelopment Analysis (DEA)". *Maritime Economics & Logistics*, v. 15, n. 2, p. 197–221, jun. 2013.
- SLACK, B. "Containerization, inter-port competition, and port selection." *Maritime Policy & Management*, v. 12, n. 4, p. 293–303, 1 jan. 1985.
- SOUSA, M. DA C. S. DE; RAMOS, F. S. "Eficiência técnica e retornos de escala na produção de serviços públicos municipais: o caso do nordeste e do sudeste brasileiros." *Revista Brasileira de Economia*, v. 53, p. 433–461, 1999.
- SOUSA JUNIOR, J. N. C. *Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, 2010.
- STASINOPOULOS, D. M.; RIGBY, R. A. *Generalised Additive Models for Location Scale and Shape (GAMLSS) in R*, 2013. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/gamlss/gamlss.pdf>>
- TOBIN, J. "Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables." *Econometrica*, v. 26, n. 1, p. 24–36, 1958.
- TONGZON, J. "Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 35, p. 107–122, 2001.

- TULKENS, H. *The measurement of productive efficiency by FDH frontiers*. Université Catholique de Louvain, 1990.
- 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, jul. 2004.
- UNCTAD. *Port marketing and the challenge of the third generation port*. Geneva, 1992. Disponível em: <<http://r0.unctad.org/ttl/docs-un/td-b-c4-ac7-14/en/TD B C4 AC7 14e.pdf>>.
- UNCTAD. *Review of maritime transport 2010*. 2011. Disponível em: <http://unctad.org/en/Docs/rmt2010_en.pdf>.
- UNCTAD. *Review of maritime transport 2012*. 2013. Disponível em: <http://unctad.org/en/Docs/rmt2011_en.pdf>.
- VALENTINE, V. F.; GRAY, R. *The measurement of port efficiency using Data Envelopment Analysis*. Ninth World conference on Transport Research. Anais da Ninth World Conference on Transport Research. Seoul: 2001. Disponível em: <<http://www.informare.it/news/forum/2000/sig2/valentinees.asp>>
- WANG, T.; CULLINANE, K.; SONG, D.-W. "Container port production efficiency: a comparative study of DEA and FDH approaches." *Journal of Eastern Asian Society for Transportation Studies*, v. 5, p. 698–713, 2003.
- WANG, T.-F.; CULLINANE, K. "The Efficiency of European Container Terminals and Implications for Supply Chain Management." *Maritime Economics and Logistics*, v. 8, n. 1, p. 82–99, 2006.
- WANG, T.-F.; SONG, D.-W.; CULLINANE, K. *The Applicability of Data Envelopment Analysis to Efficiency Measurement of Container Ports*. International Association of Maritime Economists (IAME). Anais. Panamá: 2002. Disponível em: <http://www.eclac.cl/transporte/perfil/iame_papers/proceedings/Wang_et_al.doc>
- WANKE, P. F.; BARBASTEFANO, R. G.; HIJJAR, M. F. "Determinants of Efficiency at Major Brazilian Port Terminals." *Transport Reviews*, v. 31, n. 5, p. 653–677, 2011.
- WILLINGALE, M. C. "The port-routeing behaviour of short-sea ship operators; theory and practice." *Maritime Policy & Management*, v. 8, n. 2, p. 109–120, 1 jan. 1981.
- WORLD BANK. *How to Decrease Freight Logistics Costs in*. 2011. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1323121030855/FreightLogistics.pdf?resourceurlname=FreightLogistics.pdf>>.
- YEO, G.-T.; ROE, M.; DINWOODIE, J. "Evaluating the competitiveness of container ports in Korea and China." *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 42, n. 6, p. 910–921, jul. 2008.

ZHU, J. *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets*. 2nd. ed. Springer, 2009.

Tabela A.1 – Alvos para uma DMU ineficiente se tornar eficiente (modelagem CCR).

