

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

**UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA
EM PORTOS BRASILEIROS: A TÉCNICA DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA
DE DADOS (DEA)**

Cristina Maria Machim Acosta

Dissertação apresentada como requisito parcial, à
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Oceânica,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da
Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul.

Orientador - Milton Luiz Paiva de Lima, Dr.

Co-orientadora - Ana Maria Volkmer de Azambuja da
Silva, Dr^a.

Rio Grande, novembro de 2008.

UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA
EM PORTOS BRASILEIROS: A TÉCNICA DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA
DE DADOS (DEA)

À minha mãe, pelo carinho e dedicação e incentivo.
Ao meu esposo e filho, pela compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Milton Luiz Paiva de Lima, pela sugestão de trabalhar com os Portos Brasileiros, orientação, atenção e incentivo no desenvolvimento deste Trabalho.

À Professora Ana Maria Volkmer de Azambuja da Silva, pela orientação, dedicação contínua e incansável ajuda no decorrer deste Trabalho.

Ao Professor Leonardo Melgarejo, por sua atenção nos momentos de dúvidas, sugestões importantes e leitura atenta deste Trabalho.

Aos professores Cláudio Dias e Elaine Corrêa Pereira pela leitura atenta e sugestões importantes deste Trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação de Engenharia Oceânica.

À secretária do Curso, Nilza, pela atenção e palavras de incentivo.

Um carinho especial à minha mãe, por estar sempre presente na minha vida, ajudando e incentivando a nunca desistir, ao meu esposo, atencioso e presente, ao meu filho, minha fonte de dedicação, com retornos de grandes alegrias. Pela compreensão dos muitos momentos de ausência.

A minha amiga Simone, pela amizade e palavras significativas.

Aos meus colegas com seus gestos e palavras de incentivos.

A Deus pela sua presença.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para tornar este trabalho uma realidade.

Deus não nos dá tudo o que sonhamos,
mas nos oferece caminhos para irmos em
busca do que desejamos.

RESUMO

Os portos brasileiros após a Lei nº. 8.630/93 conhecida como “*Lei de Modernização das Portos*”, atravessam um processo de profundas alterações. Após a privatização dos serviços operados nos portos brasileiros, tem ocorrido um incremento nos investimentos em melhorias para o aumento na movimentação de cargas. É de interesse que se conheçam quais os portos brasileiros vêm realizando esse serviço de forma mais eficiente. Neste contexto, é muito importante a busca de melhores índices de eficiência, com o objetivo principal de dar suporte ao crescimento das relações de comércio com o exterior, uma vez que este é um dos principais instrumentos de viabilizar o desenvolvimento econômico e social do País. Dessa forma é importante e necessária a utilização de avaliações permanentes de eficiência com o objetivo de aperfeiçoar a qualidade nas operações portuárias. Neste trabalho é avaliada a eficiência técnica dos portos brasileiros, utilizando a técnica conhecida como Análise Envoltória de Dados (AED). Aplicando os conceitos dessa metodologia, foi construído, a partir de um modelo orientado para o produto, um índice de eficiência composto por insumos e produtos. No referido índice foram incluídos como insumos extensão de cais, profundidade do canal e área de armazenagem e como produto a soma geral dos granéis sólidos, líquidos, carga geral e contêineres. Com a aplicação desse score para os anos de 2004 e 2005 foram identificados os portos de Areia Branca (RN), Itaqui (MA), Natal (RN), Santos (SP) e São Francisco do Sul (SC), como eficientes. Esses portos eficientes poderão servir de referência para os ineficientes.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados, portos brasileiros, eficiência, avaliação.

ABSTRACT

The Brazilian ports, after Law no.8630/93, known as a “Law of Ports modernization”, were submitted to major changes. The services provided increased meaningfully and, hence, there was a boost to investment. In this context, it is important that permanent evaluations of efficiency take place in the port sector, aiming at supporting its fast growing relationship of international trading, once this is one of the important tools to enable the social and economic development of our country. To do so, it is worthwhile the search for efficiency indexes which can contribute for better quality operations. In this work, it is presented and applied a methodology to evaluate the technical efficiency of the Brazilian ports. It is applied the technique known as Data Envelopment Analysis (DEA), as it is developed, through a model oriented for the product, an index of efficiency made up of inputs and outputs. In this index, it was included as input: extension of the docks, depth of the channel and warehouse area, as output the general flow of loading, which includes solid grains, liquids, general cargo and containers. By using such methodology for the years 2004 and 2005, the ports of Areia Branca (RN), Itaquí (MA), Natal (RN), Santos (SP) and São Francisco do Sul (SC) were ranked as very efficient. Those ports can become reference to the other ports so that they can reach the so-called frontier of efficiency.

Key-Words: Data Envelopment Analysis, Brazilian ports, efficiency, evaluation

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	10
LISTA DE ABREVIATURAS	12
LISTA DE TABELAS	14
LISTAS DE FIGURAS	16
1. INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 OBJETIVO GERAL	19
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3 CONTRIBUIÇÃO DESTE ESTUDO	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2. OS PORTOS BRASILEIROS	22
2.1 BREVE HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DOS PORTOS BRASILEIROS	22
2.2 INFRA-ESTRUTURA DE PORTOS E TERMINAIS PORTUÁRIOS	23
2.3 REGULAMENTAÇÃO, LEIS PORTUÁRIAS E ADMINISTRAÇÃO	25
2.4 IMPORTÂNCIA DOS PORTOS NO CONTEXTO URBANO	27
2.5 SITUAÇÃO ATUAL DOS PORTOS BRASILEIROS	28
2.6 OS PORTOS BRASILEIROS FRENTE AO MERCADO INTERNACIONAL	30
3. CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA	33
3.1 PRODUTIVIDADE	33
3.2 EFICIÊNCIA	34
3.2.1 EFICIÊNCIA TÉCNICA	35
3.2.2 EFICIÊNCIA ALOCATIVA	37
3.3 RETORNOS DE ESCALA UTILIZANDO ISOQUANTAS	38

4. TÉCNICAS PARAMÉTRICAS PARA MEDIR EFICIÊNCIA	41
4.1 FUNÇÃO DE PRODUÇÃO	41
4.1.2 MODELOS DE FUNÇÃO DE PRODUÇÃO	42
4.1.2.1 MODELOS DE FRONTEIRA DE PRODUÇÃO DETERMINÍSTICOS	42
4.1.2.2 MODELOS DE FRONTEIRA DE PRODUÇÃO ESTOCÁSTICOS	44
4.2 FUNÇÃO DE CUSTOS	46
5. TÉCNICAS NÃO-PARAMÉTRICAS PARA MEDIR EFICIÊNCIA	48
5.1 DEFINIÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	49
5.2 UTILIZAÇÃO E VANTAGENS DA TÉCNICA AED	53
5.3 DECOMPOSIÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA TOTAL DE ACORDO COM A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	55
5.3.1 EFICIÊNCIA TÉCNICA TOTAL	56
5.3.2 EFICIÊNCIA DE ESCALA	57
5.3.3 EFICIÊNCIA DE CONGESTIONAMENTO	59
5.4 MODELOS BÁSICOS DE AED	61
5.4.1 MODELO ADITIVO	63
5.4.2 MODELO MULTIPLICATIVO	67
5.4.3 MODELOS ORIENTADOS	68
5.4.3.1 MODELO ORIENTADO PARA O INSUMO	69
5.4.3.2 MODELO ORIENTADO PARA O PRODUTO	72
5.5 SELEÇÃO DAS UTDs, INSUMOS E PRODUTOS	75
5.6 RESTRIÇÕES NOS PESOS	76
6. APLICAÇÃO DA TÉCNICA AED	79
6.1 ANÁLISE DOS DADOS	79
6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	81
6.3 DIFICULDADES ENCONTRADAS	85
6.4 RESTRINGINDO PESOS DAS VARIÁVEIS	86
7. ANÁLISE DOS RESULTADOS	88
7.1 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA	88

8. CARACTERIZAÇÃO DOS PORTOS EFICIENTES	106
9. CONCLUSÕES	110
9.1 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	112
10. ANEXOS	113
ANEXO A – MAPA DOS PORTOS BRASILEIROS	113
ANEXO B – SISTEMA PORTUÁRIO BRASILEIRO	114
ANEXO C ₁ – TABELAS DA VARIÁVEL PRODUTO (GRANÉIS SÓLIDOS, LÍQUIDOS E CARGA GERAL)	118
ANEXO C ₂ – TABELAS DA VARIÁVEL PRODUTO (CONTÊINERES)	119
ANEXO C ₃ – TABELA DAS VARIÁVEIS INSUMOS E PRODUTO PONDERADOS	120
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

LISTA DE SÍMBOLOS

- a - Parâmetro da função de produção translog ou de uma função de custo
- a_0 - Constante
- a_i - Coeficiente
- b - Parâmetro da função de produção
- C - Função de custo
- E - Eficiência
- e - Folga de insumos
- $f(x,)$ - Função de produção
- $L_{1,2}$ - Limite inferior do intervalo de limite de pesos
- P - Pontos que representam as unidades
- m - Número de insumos
- n - Número de unidades de tomada de decisão
- r - Número de produtos
- RE - Retornos de escala
- s - Folga de produtos;
- $U_{1,2}$ - Limite superior do intervalo do limite de pesos
- X - Vetor de insumos
- x_1 - Vetor de insumos observado
- x - Quantidade de insumos
- \bar{x} - insumos fixos
- Y – Vetor de produtos
- y – Quantidade de produtos
- y_1 - Vetor de produtos observado
- y_j - Produto gerado pela unidade “j”
- w - Vetor dos preços dos insumos
- α - Parâmetro da função de produção Cobb-Douglas ou função de custo translog
- β - Vetor de parâmetros da tecnologia a ser estimado;
- δ'_e - Redução residual adicional individual de insumos.
- δ'_s - Aumento residual adicional individual de produtos.
- ε - Valor infinitesimal dos modelos AED não arquimedianos

θ - Redução proporcional de insumos

λ - Percentuais das quantidades de insumos e produtos das unidades de referência a serem utilizados pelas unidades ineficientes

μ - Peso dos produtos

v_2 e v_1 - Pesos dos insumos

η_j - componente de erro aleatório;

ρ - Parâmetro da função de custo translog

τ - Redução proporcional de insumos

φ - Aumento proporcional de produtos

ϵ_j (ou ET_j) - Componente de erro aleatório devido à ineficiência técnica.

ϕ - Aumento proporcional de produtos

ϖ - Multiplicador virtual do hiperplano suportante

ω^* - Intercepto do hiperplano

LISTA DE ABREVIATURAS

AEB - Associação de Comércio Exterior do Brasil
AED - Análise Envoltória de Dados
ALUMAR - Alumínio do Maranhão
ANTAQ - Agência Nacional de Transporte Aquaviário
APSFS - Administração do Porto de São Francisco do Sul
AR - Assurance Region Method
ATP - Adicional da Tarifa Portuária
BCC - Banker, Charnes e Cooper
CAP - Conselho de Autoridade Portuária
CCR - Charnes, Cooper e Rhodes
CDC - Companhia Docas do Ceará
CDI - Companhia Docas de Imbituba
CDP - Companhia Docas do Pará
CNI - Confederação Nacional da Indústria
CODEBA - Companhia Docas da Bahia
CODERJ - Companhia Docas do Rio de Janeiro
CODERN - Companhia Docas do Rio Grande do Norte
CODESA - Companhia Docas do Espírito Santo
CODESP - Companhia Docas de São Paulo
CODOMAR - Companhia Docas do Maranhão
CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento
EFC - Eficiência de Congestionamento
EFE_i - Eficiência de Escala
EFT_i - Eficiência Técnica Total
EFTP_i - Eficiência Técnica Pura
ET_j - Ineficiência Técnica
EMAP - Empresa Maranhense de Administração Portuária
FIEB - Federação das Indústrias do Estado da Bahia
GLP - Gás Liquefeito de Petróleo
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento

PPL - Problema de Programação Linear

UTD - Unidade de Tomada de Decisão

RENC - Retornos de Escala Não Constantes

REC - Retornos de Escala Constantes

Termisa – Terminais Salineiros do Rio Grande do Norte S.A

TPB - Tonelada de Porte Bruto

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo Aditivo com Retornos de Escala Variáveis.	63
TABELA 5.2 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo Aditivo com Retornos de Escala Constantes.	64
TABELA 5.3 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo Multiplicativo com Retornos de Escala Variáveis.	67
TABELA 5.4 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo Multiplicativo com Retornos de Escala Constantes.	68
TABELA 5.5 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo com Orientação para o Insumo com Retornos de Escala Variáveis.	70
TABELA 5.6 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo com Orientação para o Insumo com Retornos de Escala Constantes.	70
TABELA 5.7 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual, para o Modelo com Orientação para o Produto com Retornos de Escala Variáveis.	73
TABELA 5.8 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual, para o Modelo com Orientação para o Produto com Retornos de Escala Constantes.	73
TABELAS 7.1 – Estatísticas das Variáveis Incluídas no Índice de Eficiência para o Ano de 2004.	90
TABELAS 7.2 – Estatísticas das Variáveis Incluídas no Índice de Eficiência para o Ano de 2005.	90
TABELAS 7.3 – Escore de Eficiência dos 27 Portos Brasileiros para os Anos de 2004 e 2005.	90
TABELA 7.4. – Intervalo de Variação dos Pesos para as Variáveis Incluídas no Estudo.	92
TABELA 7.5 – Intervalo de Variação dos Pesos para as Variáveis Incluídas no Estudo, Após Imposição de Restrições e Respetivos Portos que Atribuíram esses Pesos.	93
ATABELA 7.6 – Escores de Eficiência para os 27 Portos Analisados Antes e Após Restrições nos Pesos.	94
TABELA 7.7 – Frequência com que os Portos Eficientes Aparecem como Referência para os Ineficientes para os Anos de 2004 e 2005	95

TABELA 7.8 – Contribuições dos Portos Eficientes para os Portos Ineficientes	96
TABELA 7.9 Folgas Residuais para os Insumos e Proporcional para o Produto “Movimentação Geral” para o Ano de 2004.	97
TABELA 7.10 – Folga Proporcional para o Produto “Movimentação Geral” para o Ano de 2005	102
TABELA 7.11 – Retornos de Escala para os Portos Analisados nos Anos de 2004 e 2005	103
TABELA C1 – Evolução da Movimentação Geral de Cargas nos Portos Organizados – Soma de Granéis Sólidos, Líquidos e Carga Geral. Variável Produto	118
TABELA C2 – Evolução da Movimentação de Contêineres nos Portos Organizados. Variável Produto. Unidade Utilizada: Peso (t).	119
TABELA C3 – Variável Insumo e Produto Ponderados	120

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Isoquantas Representando os Diferentes Níveis de Produção	35
FIGURA 3.2 - Produtividade, Eficiência Técnica e Economias de Escala	36
FIGURA 3.3 – Eficiência Alocativa	38
FIGURA 3.4 - Retornos Constantes de Escala	39
FIGURA 3.5 - Retornos Crescentes de Escala	39
FIGURA 3.6 – Retornos Decrescentes de Escala	40
FIGURA 5.1 - Fronteira de Produção com Orientação para o Insumo	50
FIGURA 5.2 - Interpretação Geométrica da Eficiência Pareto-Koopmans	52
FIGURA 5.3 - Comparação das Fronteiras Formada por AED e Regressão	53
FIGURA 5.4 – Áreas de Aplicação da AED	55
FIGURA 5.5 – Eficiência Técnica Total	56
FIGURA 5.6 – Eficiência de Escala	57
FIGURA 5.7 – Visualização de Retornos de Escala Através do Intercepto do Hiperplano Suportante e Produto Potencial Máximo	59
FIGURA 5.8 – Eficiência de Congestionamento	60
FIGURA 5.9 - Superfície Envoltória para o Modelo Aditivo com Retornos Variáveis – Representação das Folgas de Insumos e Produtos	65
FIGURA 5.10 - Superfície Envoltória para o Modelo Aditivo com Retornos Variáveis – Representação do Hiperplano Suportante	66
FIGURA 5.11 - Superfície Envoltória para o Modelo BCC Orientado para Insumo	72
FIGURA 5.12 - Superfície Envoltória para o Modelo CCR Orientado para Insumo	72
FIGURA 5.13 - Superfície Envoltória para o Modelo BCC Orientado para Produto	74
FIGURA 5.14 - Superfície Envoltória para o Modelo CCR Orientado para Produto	75
FIGURA 6.1 – Extensão de Cais x Movimentação Geral	82
FIGURA 6.2 – Profundidade do Canal x Movimentação Geral	82
FIGURA 6.3 – Área de Armazenagem x Movimentação Geral	83
FIGURA 6.4 – Número de Berços x Movimentação Geral	83
FIGURA 6.5 – Número de Acessos x Movimentação Geral	83
FIGURA 6.6 – Profundidade de Berços x Movimentação Geral	84
FIGURA 6.7 – Guindastes e Empilhadeiras x Movimentação Geral	84
FIGURA 9.1 – Mapa de Localização dos Principais Portos Brasileiros	113

1. INTRODUÇÃO

Importantes para o escoamento da produção brasileira, os portos brasileiros são considerados a principal porta de entrada e saída de produtos. Nos últimos anos, estes vêm sofrendo profundas alterações, envolvendo mudanças na regulamentação e, conseqüentemente, na infra-estrutura terrestre e aquaviária e superestrutura.

Essa modernização conduz à redução dos custos e ao aumento da quantidade de serviços portuários, ou seja, ao aumento das importações e principalmente das exportações, o que propicia maior competitividade, refletindo na economia brasileira.

Porém, para se atingir a qualidade necessária para os serviços portuários, é preciso se investir ainda mais em estruturas e equipamentos modernos, pois o que qualifica um porto é a intensidade de seu tráfego, a movimentação e o valor das mercadorias que por ele circulam.

De acordo com Nóbrega (2005) e Fialho (2006), o desenvolvimento da atividade portuária exige avaliações permanentes, de forma a verificar o cumprimento das metas estabelecidas e o desempenho pretendido para atender as demandas dos serviços portuários.

Para Tovar & Ferreira (2006) a eficiência dos portos brasileiros e o desenvolvimento econômico do país estão extremamente relacionados, pois o aumento da eficiência diminui os custos e melhora o nível dos serviços portuários, afetando positivamente a economia.

Após a privatização dos serviços operados nos portos brasileiros, o governo e a iniciativa privada vêm investindo para um melhor desempenho das atividades portuárias.

Com esse intuito é que se pretende, conhecendo as características portuárias e os produtos que transitam pelos portos brasileiros, medir seus desempenhos e identificar aqueles que se mostram mais eficientes na operação de seus serviços. Os portos eficientes servirão de referência para aqueles ineficientes, que poderão buscar melhorias nos seus desempenhos operacionais.

1.1 JUSTIFICATIVA

A competitividade dos portos é uma exigência do mundo globalizado e, no Brasil, passou a ter destaque com a promulgação da *Lei de Modernização dos Portos* (Lei 8.630/93). A partir de então, alguns portos passaram por profundas transformações, com significativas reduções de custos relacionados, por exemplo, com a movimentação de mercadorias e com o tempo médio de atracação.

Segundo Kappel (2004) e Gavazzi & Piva (2002), a Lei 8.630/93 de modernização portuária tem como objetivos promover os portos à condição de veículo logístico moderno voltado à facilitação e ao estímulo de fluxos comerciais crescentes e sustentáveis. Porém, para tornar os portos mais eficientes, variáveis de operação relevantes como custos e tempos de permanência das mercadorias, excesso de mão-de-obra em operações, mecanizações parciais, dragagens de recuperação, manutenção e aprofundamento do calado, acesso aos portos, infraestrutura, entre outras, precisam ser avaliadas.

Manteli (2005) destaca que as principais mudanças nos portos se deram a partir de 1997, quando a realização das licitações de áreas e terminais portuários estimulou a livre concorrência, intraporto e entre os portos. Com a disputa por clientes, os terminais foram induzidos a realizar elevados investimentos em equipamentos destinados à movimentação de mercadorias, adotarem métodos inovadores de gerenciamento empresarial e movimentação de carga e descarga, refletindo na qualidade dos serviços e na redução de preços. Esses investimentos levaram a um aumento expressivo na produtividade dos portos evidenciada pela redução nos preços dos serviços e nos tempos de espera para atracação e movimentação dos navios.

Apesar de avanços importantes com relação à prestação de serviços, equipamentos e, de forma mais ampla, à adaptação dos portos à *Lei de Modernização dos Portos*, reformas ainda se encontram em andamento e alguns portos enfrentam problemas de espaço e estrutura física para operação. Isto afeta sua competitividade pois o desempenho operacional é condição fundamental para o sucesso da atividade portuária.

Nóbrega (2004) e Fialho (2005) destacam que é importante que ocorram avaliações permanentes como forma de verificar o desenvolvimento das atividades portuárias. Essas avaliações podem contribuir na verificação do atendimento das demandas geradas e, de forma análoga, do atendimento ao comércio exterior.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo geral identificar graus de ineficiência técnica em portos brasileiros e apontar práticas que lhes permitam ampliar suas performances.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos:

- a) Investigar que variáveis são mais importantes para avaliação do desempenho operacional em portos brasileiros;
- b) Construir um índice capaz de medir a eficiência, incluindo insumos e produtos importantes no contexto portuário;
- c) Identificar os portos mais eficientes na otimização de seus recursos para a movimentação de sua carga;
- d) Verificar, para os portos ineficientes, as folgas (maior consumo em determinado(s) insumo(s) do que o necessário e/ou potencial de crescimento em movimentação de cargas existentes);
- e) Avaliar, de forma comparativa, portos brasileiros quanto à sua operação no que diz respeito à infra-estrutura, condições de acesso e movimentação de carga.

1.3 CONTRIBUIÇÃO DESTE ESTUDO

Este estudo utiliza a técnica conhecida como Análise Envoltória de Dados para medir a eficiência relativa de unidades portuárias. Esse método permite que se construam escores de eficiência a partir da combinação de insumos e produtos selecionados, de forma a avaliar o grau de eficiência na operação de portos selecionados. De posse desse índice de eficiência é possível identificar portos brasileiros que possuem melhores desempenhos operacionais. A condição de referência implica na adoção de práticas que, se incorporadas pelos decisores, permitirão a redução da ineficiência média. A metodologia também permite verificar folgas existentes em insumos e produtos para aqueles portos ineficientes. Finalmente o *ranking* de eficiência poderá contribuir para importantes melhorias gerenciais nos portos brasileiros e, conseqüentemente, para a expansão nas relações de comércio desenvolvidas a partir daqueles portos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 2 descreve o problema objeto da pesquisa detalhando a situação atual dos portos e sua importância no desenvolvimento do Brasil.

No Capítulo 3 são revisados os conceitos de produtividade e eficiência.

O Capítulo 4 apresenta técnicas paramétricas para medir eficiência, ilustrando o processo com base em funções de produção e de custo.

O Capítulo 5 revisa os conceitos de uma técnica não paramétrica, mais adequada que as anteriores para medir eficiência em portos. Esta técnica é conhecida como Análise Envoltória de Dados (DEA).

O Capítulo 6 justifica a escolha da técnica (DEA) para medir a eficiência, apresenta alguns modelos que podem ser utilizados para tanto e propõem um índice de eficiência para comparação de performance em portos.

O Capítulo 7 calcula e apresenta o escore de eficiência relativa para portos brasileiros, examina insumos e produtos em excesso ou déficit para os portos ineficientes e discute os exemplos de boas práticas.

O Capítulo 8 faz um breve comentário sobre a estrutura dos portos brasileiros avaliados como eficientes, explicando sua posição no ranking de ineficiência relativa.

O Capítulo 9 destaca as principais conclusões e apresenta algumas recomendações.

2. OS PORTOS BRASILEIROS

2.1 BREVE HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DOS PORTOS BRASILEIROS

A “*Abertura dos Portos às Nações Amigas*”, empreendida por D. João VI e decretada no dia 28 de janeiro de 1808, contribuiu de forma importante para o desenvolvimento dos portos brasileiros. Naquele momento, o Brasil passou a fazer parte do sistema econômico internacional com a exportação de madeira, ouro e outras riquezas naturais, bem como com a importação de produtos manufaturados, especiarias para nobreza e o tráfico de escravos da África (Kappel, (2004)).

Em 1846, surgiu a Companhia de Estabelecimento da Ponta da Areia, no porto de Niterói, de onde partiram os primeiros navios destinados à cabotagem (navegação costeira, feita em águas de um país (Leal, 1991)) e as primeiras linhas para América do Norte e Europa.

Em 1869, logo após a inauguração da ferrovia “São Paulo Railway”, próxima de Santos, o governo imperial elaborou a primeira lei de concessão à exploração de portos pela iniciativa privada, vindo facilitar a exportação do café. Com a proclamação da República, aquelas decisões se generalizaram no país e as administrações dos portos foram privatizadas.

Em 1934 os portos passaram a ser tratados como fatores de desenvolvimento econômico, voltando ao controle do Estado e em 1964, passaram a ser considerados área de segurança.

Em 1975 foi criada a Empresa de Portos do Brasil S/A – PORTOBRÁS. Tratava-se de “*holding*” (empresa que participa e controla um grupo de empresas, se utilizando de sua estrutura econômico-financeira para tal) que representava o interesse do governo em centralizar atividades portuárias. A Portobrás explorava os portos através de subsidiárias (as Companhias Docas) e assumia também a fiscalização das concessões estaduais dos terminais privativos, o que aumentou muito a burocracia, gerando ineficiências e retardos no desenvolvimento portuário.

No início de 1993, o sistema portuário brasileiro passou por uma crise institucional importante, quando do fechamento da Portobrás. Esse processo culminou com a aprovação da

Lei 8.630, de 25 de fevereiro de 1993, conhecida como *Lei de Modernização dos Portos*. Através dela e com o intuito de modernizar os portos, foram criados organismos institucionais para dar suporte àquele objetivo. Isso porque os portos apresentavam necessidade de mais e melhores equipamentos e instalações, como incentivo para ganhos na eficiência dos serviços e redução nos custos operacionais, além de novas formas de regulamentação das operações, tendo como foco o uso da mão-de-obra avulsa. Desde então, vários portos e terminais privados passaram a disputar as cargas.

De acordo com Santana (2003), diante da necessidade de modernização e, conseqüentemente, de ampliação, alguns portos enfrentaram restrições por estarem inseridos em contextos urbanos históricos. Alguns foram transferidos para fora do perímetro urbano, mas a maioria continuou operando em parte de suas antigas instalações, liberando, entretanto, espaços ociosos que não preenchiam aos novos requisitos operacionais. O mapa com a localização dos portos brasileiros encontra-se no ANEXO A.

2.2 INFRA-ESTRUTURA DE PORTOS E TERMINAIS PORTUÁRIOS

Porto organizado é a área compreendida pelas instalações portuárias como ancoradouros, docas, cais, armazéns, edificações, vias de circulação interna, acesso aquaviário, onde são realizadas as atividades de movimentação e armazenagem de mercadorias destinadas ou provenientes de transporte aquaviário.

A atividade portuária envolve vários setores da economia que vão além da área portuária, pois seu sistema de logística envolve também armazéns e entrepostos no interior do país e vias de acesso terrestres.