(continua)

Porto/TUP	Terminal	DEA-CCR	EXT			PB			NB		
			V. atual	Folgas	Metas	V. atual	Folgas	Metas	V. atual	Folgas	Metas
Itaqui/MA	Cais Público	0,10	1.656,0	1.106,8	549,2	14,0	0,0	14,0	4	1	3
Natal/RN	Cais Público	0,24	540,0	128,2	411,8	11,5	0,0	11,5	3	1	2
Maceió/AL	Cais Público	0,32	400,0	0,0	400,0	10,5	0,1	10,4	3	1	2
São Francisco do Sul/SC	TESC	0,33	603,0	210,5	392,5	12,0	0,0	12,0	2	0	2
Santarém/PA	Cais Público	0,36	380,0	0,0	380,0	11,5	0,1	11,4	2	0	2
Fortaleza/CE	Cais Público	0,45	480,0	93,3	386,7	11,5	0,0	11,5	2	0	2
São Francisco do Sul/SC	Cais Público	0,51	927,0	456,2	470,8	12,0	0,0	12,0	4	1	3
Vitória/ES	Peiú	0,59	260,0	43,9	216,1	10,7	2,3	8,4	1	0	1
Suape/PE	TECON	0,68	660,0	275,8	384,2	15,5	4,2	11,4	2	0	2
Belém/PA	Cais Público	0,71	280,0	34,6	245,4	7,3	0,0	7,3	2	1	1
TUP Chibatão/AM	Chibatão	0,77	431,5	0,0	431,5	20,0	7,1	12,9	4	2	2
Maceió/AL	EMPAT	0,80	250,0	16,5	233,6	10,5	0,0	10,5	1	0	1
Vila do Conde/PA	Cais Público	0,80	252,0	26,8	225,2	12,2	2,7	9,5	1	0	1
Vitória/ES	TVV	0,81	447,4	74,0	373,4	10,7	0,0	10,7	2	0	2
Imbituba/SC	Cais Público	0,83	308,0	0,0	308,0	11,0	3,2	7,9	2	0	2
Santos/SP	LIBRA (T35) e LIBRA (T37)	0,83	1.100,0	570,4	529,6	13,5	0,0	13,5	5	2	3
Rio Grande/RS	TECON	0,84	900,0	429,2	470,8	12,0	0,0	12,0	3	0	3
Santos/SP	Rodrimar	0,92	325,0	0,0	325,0	12,2	3,9	8,3	2	0	2
Itajaí/SC	TECONVI	0,95	535,0	156,5	378,5	11,0	0,0	11,0	2	0	2
Salvador/BA	TECON	0,96	450,0	57,5	392,5	12,0	0,0	12,0	2	0	2

Fonte: Essa pesquisa.

Nota: EXT = Extensão do berço (m); PB = Profundidade do berço (m); NB = Número de berços (unidades); C = número de containeres movimentados (unidades de containeres); PM = Prancha média (containeres/h); TC = Taxa de consignação (containeres/navio).

Tabela A.1 – Alvos para uma DMU ineficiente se tornar eficiente (modelagem CCR).