As condições das zonas de entrada e abrigo (calado, largura, orientação), as zonas de manobra e fundeio (calado, abrigo, bacia de evolução, fundeadouro), as obras marítimas interiores (dársenas - espaço n'água abrigado, onde se instala uma marina com seus equipamentos operacionais e com profundidade adequada à acostagem de embarcações, berços de atracação, molhes, atracadouros, canais, eclusas) e instalações específicas, dependem do tipo de navio a ser atendido, e este determina as características de guindastes, equipamentos de carga e descarga e a infra-estrutura terrestre (esplanadas - terrenos plano, largo e extenso, armazéns e infra-estrutura de estradas e ferrovias). Outros serviços que também devem estar disponíveis às embarcações são: rebocadores, praticagem, fornecimento

de combustíveis, água, energia elétrica, materiais de consumo a bordo e consertos (Rodriguez, 2001).

Os serviços portuários, segundo Sepúlveda (2000) *apud* Rodriguez (2001) são “... *atividades que contribuem à consecução dos fins outorgados às Autoridades Portuárias. Entre outros estão a praticagem; a amarração; reboques; a programação das zonas de fundeio; o acionamento de eclusas; a disposição de armazéns, espaços, prédios e instalações para manipular e armazenar mercadorias e veículos, e para o trânsito dos mesmos, assim como de passageiros; a disposição de meios mecânicos terrestres ou flutuantes para manipular mercadorias no porto; o fornecimento aos navios de água, energia elétrica e de gelo aos barcos pesqueiros; o recolhimento e tratamento dos resíduos sólidos e líquidos poluentes; os serviços contra incêndios, de vigilância, segurança, polícia e proteção civil portuários; os labores de carga, descarga, estiva, desestiva e transbordo e a sinalização marítima.*” Apesar de responsabilidade da Autoridade Portuária, esses serviços, geralmente, são privatizados.

A infra-estrutura portuária é formada pelos ativos fixos que realizam a movimentação de cargas entre os navios e os modais terrestres. A infra-estrutura terrestre permite a movimentação de bens entre os navios e os limites da área do porto, e é formada pelas vias ferroviárias e rodoviárias, dutos e correias transportadoras, pelos pátios dos terminais de embarque, desembarque de cargas e de passageiros e pátios das áreas de armazenagem. A infra-estrutura aquaviária é formada pelos canais de acesso aos portos, bacias de evolução, quebra-mares e berços de atracação. Os equipamentos para movimentação e armazenagem de mercadorias, tais como guindastes, esteiras e armazéns, são a superestrutura portuária. A maior parte da superestrutura portuária no Brasil é operada por empresas privadas. (Lacerda, 2005)

Schoeler (2000) também define infra-estrutura para o transporte marítimo como área formada por portos e terminais, estruturados com equipamentos de carga e descarga de mercadorias, contendo armazéns para estocagem e retroporto (estrutura necessária para a saída ou chegada de mercadorias na área portuária envolvendo as vias de acesso rodoviárias, aquaviárias ou aéreas).

A especialização dos navios (graneleiros, roll-on-roll-off - embarcações especializadas, dotadas de rampas laterais ou de popa, que se abrem no casco para permitirem a entrada do material rodante, full-containers ou mistos) na procura de melhores rendimentos, originou os terminais portuários especializados em termos de carga e descarga de graneis líquidos, graneis sólidos, carga geral, congelados, resfriados, veículos e contêineres. Por essa razão, em torno

do cais foram construídas grandes áreas para armazenagem de contêineres e movimentação de caminhões e vagões para operações de transbordo multimodal (Rodriguez, 2001).

2.3 REGULAMENTAÇÃO, LEIS PORTUÁRIAS E ADMINISTRAÇÃO

Após a Lei 8.630/93, ocorreram profundas mudanças no ambiente portuário nacional. Foram licitados 27 grandes terminais de uso público, firmaram-se mais de 80 contratos de adesão para a operação de terminais de uso privativo e misto e constituíram-se 28 Conselhos de Autoridade Portuária (CAPs) e 25 Órgãos Gestores de Mão-de-Obra do Trabalho Portuário (OGMOs). Praticamente todos os serviços e estruturas até então operados pelo governo (federal, estadual ou municipal) foram privatizados por meio de contratos ou arrendamentos, ficando o governo apenas com a administração e com o papel de Autoridade Portuária.

Atualmente existem 29 CAPs constituídos legalmente, que têm como competência aprovar o plano de desenvolvimento e zoneamento do porto, estabelecer o regulamento de exploração do porto e homologar o seu horário de funcionamento e os valores das tarifas portuárias, além de indicar dois representantes para o conselho de administração do porto. Possuem também funções não deliberativas como manifestar-se sobre os programas de obras, aquisições e melhoria da infra-estrutura portuária e dar opiniões sobre a proposta de orçamento do porto. Em cada CAP encontram-se representadas todas as instâncias geopolíticas dos governos (municipais, estaduais e federais), bem como os trabalhadores e os operadores portuários e instituições não-governamentais, a exemplo da Associação de Comércio Exterior e as associações comerciais locais. A união pode explorar os portos ou transferir o direito de exploração do porto para o estado e município em que ele se encontra (Lacerda, 2005).

O atual modelo portuário brasileiro, conhecido como *landlord*, adotado em 1993 com a instituição da *Lei dos Portos*, define que as operações portuárias e a administração dos terminais são responsabilidades da iniciativa privada, enquanto a administração da infra-estrutura de uso comum e os investimentos nos acessos terrestres e aquaviários aos portos devem ser providos pelo setor público. As administrações portuárias, responsáveis pela infra-estrutura dos portos, são em geral entidades estatais – as companhias docas federais ou estaduais ou autarquias dos governos locais – e acumulam as funções de regulação, fiscalização, gestão de patrimônio e administração portuária (Lacerda, 2005).

De acordo com Kappel (2004), o atual sistema portuário brasileiro é composto por nove Companhias Docas (oito públicas e uma privada), por concessões estaduais e por portos privados distribuídos ao longo da costa brasileira, reunindo 54 portos brasileiros. As Companhias Docas são empresas de economia mista sob controle da União e vinculadas ao Ministério dos Transportes. As Companhias Docas Federais são: Companhia Docas de São Paulo (Codesp), Companhia Docas do Espírito Santo (Codesa), Companhia Docas da Bahia (Codeba), Companhia Docas do Rio de Janeiro (Coderj), Companhia Docas do Ceará (CDC), Companhia Docas do Pará (CDP), Companhia Docas do Maranhão (Codomar) e Companhia Docas do Rio Grande do Norte (Codern). A Companhia Docas de Imbituba (CDI) detém a concessão para exploração comercial do porto até o ano de 2012. No ANEXO B, é apresentado o atual sistema portuário brasileiro.

Alguns dos principais portos que foram delegados para estados e municípios, após 1996, são:

- a) São Francisco do Sul para o estado de Santa Catarina;
- b) São Sebastião para o estado de São Paulo;
- c) Porto Alegre e Rio Grande para o estado do Rio Grande do Sul;
- d) Itajaí para o município de Itajaí (SC);
- e) Paranaguá para o estado do Paraná;
- f) Cabedelo para o estado da Paraíba;
- g) Itaqui para o estado do Maranhão;
- h) Manaus para o estado do Amazonas;
- i) Porto Velho, para o estado de Rondônia.

Outros importantes portos foram mantidos sob o controle da União, incluindo os grandes portos da região Sudeste (Santos, Sepetiba, Rio de Janeiro e Vitória), da Bahia (Salvador, Aratu e Ilhéus) e dos estados do Pará e Fortaleza. A única concessão da administração portuária para uma entidade privada no Brasil foi da Companhia Docas de Imbituba, em Santa Catarina, que foi estabelecida antes da aprovação da *Lei dos Portos*.

De acordo com Rodriguez (2001), um estudo da Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT) informa que os resultados mais significativos da implementação da *Lei de Modernização dos Portos* foram:

- a) Implantação nos portos dos Conselhos de Autoridade Portuária (CAPs);
- b) Participação de empresas privadas nas operações portuárias realizadas nos cais de uso público, mediante a sua qualificação como operadores portuários;

- c) Possibilidade de terminais privativos movimentarem cargas de terceiros através de contratos de adesão;
- d) Isenção de pagamento do Adicional da Tarifa Portuária (ATP) pelos terminais privativos localizados fora da área do porto organizado;
- e) Possibilidade da União, por meio de Licitação Pública, descentralizar o setor portuário mediante concessão à pessoa jurídica para a exploração de porto público organizado e mediante contratos de arrendamento entre o concessionário e o interessado privado para explorar áreas e instalações portuárias;
- f) Possibilidade de a União concentrar os investimentos públicos em obras de infraestrutura, deixando sob a responsabilidade da iniciativa privada os investimentos relativos à superestrutura (aparelhamento portuário, recuperação e conservação das instalações);
- g) Diversificação das tarifas e concorrência intra e interportos.

A partir da implantação do modelo definido pelo GEIPOT as operações portuárias foram transferidas para o setor privado e o solo e os elementos fixos do porto se mantiveram sob responsabilidade do poder público (investindo ou não o arrendatário nas instalações fixas), com exceção dos terminais de uso privativo. Este modelo parte do conceito de “*landlord port*” (que delega à iniciativa privada a totalidade das operações portuárias e os investimentos na superestrutura, equipamentos, etc.) implantado em diversos países do mundo.

2.4 IMPORTÂNCIA DOS PORTOS NO CONTEXTO URBANO

Llaquet (2002) lembra que o porto é um gerador de riqueza e de emprego com importantes efeitos positivos na atividade socioeconômica do território regional e, mais diretamente, na cidade portuária. Assim, deve ser gerido dentro de um contexto urbano-regional. Isso tem levado países e regiões costeiras a descentralizarem sua administração portuária através da introdução ou ampliação da representatividade de governos estaduais e municipais nos conselhos de autoridade portuária. Apesar disso, os planos portuários ainda não contemplam o contexto urbano onde estão inseridos. Por outro lado, os planos urbanos não percebem o papel estratégico dos portos e, por conseqüência, não oferecem sistemas de infra-estrutura adequados à dimensão econômica do desenvolvimento urbano-regional.

Santana (2003) observa que a nova dinâmica portuária mobiliza grandes superfícies para a construção de modernos terminais e centros de distribuição, acessos terrestres eficientes e conexões entre infra-estruturas. Tais investimentos provocam uma grande pressão sobre a estrutura urbana, surgindo a necessidade de planejamentos urbano-regional bem elaborados, que extrapolam o território delimitado pela área do porto organizado.

A atividade portuária gera efeitos diretos e indiretos na economia urbana, criando facilidades e atraindo empresas e negócios, o que favorece a competitividade entre cidades e regiões.

Kappel (2004) comenta que os portos, importantes para o escoamento da produção brasileira, além de sofrerem pela falta de investimentos continuados, são um modelo que se esgotou diante do crescimento das cidades. Os mais importantes portos brasileiros foram implantados para atender demandas menores, uma vez que estão localizados em áreas urbanas. Assim precisam de melhorias nos acessos rodoviários e ferroviários e de contínuos investimentos em dragagem (aumento da profundidade dos canais de acesso ou bacias de evolução, proporcionando maior calado às embarcações) e derrocagem (processo de retirada de rochas) para a melhoria do acesso marítimo.

Monié & Vidal (2006) destacam que a eficiência e a dinâmica de um porto também dependem do seu entorno, devido às atividades produtivas que fazem uso dos seus serviços. Além disso, com a globalização, novas demandas foram colocadas sobre os portos, o que resultou em mudanças no sistema portuário mundial e nas cidades com portos.

2.6 SITUAÇÃO ATUAL DOS PORTOS BRASILEIROS

De acordo com Kappel (2004), através da *Agenda Portos* (grupo interministerial da Casa Civil da Presidência da República, cuja coordenação geral é de sua responsabilidade, sendo composto por representantes dos Ministérios dos Transportes, Fazenda, Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Agricultura e Planejamento), foram analisadas as situações das operações portuárias em portos brasileiros. Foram detectados problemas operacionais nos portos de Rio Grande (RS), Paranaguá (PR), Vitória (ES), Rio de Janeiro (RJ), Santos (SP), Itajaí (SC), São Francisco do Sul (SC), Sepetiba (RJ), Salvador (B), Aratu (BA) e Itaqui (MA), que juntos respondem por 89% das exportações brasileiras. Os principais problemas encontrados foram: falta de dragagem, problemas de vias de acesso,

congestionamentos de trens e caminhões, além de aspectos gerenciais. Essa situação confirma os comentários de Lacerda (2005), que afirma que alguns dos principais portos do país enfrentam restrições à operação de navios grandes devido às dificuldades das administrações portuárias estatais em realizar as dragagens dos canais de acessos aos portos. Esse autor também afirma que são necessários investimentos para superar os gargalos nos acessos terrestres aos portos e permitir o aumento da participação do modal ferroviário na logística portuária.

Em alguns portos, as medidas a serem implementadas para a resolução desses problemas dizem respeito a melhorias na operacionalização. Entre as soluções apontadas pela Agenda Portos estão: o alargamento ou duplicação das vias de acesso, reordenação do trânsito nas localidades próximas às zonas portuárias, novas rotas de ligação direta entre as rodovias e os terminais, pavimentação de ruas e construção de estacionamentos para se evitar filas na entrada dos portos. Ainda foram apontadas medidas administrativas como a integração dos sistemas de informações e a criação de centros administrativos únicos (Kappel, 2004).