Porto/TUP	Terminal	DEA-CCR	(conclusão)								
			C			PM			TC		
			V. atual	Folgas	Metas	V. atual	Folgas	Metas	V. atual	Folgas	Metas
Itaqui/MA	Cais Público	0,10	577	709.476	709.535	4	0	0	57	41	47
Natal/RN	Cais Público	0,24	8.008	318.166	320.115	7	0	2	140	0	34
Maceió/AL	Cais Público	0,32	3.056	480.093	481.069	9	0	3	145	0	46
São Francisco do Sul/SC	TESC	0,33	15.208	135.386	140.452	9	0	3	109	316	352
Santarém/PA	Cais Público	0,36	3.163	169.708	170.832	8	4	7	225	0	80
Fortaleza/CE	Cais Público	0,45	35.208	121.774	137.538	12	0	5	154	287	356
São Francisco do Sul/SC	Cais Público	0,51	102.862	411.846	464.466	17	0	9	246	28	154
Vitória/ES	Peiú	0,59	2.829	67.533	69.193	8	0	5	157	0	92
Suape/PE	TECON	0,68	144.053	0	97.287	18	0	12	151	394	496
Belém/PA	Cais Público	0,71	25.477	90.440	108.419	12	0	8	283	0	200
TUP Chibatão/AM	Chibatão	0,77	95.015	78.938	151.953	13	13	23	552	0	424
Maceió/AL	EMPAT	0,80	600	55.628	56.108	11	0	9	150	33	153
Vila do Conde/PA	Cais Público	0,80	16.772	43.133	56.611	11	0	9	195	0	157
Vitória/ES	TVV	0,81	136.896	102.008	212.658	21	0	17	336	138	410
Imbituba/SC	Cais Público	0,83	16.069	381.590	394.895	18	0	15	172	125	267
Santos/SP	LIBRA (T35) e LIBRA (T37)	0,83	462.727	131.502	515.189	31	0	26	314	194	454
Rio Grande/RS	TECON	0,84	375.006	167.854	483.834	28	0	24	288	167	409
Santos/SP	Rodrimar	0,92	132.350	278.548	399.703	21	0	19	280	45	302
Itajaí/SC	TECONVI	0,95	87.977	150.583	234.187	25	0	24	439	123	540
Salvador/BA	TECON	0,96	148.920	26.299	169.616	26	0	25	169	468	630

Fonte: Essa pesquisa.

Nota: EXT = Extensão do berço (m); PB = Profundidade do berço (m); NB = Número de berços (unidades); C = número de containeres movimentados (unidades de containeres); PM = Prancha média (containeres/h); TC = Taxa de consignação (containeres/navio).

Tabela A.2 – Alvos para uma DMU ineficiente se tornar eficiente (modelagem BCC).

(continua)

Porto/TUP	Terminal	DEA-BCC	EXT			PB			NB		
			V. atual	Folgas	Metas	V. atual	Folgas	Metas	V. atual	Folgas	Metas
Itaqui/MA	Cais Público	0,11	1.656,0	1.146,0	510,0	14,0	1,0	13,0	4	1	3
Natal/RN	Cais Público	0,25	540,0	123,7	416,3	11,5	0,0	11,5	3	1	2
São Francisco do Sul/SC	TESC	0,33	603,0	213,0	390,0	12,0	0,3	11,7	2	0	2
Maceió/AL	Cais Público	0,36	400,0	0,0	400,0	10,5	0,0	10,5	3	1	2
Santarém/PA	Cais Público	0,36	380,0	0,0	380,0	11,5	0,0	11,5	2	0	2
Fortaleza/CE	Cais Público	0,45	480,0	48,6	431,4	11,5	0,0	11,5	2	0	2
São Francisco do Sul/SC	Cais Público	0,53	927,0	457,4	469,7	12,0	0,0	12,0	4	1	3
Suapec/PE	TECON	0,68	660,0	220,5	439,5	15,5	3,8	11,8	2	0	2
TUP Chibatão/AM	Chibatão	0,85	431,5	41,0	390,5	20,0	8,3	11,7	4	2	2
Santos/SP	LIBRA (T35) e LIBRA (T37)	0,86	1.100,0	590,0	510,0	13,5	0,5	13,0	5	2	3
Rio Grande/RS	TECON	0,88	900,0	430,4	469,7	12,0	0,0	12,0	3	0	3
Vitoria/ES	TVV	0,90	447,4	72,4	375,0	10,7	0,0	10,7	2	0	2
Salvador/BA	TECON	0,96	450,0	60,0	390,0	12,0	0,3	11,7	2	0	2
Imbituba/SC	Cais Público	0,99	308,0	0,0	308,0	11,0	0,0	11,0	2	0	2

Fonte: Essa pesquisa.