Percebem-se mudanças importantes na operação dos portos: os navios cresceram de porte e a unitização (agregação de diversos pacotes ou embalagens menores numa carga unitária maior) ou consolidação das cargas soltas passou a ser elemento crítico para dar velocidade ao embarque/desembarque das cargas; os trabalhos portuários estão mais mecanizados e se percebe uma evolução em tecnologia, com uso de equipamentos mais potentes e velozes; foram adquiridos novos equipamentos como transtâineres (equipamento de pórtico destinado à movimentação horizontal de contêineres (Leal, 1991)) e portâineres (guindaste de cais com pórtico destinado à movimentação de contêineres (Leal, 1991)) e novas embarcações com equipamentos e tecnologia de maior capacidade e com sistema roll-on/roll-off.

Para Monié & Vidal (2006), no conjunto das transformações recentes, destacam-se três tendências descritas a seguir:

- A primeira é a modernização do porto para a era industrial com investimentos nas infra-estruturas e equipamentos portuários e mudança institucional, quebrando os monopólios. Essa tendência, comum no Mercosul e no Brasil, segue as orientações básicas da reforma portuária, que mede a qualidade do porto a partir de variáveis de desempenho operacional.

- A segunda alternativa denota a construção de megaportos voltados para a concentração e a redistribuição dos fluxos do comércio internacional para portos marítimos ou hinterlândias terrestres. Os portos do tipo *hubs* funcionam como instrumentos a serviço de multinacionais marítimas, que formam redes de circulação globais onde meganavios circulam

em megarrotas marítimas e servem somente a megaportos estrategicamente localizados. No Brasil, a maioria dos recursos destinados ao setor durante os anos 90 foi aplicada na ampliação e na reestruturação dos portos de Pecém (CE), Suape (PB) e Sepetiba (RJ), idealizados como futuras portas de entrada sul-americanas dos fluxos globais. Esses projetos apresentam limitações como: altos investimentos, tecnologias de manuseio das cargas que dificultam a criação de empregos e dificuldade de interações com o local de implantação. Essa dificuldade surge porque o principal objetivo da plataforma portuária está na sua capacidade de rapidamente redistribuir os fluxos que para ela convergem, ou seja, o *hub* tem como característica não contribuir para o desenvolvimento da região onde foi implantado.

- A terceira tendência reside na transformação do porto em instrumento a serviço do desenvolvimento local e/ou regional através da aproximação do porto e da cidade. Essa combinação oferece oportunidades de desenvolvimento às cidades-portos unindo esforços entre os recursos técnicos oferecidos pelo porto, os serviços de transporte e os recursos terciários oferecidos pela população urbana.

Tovar & Ferreira (2006) concluem destacando que a eficiência dos portos e o desenvolvimento econômico do país estão intrinsecamente relacionados. A infra-estrutura portuária brasileira, como resultado do modelo construído ao longo das últimas décadas, apresenta limitações e deficiências que comprometem sua eficiência e, em última análise, o próprio desenvolvimento econômico do país.

2.6 OS PORTOS BRASILEIROS FRENTE AO MERCADO INTERNACIONAL

Os atuais desafios nos portos estão reservados ao aumento do Comércio Exterior, como um dos principais instrumentos para viabilizar o desenvolvimento econômico e social do País (Kappel, 2004).

Lacerda (2005) comenta que os investimentos portuários são cada vez mais importantes, à medida que aumentam a integração internacional da economia brasileira. Entre 1999 e 2004, o comércio exterior brasileiro por via marítima aumentou em 78%, e as exportações cresceram 114%, passando de US\$ 36 bilhões para US\$ 78 bilhões. Na ausência de investimentos em infra-estrutura, as atuais deficiências de alguns dos principais portos do País tendem a se agravar e onerar exportadores e importadores.

De acordo com Dubke et al. (2004), a utilização de plataformas logísticas é uma das principais tendências da logística mundial. A Europlatforms–European Association of Freight Village (1992) *apud* Dubke et al. (2004) descreve uma plataforma logística como uma zona delimitada no interior da qual se exercem, por diferentes operadores, todas as atividades relativas ao transporte, à logística e à distribuição de mercadorias, tanto para o trânsito nacional como para o internacional. Estes operadores podem ser proprietários ou arrendatários dos prédios, equipamentos e instalações (armazéns, áreas de estocagem, oficinas). É administrada por uma única entidade (pública ou privada) e deve estar localizada próxima de serviços públicos para que se realizem as operações. De forma mais sucinta, uma plataforma logística é o local de reunião de tudo o que diz respeito à eficiência logística. Essa plataforma inclui zonas logísticas de empreendimentos e infra-estruturas de transporte, e é importante por sua dinamização na economia, melhoria na competitividade entre as empresas, criação de empregos e viabilização das atividades logísticas.

Manteli (2005) observa que, com relação aos avanços dos portos, a infra-estrutura de transportes no Brasil é deficiente e onerosa. Segundo dados disponíveis da Associação de Comércio Exterior do Brasil (AEB):

- a) *“Os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, (OCDE) despendem, em média, 11% do Produto Interno Bruto (PIB) com os custos de logística, contra cerca de 20% no Brasil”;*
- b) *“Os custos de logística do setor industrial latino-americano correspondem em torno de 35% dos custos operacionais, enquanto nos países da OCDE são cerca de 20%”;*
- c) *“Os estoques de produtos acabados e de matérias-primas se situam, respectivamente, em torno de 200% e 300% acima dos níveis dos Estados Unidos.”*

Monié & Vidal (2006) ainda ressaltam que nos últimos anos as cidades portuárias de parte da Europa e alguns portos em via de reestruturação como Gênova, Barcelona ou Valência, dotaram-se de parques logísticos que objetivam agregar valor aos fluxos das mercadorias destinadas aos mercados de consumo regionais. No Brasil, somente a cidade de Itajaí (Santa Catarina) parece ter optado por uma estratégia semelhante usando as oportunidades oferecidas pela municipalização do porto e a vitalidade da economia regional.

Esse autor destaca ainda outras mudanças na estrutura mundial dos portos, como novos métodos de movimentação de cargas, equipamentos com sofisticação tecnológica, mão-de-obra especializada, além de avanços na engenharia naval como a construção de novos tipos

de navios mercantes (por exemplo, os Ro-Ro para o transporte de veículos e os navios projetados para a maximização do transporte de contêineres).

Nesse capítulo foram caracterizados os portos brasileiros quanto à sua infra-estrutura, regulamentação, inserção no contexto urbano e sua posição no mercado internacional, destacando suas evoluções e deficiências.

No capítulo 3 serão apresentados conceitos de produtividade e eficiência como forma de, posteriormente, introduzir métodos de avaliação de eficiência técnica.

3. CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA

3.1 PRODUTIVIDADE

De acordo com Pearson (1993), no processo de produção, as empresas transformam fatores de produção (insumos) em produtos.

No caso dos portos pode-se considerar que, entre os insumos mais importantes, destacam-se os berços de atracação, os equipamentos, os armazéns, áreas de estoque para contêineres, profundidade do canal de acesso e dos berços, entre outros, como recursos (insumos) disponíveis que permitem a atracação de embarcações (nacionais e internacionais). Isso possibilita a movimentação de cargas como granéis líquidos e/ou sólidos, cargas em geral e contêineres, por importação e/ou exportação, considerados neste estudo como produtos.

Coelli et al. (1997), define a produtividade de uma empresa como a relação entre a(s) quantidade(s) de insumo(s) necessária(s) para produzir(em) determinada(s) quantidade(s) de produto(s). Ou seja:

$$\textit{Produtividade} = \textit{produto(s)} / \textit{insumo(s)} \quad (3.1)$$

Moreira (1991) *apud* Lopes (1998) comenta que a produtividade pode ser entendida como uma espécie de rendimento em um processo de conversão. Quando o processo de produção envolve um único insumo e um único produto, basta determinar a relação entre suas quantidades. No caso de mais de um insumo e/ou produto, esses devem ser agregados em um único índice que pode ser chamado de Fator de Produtividade. Quando são incluídos todos os fatores de produção (insumos) é possível medir um Fator de Produtividade Total. Quando não são incluídos nesse coeficiente todos os insumos, têm-se Fatores de Produtividade Parciais. Medidas parciais da produtividade não devem ser usadas isoladamente, pois podem fornecer resultados distorcidos da produtividade total.

Uma vantagem do fator de produtividade total em relação ao fator de produtividade parcial pode ser devido ao fato de que o primeiro considera todos os insumos simultaneamente. Em outras palavras, todas as interações entre os vários insumos são

consideradas no cálculo da produtividade. Em vista disso, a produtividade total permite avaliar a sensibilidade na produtividade quando se altera a quantidade de um único insumo, mantendo-se constantes as quantidades e custos dos demais (Benjamin & Obeng (1990)).

Para Lovell (1993) *apud* Reinaldo (2002), a produtividade pode variar devido a diferenças em termos da tecnologia de produção, da eficiência do processo de produção, e do ambiente em que ocorre a produção.

Badin (1997) ressalta que quando utilizamos um escalar para representar a produtividade de uma empresa, estamos mostrando sua eficiência relativa, que é válido somente no conjunto de empresas que está sendo avaliado. Por este motivo, a entrada ou retirada de uma ou mais unidades do conjunto pode alterar os valores de produtividade para todas as unidades observadas. Assim, o que está sendo calculado é a eficiência relativa de cada unidade pertencente à amostra.

3.2 EFICIÊNCIA

Farrel, em 1957, utilizou algumas técnicas de programação linear para a análise de eficiência econômica. Adotou uma isoquanta para estabelecer uma combinação de insumos e tecnologia que gerassem uma fronteira máxima de produção. Inicialmente, nenhuma forma funcional foi estabelecida. A eficiência econômica foi decomposta em: eficiência técnica, que reflete a habilidade de uma empresa em obter o máximo produto, dado um conjunto de insumos; e a eficiência alocativa, que mostra a habilidade de uma empresa de usar seus insumos em proporções ótimas, dado seus respectivos preços e tecnologia de produção. Estas duas medidas foram então combinadas para fornecer uma medida da eficiência econômica total.

Isoquantas são curvas que representam todas as combinações possíveis de insumos capazes de produzir determinada quantidade de produto, dada as restrições tecnológicas existentes para essas combinações.

Na Figura 3.1 são apresentadas isoquantas, que representam diferentes níveis de produção.

Os eixos da Figura 3.1 medem as quantidades utilizadas de insumos. As curvas mostram as diferentes combinações de insumos que podem produzir 50, 100 e 150 unidades

do produto. A reta OBDE descreve todas as combinações de insumos na qual a relação insumo1/insumo2 é constante.

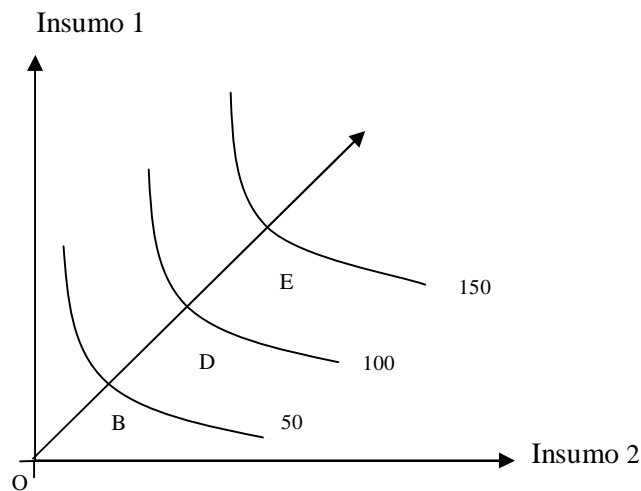


Figura 3.1 – Isoquantas Representando os diferentes Níveis de Produção

FONTE – Mansfield (1980)

A análise de eficiência permite a comparação entre unidades produtivas a partir da distância entre a produção atual de cada unidade e seu potencial, identificando, sob o ponto de vista dos insumos e produtos considerados, onde os investimentos terão melhor resultado.

3.2.1 EFICIÊNCIA TÉCNICA

A análise da medida de eficiência na produção originou-se com o trabalho de Koopmans e Debreu (1951). Alguns autores definiram que uma unidade é tecnicamente eficiente quando:

- a) Nenhum dos produtos pode ser aumentado sem que algum outro produto seja reduzido ou algum insumo necessite ser aumentado e/ou;
- b) Nenhum dos insumos pode ser reduzido sem que algum outro insumo seja aumentado ou algum produto seja reduzido.

A eficiência de uma unidade produtiva é medida através da comparação entre os valores observados e os valores possíveis de seus produtos (*outputs*) e/ou insumos (*inputs*). Esta 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 (Gomes et al. 2005). Qualquer que seja a abordagem, a eficiência técnica é sempre ≤ 1 . Uma medida de eficiência igual a 1 significa que a empresa é tecnicamente eficiente.

Segundo Mello et al (2004), uma medida de eficiência pode ser considerada como um índice de aproveitamento de recursos, e, sendo assim, pode ser usada para a alocação e realocação desses recursos.

Lins & Meza (2000) *apud* Reinaldo (2002) destacam que a avaliação da eficiência depende principalmente da escolha de um conjunto de indicadores de desempenho. Reinaldo (2002) resume dizendo que os indicadores de desempenho são elementos que servem para medir os níveis de eficiência e eficácia de uma organização, levando em conta padrões pré-estabelecidos, permitindo o acompanhamento do desempenho de suas atividades.

Segundo Coelli et al. (1997), os termos “produtividade” e “eficiência” têm sido muito usados por uma série de pesquisadores. A Figura 3.2 ilustra a distinção entre esses termos.

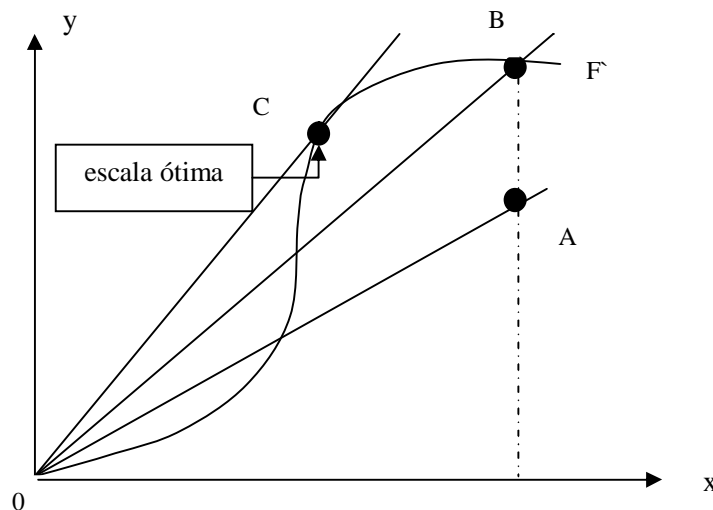


Figura 3.2 - Produtividade, Eficiência Técnica e Economias de Escala.

FONTE: Coelli et al (1997)

Considere um processo de produção em que um único insumo (x) é usado para produzir um produto (y). A linha OF' na Figura 3.2, representa uma fronteira da produção para a relação entre esse insumo e aquele produto. A fronteira de produção representa o produto máximo possível para cada nível de insumo, dependendo da tecnologia utilizada. Se a empresa está sobre a fronteira (empresas C e B), ela é tecnicamente eficiente; caso esteja abaixo da fronteira (empresa A), ela é tecnicamente ineficiente, isto é, esta empresa poderia

produzir o referido produto utilizando menor quantidade de insumo ou, de acordo com a quantidade de insumo utilizada, poderia produzir uma maior quantidade de produto.

A inclinação da reta que sai da origem é dada por y/x e fornece uma medida da produtividade. Se a empresa operando no ponto A se movesse para o ponto B, a inclinação da reta aumentaria, indicando uma maior produtividade. Esse aumento de produtividade faria com que essa empresa atingisse a fronteira de produção (fronteira de eficiência), tornando-a tecnicamente eficiente. Entretanto se a empresa se deslocar para o ponto C, embora reduza a produção, reduzirá de forma mais intensa o consumo e atingirá a máxima produtividade, indicando que o ponto C é o de escala de economia ótima. Pode-se concluir que uma empresa apesar de ser tecnicamente eficiente pode ainda melhorar sua produtividade explorando economias de escala, que é o caso da empresa operando no ponto B, ao se deslocar para o ponto C.

3.2.2 EFICIÊNCIA ALOCATIVA

Considerando que o objetivo de uma empresa é a obtenção da maior rentabilidade possível, um empresário não pode considerar apenas a eficiência técnica. Este também deve objetivar ser alocativamente eficiente considerando as possíveis combinações de fatores existentes. Atingindo as eficiências técnica e alocativa essa empresa atingirá a eficiência econômica (Pereira, 1995).

Segundo Pearson (1993), eficiência alocativa é uma medida que avalia se uma empresa está empregando uma combinação de insumos que minimize seus custos para um dado nível de produto. Assim, a eficiência alocativa pode ser definida como a medida de sucesso de uma empresa na escolha de proporções ótimas de insumos, ou seja, na escolha da combinação de insumos que maximize seu lucro na produção de determinado bem ou serviço considerando os preços de mercado.

A Figura 3.3 apresenta todas as combinações possíveis dos insumos 1 e 2 capazes de produzir determinada quantidade de produto. As unidades que possuem combinações de insumos que estão sobre a fronteira FF' são tecnicamente eficientes. Aquelas que se encontram à direita da fronteira FF' são tecnicamente ineficientes. A linha tracejada indica todas as combinações possíveis de insumos que apresentam o mesmo custo, denominada

Curva de isocusto. A empresa A utiliza as quantidades dos insumos 1 e 2 para produzir uma dada quantidade de produto. Essa empresa é tecnicamente eficiente, porque está sobre a fronteira FF', mas é alocativamente ineficiente se comparada com a empresa B, que está produzindo a mesma quantidade de produto com um custo mais baixo. Uma medida de eficiência alocativa é fornecida pela relação entre as distâncias OC e OA. Embora as empresas A e B sejam tecnicamente eficientes, a empresa B está produzindo a mesma quantidade de produto que a empresa A com custos inferiores (Pearson, 1993).

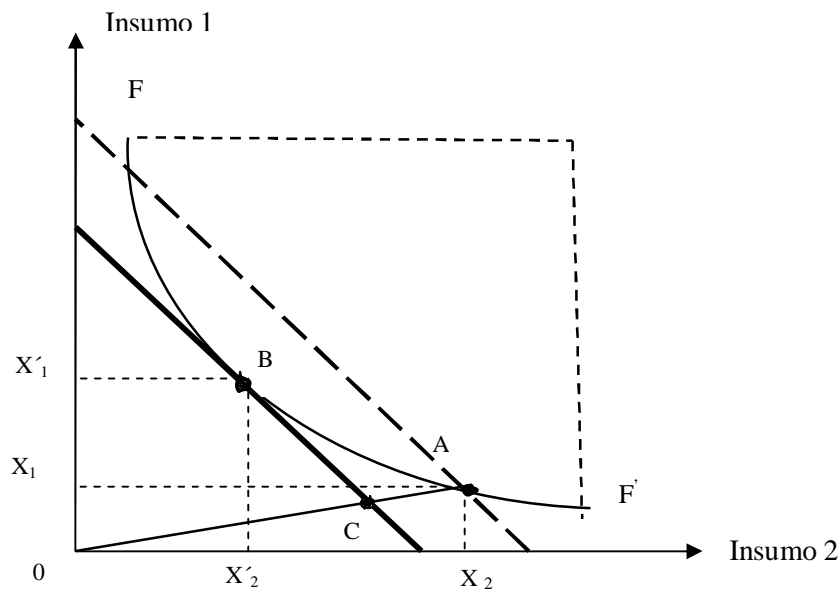


Figura 3.3 - Eficiência Alocativa

FONTE: Pearson (1993)

Pereira (1995) resumidamente diz que a eficiência alocativa é alcançada quando se tem uma dada combinação de insumos em uma isoquanta qualquer que proporcione um custo mínimo.

3.3 RETORNOS DE ESCALA UTILIZANDO ISOQUANTAS

Quando uma empresa trabalha com todos os seus insumos variáveis e esses são aumentados na mesma proporção, três situações podem ocorrer com relação ao produto, (Mansfield, 1980):

- a) Retornos Constantes de Escala - a produção aumenta exatamente na mesma proporção do aumento dos insumos. As isoquantas são equidistantes uma das outras, como pode ser visualizado na Figura 3.4.

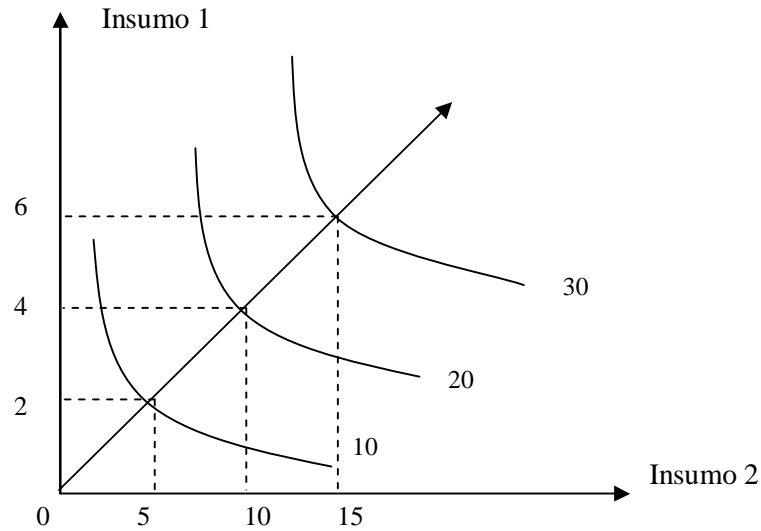


Figura 3.4: Retornos Constantes de Escala

FONTE: Mansfield (1980)

- b) Retornos Crescentes de Escala - a produção aumenta mais que proporcionalmente ao aumento das quantidades de insumos. Nesse caso as isoquantas estão cada vez mais próximas, conforme pode ser observado na Figura 3.5.

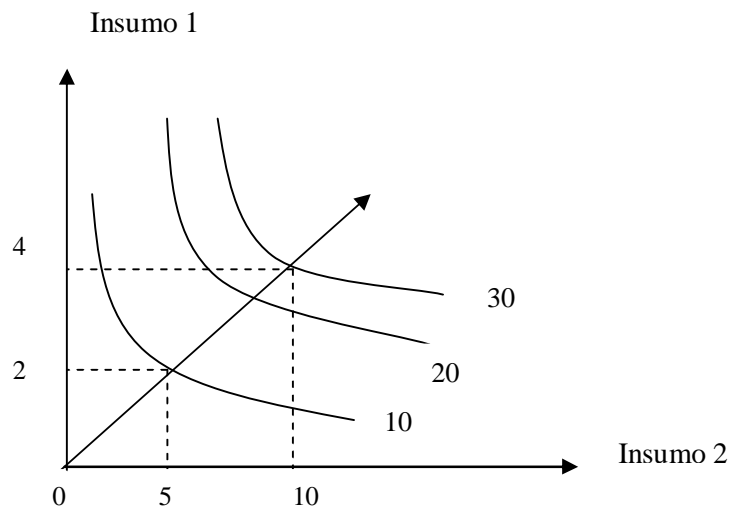


Figura 3.5.: Retornos Crescentes de Escala

FONTE: Mansfield (1980)

- c) Retornos Decrescentes de Escala – ocorre quando o aumento da produção é proporcionalmente menor do que o aumento nas quantidades de insumos. As isoquantas distanciam-se uma das outras, conforme Figura 3.6.

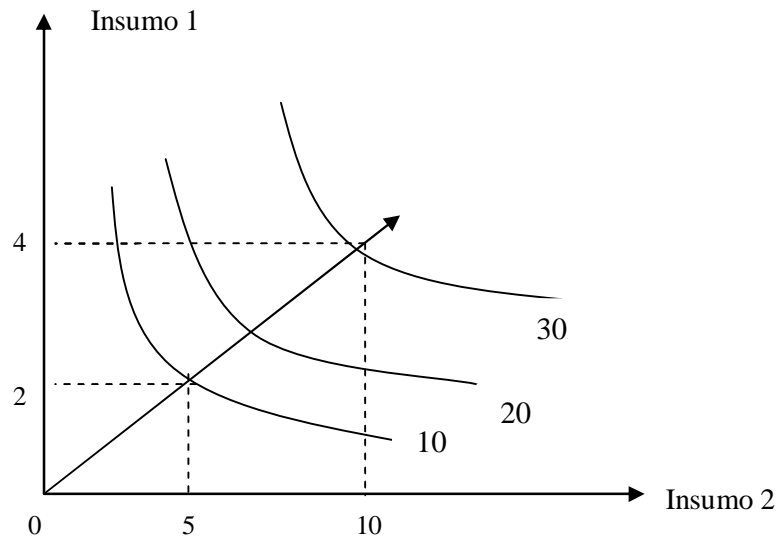


Figura 3.6: Retornos Decrescentes de Escala

FONTE: Mansfield (1980)

Resumindo, a eficiência de uma unidade produtiva é medida através da comparação entre os valores observados e os valores possíveis de seus produtos e insumos. O conceito de eficiência é dividido em eficiência técnica que indica a forma de, por exemplo, maximizar o(s) produto(s) dadas as quantidades de insumos observadas, considerando a tecnologia de produção utilizada; e eficiência alocativa, que indica a capacidade da empresa em combinar de forma ótima um grupo de insumos, levando em conta restrições de preço.

No próximo capítulo será apresentada uma técnica paramétrica para medir eficiência.

4. TÉCNICAS PARAMÉTRICAS PARA MEDIR EFICIÊNCIA

Segundo Barros et al. (2004), a abordagem paramétrica para medir eficiência se desenvolveu a partir dos trabalhos de Afriat (1972); Aigner e Chu (1972); Aigner, Lovell & Schmidt (1977) e Meeusen & Van Den Broecker (1977). Esses autores foram os primeiros a supor uma forma funcional para explicar os níveis de eficiência de empresas e dividiram a abordagem paramétrica em dois grupos:

- a) Modelos com fronteiras determinísticas e;
- b) Modelos com fronteiras estocásticas.

Segundo Pinheiro (1992) *apud* Pereira (1995), as técnicas paramétricas estimam uma fronteira a partir da máxima quantidade de produto possível, dada determinada combinação de insumos. Dessa forma, a fronteira é estimada estatisticamente, baseada na análise de regressão. Este conjunto de métodos é conhecido como métodos paramétricos, pois necessitam especificar formas funcionais (parâmetros) para representar as funções de produção a serem estimadas. Os resultados obtidos pelos métodos paramétricos são mais agregados, pois a fronteira passa pelo meio do conjunto de dados, trabalhando com valores médios e não as observações reais. Requerem especificações explícitas das suposições acerca da distribuição do erro; com isso, podem-se confundir esses erros com ineficiência.

Dada sua dificuldade em acomodar múltiplos produtos, a produção geralmente é expressa por um índice (valor da produção, por exemplo), enfrentando problemas de ponderação, pois ao criar um índice, estão sendo definidos os pesos para cada produto que o compõe. Esses pesos são calculados a partir de valores médios. Portanto ao utilizar um índice como medida de produto, importantes informações no espaço dos produtos são perdidas com o uso destes métodos (Lovell (1993) *apud* Reinaldo (2002)).

4.1 FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

De acordo com Greene et al. (1993), experiências com funções de produção datam do ano de 1928, citando o trabalho de Cobb e Douglas. Até 1950, as funções de produção eram amplamente utilizadas, como forma de estudar a distribuição de renda entre capital e trabalho.