Nota: EXT = Extensão do berço (m); PB = Profundidade do berço (m); NB = Número de berços (unidades); C = número de containeres movimentados (unidades de containeres); PM = Prancha média (containeres/h); TC = Taxa de consignaço (containeres/navio).

Tabela A.2 – Alvos para uma DMU ineficiente se tornar eficiente (modelagem BCC).

Porto/TUP	Terminal	DEA-BCC	(conclusão)								
			C			PM			TC		
			V. atual	Folgas	Metas	V. atual	Folgas	Metas	V. atual	Folgas	Metas
Itaqui/MA	Cais Público	0,11	577	658.799	658.863	4	0	0	57	38	44
Natal/RN	Cais Público	0,25	8.008	299.527	301.532	7	0	2	140	0	35
São Francisco do Sul/SC	TESC	0,33	15.208	137.688	142.757	9	0	3	109	323	359
Maceió/AL	Cais Público	0,36	3.056	330.200	331.300	9	0	3	145	52	105
Santarém/PA	Cais Público	0,36	3.163	161.338	162.492	8	4	7	225	0	82
Fortaleza/CE	Cais Público	0,45	35.208	78.532	94.518	12	0	5	154	251	320
São Francisco do Sul/SC	Cais Público	0,53	102.862	359.623	414.629	17	0	9	246	44	176
Suaape/PE	TECON	0,68	144.053	0	97.333	18	0	12	151	359	461
TUP Chibatão/AM	Chibatão	0,85	95.015	71.428	152.121	13	12	23	552	0	469
Santos/SP	LIBRA (T35) e LIBRA (T37)	0,86	462.727	126.632	525.088	31	0	27	314	186	457
Rio Grande/RS	TECON	0,88	375.006	126.213	456.528	28	0	25	288	177	431
Vitoria/ES	TVV	0,90	136.896	0	123.008	21	0	19	336	175	477
Salvador/BA	TECON	0,96	148.920	28.664	172.063	26	0	25	169	475	637
Imbituba/SC	Cais Público	0,99	16.069	80.483	96.461	18	0	18	172	95	266

Fonte: Essa pesquisa.

Nota: EXT = Extensão do berço (m); PB = Profundidade do berço (m); NB = Número de berços (unidades); C = número de containeres movimentados (unidades de containeres); PM = Prancha média (containeres/h); TC = Taxa de consignação (containeres/navio)

Tabela B.1 – Simulações realizadas com escores de eficiência admitindo retornos variáveis de escala (DEA-BCC).

Simulação	Funções de ligação			Observação
	μ	ϕ	α	
1	Logit	inverse	logit	
2	Logit	inverse	probit	
3	Logit	inverse	cloglog	
4	Logit	inverse	log	
5	Logit	log	logit	
6	Logit	log	probit	O melhor resultado dentre todas as simulações.
7	Logit	log	cloglog	
8	Logit	log	log	
9	Logit	identity	logit	
10	Logit	identity	probit	
11	Logit	identity	cloglog	
12	Logit	identity	log	
13	Probit	inverse	logit	
14	Probit	inverse	probit	
15	Probit	inverse	cloglog	
16	Probit	inverse	log	
17	Probit	log	logit	
18	Probit	log	probit	
19	Probit	log	cloglog	
20	Probit	log	log	
21	Probit	identity	logit	
22	Probit	identity	probit	
23	Probit	identity	cloglog	
24	Probit	identity	log	
25	cloglog	inverse	logit	
26	cloglog	inverse	probit	
27	cloglog	inverse	cloglog	
28	cloglog	inverse	log	
29	cloglog	log	logit	
30	cloglog	log	probit	
31	cloglog	log	cloglog	
32	cloglog	log	log	
33	cloglog	identity	logit	
34	cloglog	identity	probit	
35	cloglog	identity	cloglog	
36	cloglog	identity	log	

Fonte: Essa pesquisa.