Coelli et al. (1997) e Pindyck & Rubinfeld (2007) conceituam uma função de produção como o produto máximo atingível a partir de um dado vetor de insumos utilizando determinada tecnologia. Assim, uma função de produção descreve o relacionamento técnico entre produtos e insumos em um processo de produção.

Pindyck & Rubinfeld (2007) acrescentam que como a função de produção permite que ocorram combinações em proporções variadas dos insumos, o produto pode ser gerado de diferentes formas. As funções de produções mostram o que é tecnicamente viável quando se opera eficientemente e isto ocorre quando se utiliza cada combinação de insumos da maneira mais eficaz possível.

Souza (2003) acrescenta que para a estimação dessa função não são necessários preços e/ou custos dos respectivos insumos.

Direcionando esses conceitos aos portos, uma função de produção poderia ser a quantidade de carga movimentada em relação às quantidades de insumos disponíveis como equipamentos, profundidade do canal, áreas de armazenagem, etc. Assim, o nível de produção é influenciado pelo desenvolvimento tecnológico em que se encontra esse porto.

4.1.2 MODELOS DE FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

Dependendo da hipótese sobre as causas das diferenças de desempenho das unidades produtivas, a fronteira a ser estimada pode ser classificada como determinística ou estocástica.

4.1.2.1 MODELOS DE FRONTEIRA DE PRODUÇÃO DETERMINÍSTICOS

Segundo Barros et al. (2004), os modelos de fronteiras determinísticos consideram que toda ineficiência é devido aos fenômenos que estão sob controle das unidades avaliadas. Assim o modelo de fronteiras é chamado determinístico quando as diferenças de desempenho entre as unidades em relação à fronteira são devido à ineficiência técnica. Esse desempenho é definido através da relação entre as quantidades de insumos e produtos.

Segundo Kumbhakar & Lovell (2000), um modelo de fronteira de produção para dados obtidos em determinado período de tempo, sobre as quantidades de “m” insumos usados para produzir um único produto (para cada unidade de produção) é dado por:

$$y_j = f(x_j, \beta) \cdot ET_j \quad (4.1)$$

Na expressão (4.1), y_j é o produto gerado pela unidade “j”, com base em $f(x_j, \beta) \cdot ET_j$; x_j é o vetor de “m” insumos usados pela unidade “j”; β é o vetor de parâmetros da tecnologia a ser estimado; $f(x_j, \beta)$ é a função de produção e ET_j é a eficiência técnica orientada para o produto “j”.

Da equação (4.1), pode-se representar a eficiência técnica orientada para produto, como sendo:

$$ET_j = \frac{y_j}{f(x_j, \beta)} \quad (4.2)$$

Assim, a eficiência técnica é a relação do produto observado pelo máximo produto possível. O produto y_j encontra seu máximo valor possível em $f(x_j, \beta)$, se, e somente se, $ET_j = 1$. Caso contrário, $ET_j < 1$ fornece uma medida de déficit de produto observado em relação àquele máximo. Esse déficit é atribuído à ineficiência técnica.

Um modelo de Função de Produção Determinístico bastante citado em publicações é conhecido como Função Cobb-Douglas.

De acordo com Badin (1997), a função de produção Cobb-Douglas é descrita pela seguinte equação:

$$y = f(x_1 x_2 \dots x_n) = a_0 x_1^{b_1} x_2^{b_2} \dots x_n^{b_n} \quad (4.3)$$

Na expressão (4.3), a_0, b_1, b_2, \dots são os parâmetros a serem estimados e x_1, x_2, \dots representam os insumos.

A formulação Cobb-Douglas trabalha com retornos de escala constantes e elasticidade de substituição igual a um. Nesses casos é comum adotar-se uma formulação mais flexível.

Os modelos determinísticos apresentam problemas na medida em que ignoram o fato de o produto ser afetado por variações randômicas, ou seja, apresenta alterações que estão

além da capacidade de controle da unidade de produção. Por exemplo, desconsiderando efeitos de interrupção no suprimento de insumos, acidentes, fatores ambientais, conserto de equipamentos, etc.

4.1.2.2 MODELOS DE FRONTEIRA DE PRODUÇÃO ESTOCÁSTICOS

Nos modelos de fronteira de produção estocásticos os impactos sobre os produtos causados por variações randômicas em insumos, podem ser distinguidos e separados das ineficiências atribuídas a problemas técnicos. O erro randômico considera o impacto de erros de medidas e fatores como efeitos climáticos, casualidades e outros, sobre o valor da variável produto, além de efeitos combinados entre insumos não especificados na função de produção. Esses efeitos não incluídos na função de produção podem ocorrer devido a não especificação adequada da relação funcional, a indisponibilidade de valores, a não possibilidade de mensuração, dentre outras causas. Assim, Pereira et al. (2008) distinguem o erro em duas componentes: a primeira atribuída aos erros estatísticos, capta os efeitos dos erros de mensuração e dos fatores externos ao controle da unidade produtiva, como mudança de clima e outras causas imprevisíveis; a segunda componente se refere aos desvios do produto observado em relação ao potencial e estima a ineficiência técnica.

Barros et al. (2004) complementam afirmando que a parte do erro que mede a eficiência técnica tem distribuição assimétrica; já o erro que capta variações aleatórias tem distribuição simétrica e normal.

Segundo Coelli et al. (1997), os autores Aigner, Lovell & Schmidt (1977) e Meeusen & Van den Broeck (1997) propuseram uma função de produção de fronteira estocástica, em que um erro randômico (v_j) é incorporado em uma função determinística. A forma geral dessa função de produção descrita por Kumbhakar & Lovell (2000) é:

$$y_j = f(x_j, \beta) \cdot \exp\{\eta_j\} \cdot ET_j \quad (4.4)$$

Na expressão (4.4), y_j é o produto gerado; x_j é o vetor de "m" insumos usados pelo produtor "j"; β é o vetor de parâmetros da tecnologia a ser estimado; $f(x_j, \beta)$ é a função de produção; η_j é a componente de erro aleatório e ET_j é a ineficiência técnica orientada para produto do produtor "j".

Segundo Azambuja (2002), o modelo definido pela equação (4.4) incluem outros fatores que deslocam a função em direção à fronteira pela variável randômica $\exp\{\nu_j\}$. O erro randômico ν_j pode ser positivo ou negativo e assim, os produtos da fronteira estocástica variam em torno da parte determinística do modelo de fronteira $f(x_j, \beta)$. A fronteira estocástica consiste de duas partes: uma parte determinística $f(x_j, \beta)$, comum para todos os produtores; e uma parte específica do produtor ($\exp\{\nu_j\}$), que captura os efeitos randômicos de cada produtor. Se a fronteira de produção é estocástica, a eficiência técnica é calculada como:

$$ET_j = \frac{y_j}{f(x_j, \beta) \cdot \exp\{\nu_j\}} \quad (4.5)$$

Como foi definido na equação (4.2), $ET_j < 1$ fornece uma medida de déficit do produto observado em relação ao máximo produto possível em um ambiente caracterizado por $\exp\{\nu_j\}$, que oscila através das unidades analisadas (Azambuja, 2002).

Segundo Kumbhakar & Lovell (2000), se for assumido que $f(x_j, \beta)$ toma a forma log-linear de Cobb-Douglas, o modelo de fronteira de produção estocástica da equação (4.4) pode ser escrito como:

$$\ln(y_j) = \beta_0 + \sum_i \beta_i \ln(x_{ij}) + \nu_j - \eta_j \quad (4.6)$$

Na expressão (4.6), y_j é o produto gerado pelo produtor “j”; β é o vetor de parâmetros da tecnologia a ser estimado; x_{ij} é a quantidade dos insumos; ν_j é a componente de erro aleatório e η_j (ou ET_j) é a componente de erro devido à ineficiência técnica.

Barros et al. (2004) comentam que numa tentativa de superar as limitações das fronteiras determinísticas, que não permitiam a presença de erros aleatórios, considerando todos os resíduos como ineficiência técnica das unidades, uma nova abordagem foi proposta inicialmente por Aigner & Chu (1972) e Meeusen & Van Den Broecker (1977) denominada função de produção Translog.

Enquanto Cobb-Douglas trabalha com retornos de escala constantes e elasticidade de substituição unitária, a função Translog relaxa estas suposições dando maior flexibilidade ao modelo. Devido à maior flexibilidade, os escores de eficiência tendem a ser mais elevados que os da função Cobb-Douglas (Barros et al., 2004).

Segundo Spady & Friedlaender (1976) e Firmino (1982) *apud* Azambuja (2002) a função translog tradicional pode ser interpretada como uma aproximação das séries de Taylor para a função $\ln g(x)$ sobre um ponto unitário. Assim a função translog possui a seguinte forma:

$$\hat{\ln g(x)} = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i (\ln x_i - \ln x_{0i}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m b_{ij} (\ln x_i - \ln x_{0i})(\ln x_j - \ln x_{0j}) \quad (4.7)$$

Na equação (4.7) a constante a_0 , os coeficientes a_i e b_{ij} podem ser interpretados, respectivamente, como o valor, a primeira e a segunda derivada do logaritmo da função básica, cujos argumentos são avaliados no ponto arbitrário de expansão x_0 .

Para maiores detalhes sobre as funções Translog ou outros tipos de funções de produção estocásticas, ver Coelli et al (1997).

4.2 FUNÇÃO DE CUSTOS

Small (1992), explica que a função de custo para um dado produtor delinea o custo mínimo de produção de determinado vetor produto em uma função de produção, considerando algumas relações de oferta de insumos.

De acordo com Gomes & Rosado (2005), a especificação de uma função de produção implica na especificação de uma função de custo e vice-versa. Assim, a estrutura de produção pode ser estudada empiricamente, usando-se uma função de produção ou de custo. Ou seja, pode-se, sob determinadas condições, recuperar informações sobre a tecnologia de produção, a partir do estudo das funções de custo. A escolha da função se baseia em critérios estatísticos. A estimação direta de uma função de produção é utilizada quando o nível de produto é considerado endógeno, ou seja, depende apenas de fatores sob controle como, por exemplo, número de berços de um porto, número de armazéns, área portuária, etc. A estimação de uma função de custo é utilizada quando o nível de produto é considerado exógeno, ou seja, é composto por fatores externos ou não controláveis como, por exemplo, preços que variam.

De acordo com Berechman (1993), a função custo é definida como:

$$C(y, w, \beta) = \underset{\bar{x}}{\text{Min}} \tilde{C}(y, w; \beta, \bar{x}) \quad (4.8)$$

Na expressão (4.8), $\tilde{C}(y, w; \beta)$ é a função de custo; y é o vetor produto; w é o vetor de preços de insumos; \bar{x} são insumos fixos e β representa parâmetros a serem estimados.

A função custo representa o mínimo custo para se produzir determinado nível de produto, dada uma combinação ótima de insumos (Gomes & Ponchio 2005).

Arcoverde et al (2005) acrescentam que a interpretação do termo de ineficiência num modelo empírico estimado pela função de custo é ligeiramente mais complicada. Diferentemente da produção, onde o termo de erro unilateral é reflexo puro da ineficiência técnica, na função custo quaisquer erros tem, na otimização, uma parcela referente à ineficiência técnica e uma parcela referente à ineficiência alocativa. Essas ineficiências (técnicas ou alocativas) devem implicar em elevação de custos. Dessa forma, um produtor que, através de uma função de produção se mostra eficiente, pode ser ineficiente quando verificada sua função de custo.

Resumindo, o custo de produção de um produto é a soma de todas as despesas diretas e indiretas feitas pelo uso de insumos no processo que leva à obtenção do produto final. Mesmo os insumos que pertencem àquela unidade de produção como, por exemplo, máquinas, benfeitorias e terra devem ser remunerados. Uma das tarefas do produtor é selecionar, diante da ampla variedade de combinações de insumos possíveis, aquela que minimize o custo para alcançar certo nível de produção. Através dos preços dos insumos empregados no processo produtivo e o nível de produção, são estabelecidas as linhas de isocusto. (Gomes & Rosado, 2005).

Coelli et al (1997) mostram que em determinadas situações é de interesse trabalhar com as funções de custo e/ou lucro, como no caso de refletir objetivos comportamentais (como a minimização dos custos), contabilizar múltiplos produtos ou prever simultaneamente a eficiência técnica e a alocativa.

Entretanto quando as influências de caráter aleatório não são significativas, é importante modelar a produção com múltiplos produtos. Os preços são difíceis de definir e as hipóteses comportamentais, como de minimização de custos ou maximização de lucro, são difíceis de justificar (Coelli et al (1997)). Nestes casos destacam-se a utilização de Técnicas não Paramétricas, que serão analisadas no próximo capítulo.

5. TÉCNICAS NÃO-PARAMÉTRICAS PARA MEDIR EFICIÊNCIA

Segundo Barros et al. (2004), a abordagem não paramétrica foi desenvolvida diretamente da análise inicial de Farrell (1957) e tem, como principal característica, a dispensa de uma forma funcional, ou seja, prescindem da prévia definição de uma relação insumos-produtos. Ela tem como regra básica a comparação de observações reais, realizada através de programação linear, para estabelecer uma fronteira com a tecnologia da "melhor prática". Esta fronteira é criada a partir de todas as combinações convexas das unidades disponíveis, e aquelas unidades situadas abaixo dela são consideradas ineficientes.

A produtividade pode ser medida por números – índices. Coelli et al. (1997) definem número - índice como um número real que mede mudanças em um conjunto de variáveis relacionadas. Na análise de produtividade, estes números-índices são definidos a partir da relação entre as quantidades de insumos e produtos ou da relação entre custos e receitas.