Saída de resultados do software R para a simulação 6:

Family: c("BEOI", "One Inflated Beta")

Call: `gamlss(formula = BCC.eff ~ DGEO + DESP, sigma.formula = ~TA + DESP + TO, nu.formula = ~TA + DGEO, family = BEOI(mu.link = "logit", sigma.link = "log", nu.link = "probit"), method = RS(1000), trace = FALSE)`

Fitting method: RS(1000)

 Mu link function: logit

Mu Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.3542	0.7012	-0.5051	0.620804
DGEO	0.4009	0.2096	1.9124	0.075114
DESP	2.0828	0.7012	2.9704	0.009529

 Sigma link function: log

Sigma Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.4303	5.4167	-0.6333	0.53608
TA	0.1050	0.1293	0.8124	0.42925
DESP	3.2671	1.6927	1.9301	0.07273
TO	0.2214	0.3477	0.6367	0.53393

 Nu link function: probit

Nu Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.04763	0.44428	0.1072	0.91605
TA	-0.10528	0.05348	-1.9688	0.06774
DGEO	1.59241	0.84165	1.8920	0.07795

 No. of observations in the fit: 25

Degrees of Freedom for the fit: 10

Residual Deg. of Freedom: 15

at cycle: 19

Global Deviance: -11.77996

AIC: 8.220035

SBC: 20.40879

> Rsq(bestBCC)

[1] 0.821608

Tabela B.2 – Simulações realizadas com escores de eficiência com modelagem Free disposal hull (FDH)

Simulação	Funções de ligação			Observação
	μ	ϕ	α	
1	Logit	inverse	logit	
2	Logit	inverse	probit	
3	Logit	inverse	cloglog	
4	Logit	inverse	log	
5	Logit	log	logit	O melhor resultado dentre todas as simulações.
6	Logit	log	probit	
7	Logit	log	cloglog	
8	Logit	log	log	
9	Logit	identity	logit	
10	Logit	identity	probit	
11	Logit	identity	cloglog	
12	Logit	identity	log	
13	Probit	inverse	logit	
14	Probit	inverse	probit	
15	Probit	inverse	cloglog	
16	Probit	inverse	log	
17	Probit	log	logit	
18	Probit	log	probit	
19	Probit	log	cloglog	
20	Probit	log	log	
21	Probit	identity	logit	
22	Probit	identity	probit	
23	Probit	identity	cloglog	
24	Probit	identity	log	
25	cloglog	inverse	logit	
26	cloglog	inverse	probit	
27	cloglog	inverse	cloglog	
28	cloglog	inverse	log	
29	cloglog	log	logit	
30	cloglog	log	probit	
31	cloglog	log	cloglog	
32	cloglog	log	log	
33	cloglog	identity	logit	
34	cloglog	identity	probit	
35	cloglog	identity	cloglog	
36	cloglog	identity	log	

Fonte: Essa pesquisa.

Saída de resultados do software R para a simulação 05:

Family: c("BEOI", "One Inflated Beta")

Call: `gamlss(formula = FDH.eff ~ DESP, sigma.formula = ~TA, nu.formula = ~DGEO + TA, family = BEOI(mu.link = "logit", sigma.link = "log", nu.link = "logit"), method = RS(100), trace = FALSE)`

Fitting method: RS(100)

 Mu link function: logit

Mu Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.2132	0.2185	-0.9757	3.422e-01
DESP	1.9417	0.2185	8.8880	5.305e-08

 Sigma link function: log

Sigma Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.1223	0.82916	-0.1475	0.884348
TA	0.1844	0.05804	3.1776	0.005213

 Nu link function: logit

Nu Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.1391	0.72743	-0.1913	0.85046
DGEO	2.9648	1.53477	1.9317	0.06929
TA	-0.1062	0.09492	-1.1188	0.27792

 No. of observations in the fit: 25

Degrees of Freedom for the fit: 7

Residual Deg. of Freedom: 18

at cycle: 8

Global Deviance: 4.73246

AIC: 18.73246

SBC: 27.26459

> Rsq(bestFDH)

[1] 0.6608836