Os métodos não-paramétricos que se baseiam em programação matemática foram concebidos com o objetivo de calcular uma medida de eficiência através da relação entre observações e as fronteiras de produção. Por isso é construída a fronteira de produção eficiente, usada como referência para comparar escores de eficiência (ou ineficiência) para as várias unidades em relação a esta fronteira. A partir de pontos observados (combinação de insumos e produtos de um conjunto de unidades), estabelece-se como medida de eficiência a distância de um ponto à sua projeção na fronteira de produção (Sengupta (1989) *apud* Reinaldo (2002)).

Tanto os métodos paramétricos como os não-paramétricos utilizam todas as informações contidas nos dados. Entretanto, na abordagem paramétrica, a equação de regressão impõe uma forma funcional específica para a estimação de uma relação entre as variáveis independentes e a variável dependente. Em contrapartida na abordagem não-paramétrica, são avaliadas observações reais em relação a uma fronteira de produção, facilitando a caracterização das unidades eficientes e ineficientes.

A Análise Envoltória de Dados (AED) (ou Data Envelopment Analysis - DEA) é uma técnica não paramétrica que utiliza programação matemática para a construção da fronteira

eficiente. Essa técnica foi inicialmente desenvolvida por Farrel (1957) e ampliada por Charnes, Cooper & Rhodes (1978) e Banker, Charnes & Cooper (1984).

5.1 DEFINIÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A Análise Envoltória de Dados (AED) é um processo que utiliza modelos de programação linear para compor a fronteira, definida a partir de uma superfície linear por partes que se apóia sobre as observações que ficam no topo do conjunto de observações. A AED analisa cada Unidade de Tomada de Decisão (UTD) separadamente, medindo a eficiência de suas práticas em relação a todo conjunto de UTDs que está sendo avaliado. Não necessita de nenhuma suposição inicial sobre a forma analítica da função de produção. As duas únicas exigências é que todas as UTDs fiquem sobre ou abaixo da fronteira de eficiência (Seiford & Thrall, 1990) e que sejam comparáveis.

Oum et al (1992) *apud* Azambuja (2002) e Seiford & Thrall (1990) destacam que a técnica AED permite utilizar múltiplos produtos e múltiplos insumos e não requer suposições fortes com relação à tecnologia de produção ou à estrutura de erro. Ela produz um conjunto de medidas de eficiência relativa através da solução de um problema de otimização e não exige o conhecimento de preços de mercado para insumos e produtos. Ela constrói a tecnologia da fronteira de forma totalmente não paramétrica, e avalia a eficiência para cada ponto dado, medindo a distância entre a fronteira e aquela observação particular. Uma desvantagem deste método, é que não é possível testar se o índice de eficiência, para uma observação específica, é estatisticamente significativo. Isto porque sua identificação não resulta da estimação de um modelo estatístico, mas sim de um problema de programação linear. A vantagem é que considera a situação real daquela UTD, interpretando que suas decisões são conscientes e voltadas à maximização do produto, dados seus insumos.

A AED atribui um escore de eficiência menor do que um para unidades ineficientes, significando (no caso de orientação para o insumo) que uma combinação linear de outras unidades da amostra produz o mesmo vetor de produtos, utilizando um vetor com menor consumo de insumos. Em outras palavras, as práticas adotadas pelas unidades eficientes poderiam ser absorvidas pela unidade ineficiente, onde esta teria condições de reduzir seus níveis de consumo para aquela produção, atingindo a fronteira de eficiência. O escore reflete a distância radial da fronteira de produção até a UTD que está sendo avaliada. A AED, assim,

fornece uma avaliação de desempenho relativo para todas as unidades do conjunto. A Figura 5.1 apresenta a fronteira da técnica AED com orientação para o insumo, onde as unidades A, B, C, D e E são consideradas eficientes e a unidade F (que está sendo avaliada), considerada ineficiente.

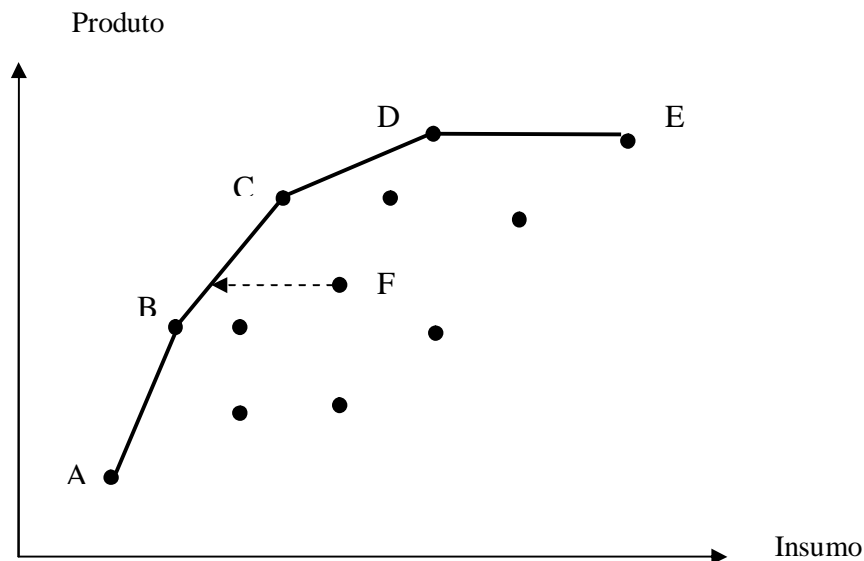


Figura 5.1: Fronteira de Produção com Orientação para o Insumo

FONTE: Charnes et al (1996) (adaptado)

De acordo com Charnes et al (1978) *apud* Finamore et al. (2004), na técnica AED não se sabe, de antemão, quais os pesos que devem ser adotados para se ponderar os diversos insumos e produtos do processo produtivo em análise. Assim, analisa-se uma empresa por vez. Considera-se que uma empresa está operando de forma a otimizar seus recursos e, determinam-se, assim, os pesos de seus insumos e produtos, segundo sua própria ótica (ou seja, aplicando um modelo de programação fracional, admitindo-se que a função objetivo corresponda à maximização dos resultados dessa empresa). O mesmo deve ser feito para todas as demais empresas, ou seja, determinam-se os pesos segundo a ótica particular de cada uma. A seguir, cada empresa é avaliada segundo a ótica das demais empresas. O valor máximo do índice de eficiência relativa é a unidade. Se a empresa for eficiente, obterá o índice máximo na avaliação de várias outras empresas. Algumas empresas só conseguem ser julgadas eficientes através de seus próprios critérios; outras, nem mesmo tendo a liberdade de escolher quaisquer valores para seus insumos e produtos, conseguem se mostrar eficientes. Assim, os valores dos pesos possuem flexibilidade, ou seja, variam de unidade para unidade. Essa

flexibilidade pode ser considerada frágil se existir maior preocupação em fazer a escolha de pesos do que em verificar alguma eficiência; e será considerada forte quando uma unidade for ineficiente mesmo utilizando pesos que lhe são mais favoráveis às suas decisões, na avaliação.

Lins & Mesa (2000) *apud* Reinaldo (2002) destacam que a flexibilidade nos pesos é considerada como uma das maiores vantagens da AED. Esta total flexibilidade na seleção dos pesos é importante para identificar as UTDs (Unidades de Tomada de Decisão) ineficientes que têm uma baixa performance com seu próprio conjunto de pesos.

De acordo com Shimonishi (2005) existem diversos modelos que podem ser utilizados para avaliar a eficiência de uma UTD. Alguns deles envolvem preços e, outros, apenas quantidades de insumos e de produtos. Os modelos podem diferir de acordo com algumas combinações das quatro classificações a seguir:

- a) quanto à orientação: insumo e/ou produto;
- b) quanto à diversificação de retornos de escala: constantes ou variáveis;
- c) quanto ao descarte: forte ou fraco;
- d) quanto ao tipo de medida: radial ou não radial.

De acordo com Shimonishi (2005), a idéia que envolve o conceito de descarte, está relacionada com a importância ou não de alguns insumos ou produtos para o processo produtivo. Quando um insumo ou produto não é considerado tão essencial, pode ser descartado em alguma proporção, sem ocorrer modificações nos custos; tem-se, neste caso, um descarte forte. Já o que é essencial não pode ser descartado, pois pode acarretar custos, sendo neste caso, de descarte fraco. Para maiores detalhes, ver Shimonishi (2005). As demais classificações serão detalhadas ao longo desse capítulo.

A AED permite medir a eficiência em um conjunto observado de unidades produtivas, de acordo com o conceito de optimalidade de Pareto-Koopmans, onde uma unidade específica é eficiente na geração de seus produtos (dadas as quantidades de insumos observadas) se for possível mostrar que nenhuma outra unidade ou combinação linear das demais unidades consegue gerar maior quantidade de um produto sem diminuir a geração de outro ou sem aumentar o consumo de algum insumo (Lopes, 1998).

Shimonishi (2005) demonstra o conceito de optimalidade de Pareto-Koopmans graficamente na Figura 5.2, para o caso de dois insumos e um produto, onde cada curva representa uma isoquanta da produção y em função de dois insumos x_1 e x_2 , sendo y_0 e y_1 os dois níveis das isoquantas, com $y_0 < y_1$. No primeiro gráfico, quando se aumenta a produção, saindo do ponto A em y_0 para os pontos C, D ou E em y_1 , aumenta-se pelo menos um dos insumos,

ocorrendo o mesmo no segundo gráfico ao se deslocar de A para D; ao se diminuir um insumo mantendo o nível de produção y_0 saindo do ponto A para o ponto B, o outro insumo aumenta, nos dois gráficos. Porém, o vetor insumo-produto representado pelo ponto C no segundo gráfico, não satisfaz ao critério de eficiência Pareto-Koopmans, pois, saindo do ponto C para o B é possível reduzir o insumo x_2 sem simultaneamente reduzir a produção ou aumentar outro insumo.

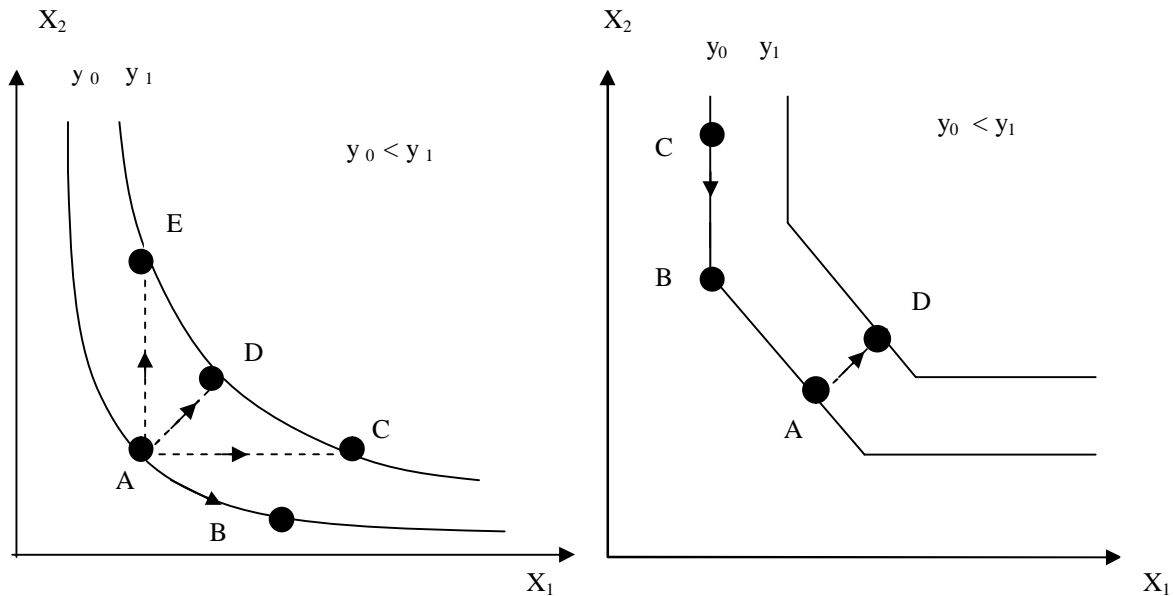


Figura 5.2: Interpretação Geométrica da Eficiência Pareto-Koopmans

FONTE: Shimonishi (2005)

Charnes et al. (1996) informa que ao contrário das abordagens paramétricas convencionais, onde o objetivo é estimar uma superfície de regressão através dos dados, a AED otimiza cada observação individual com o objetivo de calcular uma fronteira discreta por partes formada pelas unidades eficientes. A Figura 5.3 mostra a diferença da construção de uma fronteira através de uma abordagem paramétrica e de uma abordagem não paramétrica. A curva indica a fronteira formada por AED e a linha tracejada mostra uma fronteira formada por regressão convencional.

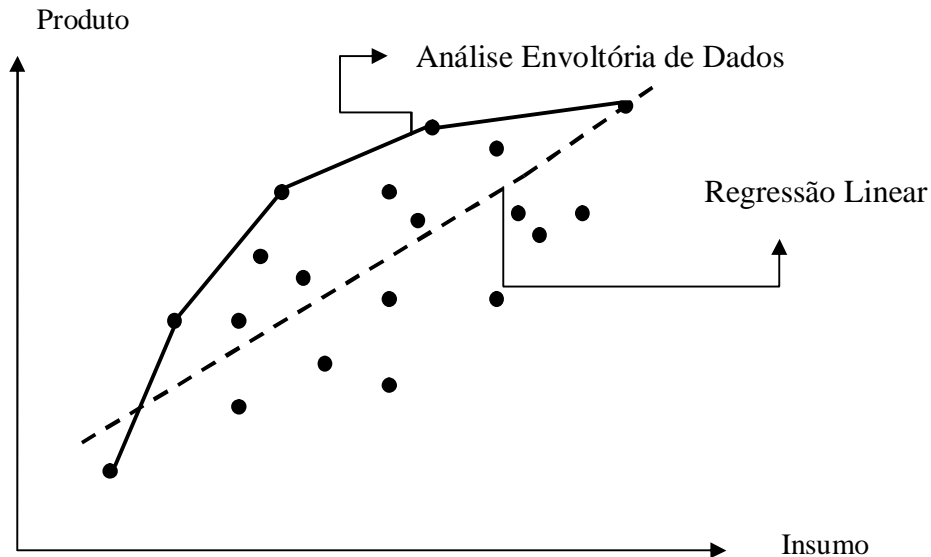


Figura 5.3: Comparação das Fronteiras Formada por AED e Regressão

FONTE: Charnes et al (1996)

Algumas características importantes da técnica AED são (Charnes et al. 1996):

- a) Opera com múltiplos insumos e produtos;
- b) Não necessita estipular a forma funcional;
- c) Gera um escore de desempenho para cada unidade relativo às demais;
- d) Diferencia as unidades eficientes das ineficientes;
- e) Calcula o nível de ineficiência das unidades ineficientes;
- f) Detecta as deficiências específicas, não possíveis em outras técnicas.

5.2 UTILIZAÇÃO E VANTAGENS DA TÉCNICA DA AED

De acordo com Golany & Roll (1989) *apud* Azambuja (2002) e Husain et al. (2000), a técnica AED pode ser utilizada para:

- a) Identificar as fontes e quantias de ineficiência relativa para cada uma das unidades comparadas, sobre alguma de suas dimensões (insumos ou produtos);
- b) Ranking das unidades por seus resultados de eficiência;
- c) Comparação das unidades ineficientes com aquelas eficientes;
- d) Avaliação de formas de administração ou programas de controle que gerenciem as unidades comparadas;

- e) Criação de uma base quantitativa para re-alocação de recursos entre as unidades avaliadas, ou seja, transferência de recursos para aquelas unidades onde os mesmos serão utilizados de forma mais eficaz na geração de produtos;
- f) Análise e investigação de padrões predominantes de relações insumo-produto frente à performance real;
- g) Comparação com resultados prévios;
- h) Mudanças de graus de eficiência através do tempo.

Marinho (2001) descreve a AED como uma técnica que:

- a) Caracteriza cada UTD como eficiente ou ineficiente através de uma única medida resumo de eficiência;
- b) Não faz julgamentos *a priori* sobre os valores das ponderações de insumos e produtos que levariam as UTDs ao melhor nível de eficiência possível;
- c) Pode prescindir (mas não rejeita) sistemas de preços;
- d) Dispensa (mas pode acatar) pré-especificações de funções de produção subjacentes;
- e) Pode considerar sistemas de preferências de avaliadores e de gestores;
- f) Baseia-se em observações individuais e não em valores médios;
- g) Permite a incorporação, na análise, de insumos e de produtos avaliados em unidades de medidas diferentes;
- h) Possibilita a verificação de valores ótimos de produção e de consumo respeitando suas respectivas restrições;
- i) Identifica unidades eficientes que servem de referência para aquelas assinaladas como ineficientes.

Além das vantagens já citadas, Charnes et al. (1996) acrescentam que o método AED pode incorporar variáveis categóricas (“*dummy*”).

Charnes et al. (1996) ainda citam como vantagem do método AED o fato deste apresentar uma nova abordagem para organizar e analisar dados, tornando-se uma alternativa ou complemento para as tradicionais análises de tendências centrais, análises de custo-benefício, orçamentos e tomadas de decisões políticas.

Thanassoulis (2001) *apud* Almeida et al. (2006) lembra que, para ser aplicada a técnica AED, devem ser observados alguns procedimentos, descritos a seguir:

- a) As organizações devem ser homogêneas, ou seja, é necessário analisar um conjunto que realiza as mesmas tarefas, possui objetivos semelhantes e atuam sob as mesmas condições de mercado; e

- b) As variáveis (insumos e produtos) devem ser as mesmas, variando apenas quanto à intensidade ou magnitude.

A Análise Envoltória de Dados tem uma ampla aplicação em diversos setores. A Figura 5.4 ilustra as principais aplicações no Brasil e Exterior.

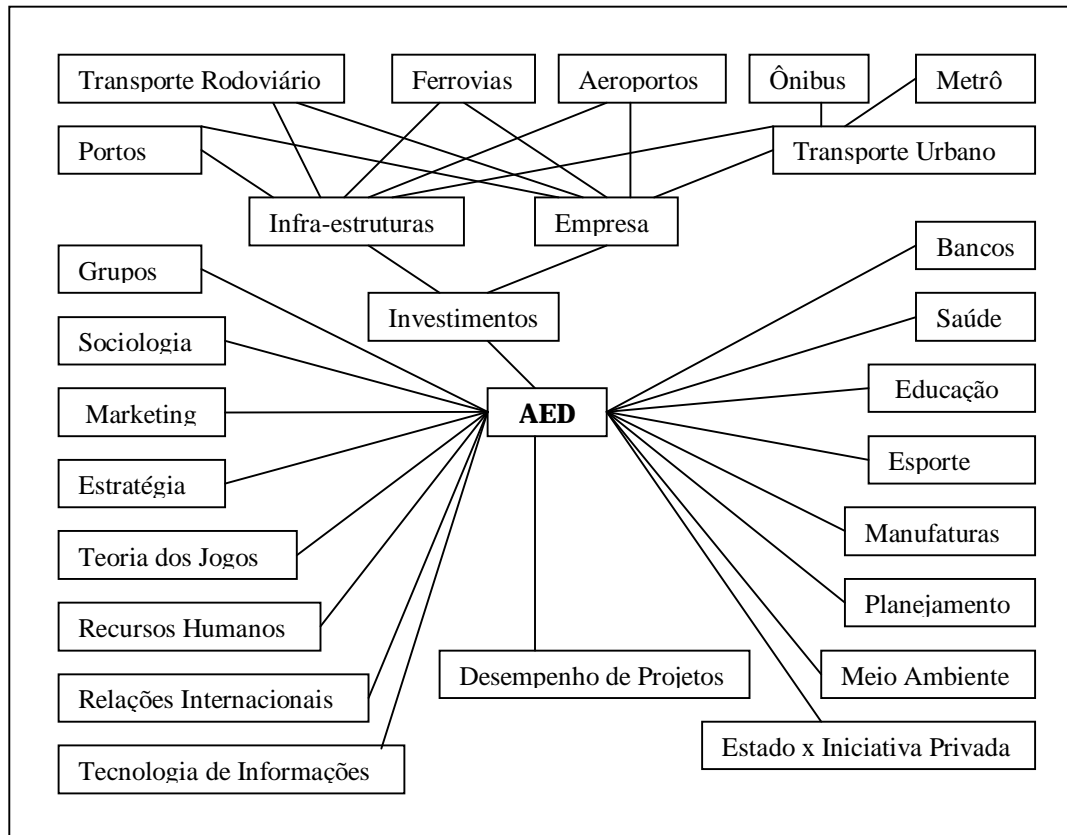


Figura 5.4: Áreas de Aplicação da AED

FONTE: Paiva Jr (2000) *apud* Almeida et al. (2006)

5.3. DECOMPOSIÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA TOTAL DE ACORDO COM A ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

De acordo com Pearson (1993), a eficiência técnica total pode ser decomposta em três componentes:

- a) Eficiência Técnica Pura – mede o produto perdido devido ao tipo de produção utilizada, colocando a unidade em patamar inferior àquele observado na fronteira;

- b) Eficiência de Escala – mede o produto perdido, ocasionados por desvios de escala ótimos, que são os retornos de escala constantes;
- c) Eficiência de Congestionamento - mede o produto perdido ocasionado pelo congestionamento.

A seguir é detalhado cada um desses conceitos.

5.3.1 EFICIENCIA TÉCNICA TOTAL

Segundo Pearson (1993), para se determinar a Eficiência Técnica Total de uma unidade, a fronteira de produção assume retornos de escala constantes e descartes forte de insumos. Assim, a função de produção corresponde a uma reta que passa pela origem, definida de forma que cada observação fique sobre a mesma ou à sua direita, conforme pode ser verificado na Figura 5.5, onde cada ponto P representa uma UTD.

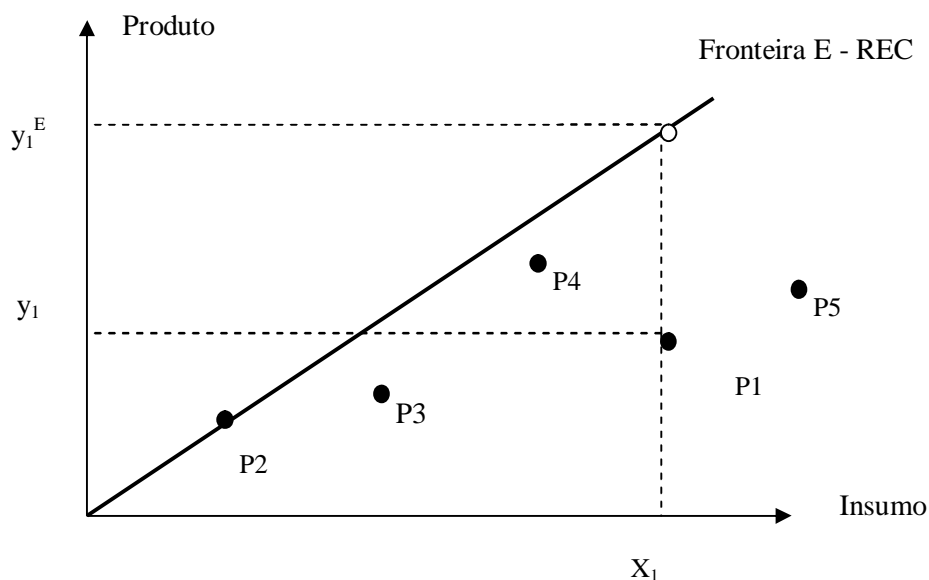


Figura 5.5: Eficiência Técnica Total

FONTE: Pearson (1993)

Observa-se na Figura 5.5, que a unidade P2 é a única eficiente. A fronteira E representa a fronteira da melhor prática. A medida de eficiência para cada unidade corresponde à taxa de seu produto real pelo seu produto potencial (o que seria obtido se a

mesma estivesse sobre a fronteira). Por exemplo, o produto real da empresa 1 é y_1 . Projetando a empresa 1 sobre a fronteira da melhor prática, o produto que poderia ser alcançado seria y_1^E .

Assim, a eficiência técnica total da empresa 1 é:

$$EFT_1 = y_1/y_1^E \quad (5.1)$$

Na expressão (5.1), EFT_1 é a Eficiência Técnica Total da unidade 1; y_1 é o valor do produto real da unidade 1 e y_1^E é o valor do produto da unidade 1 ao ser projetado sobre a fronteira.

5.3.2 EFICIÊNCIA DE ESCALA

Quando não é possível supor retornos de escala constantes, pode-se determinar uma fronteira com retornos de escala não constantes e, assim, medir a Eficiência de Escala. Esta fronteira é representada pela linha W na Figura 5.6 (Pearson, 1993), onde cada ponto P representa uma UTD.

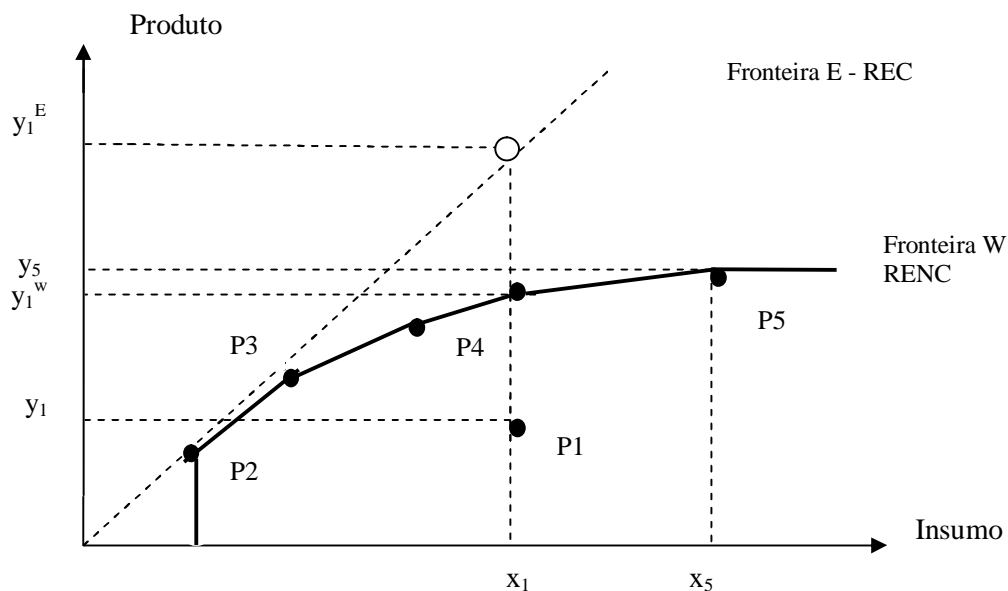


Figura 5.6: Eficiência de Escala

FONTE: Pearson (1993)

Na Figura 5.6, a fronteira W envolve as unidades unindo os pontos mais extremos. Depois da unidade 5, não existem outras unidades produzindo maior quantidade de produto. Assim, a fronteira W segue horizontalmente a partir deste ponto, ilustrando o conceito de descarte livre, ou seja, uma unidade usando maior quantidade de insumos do que a unidade 5 precisa ser capaz de, pelo menos, produzir a quantidade de produto y_5 . Observamos, através da fronteira W, que a empresa 1 pode alcançar resultado correspondente ao nível de produto y_1^W (uma combinação convexa dos produtos das unidades 4 e 5). Assim, a eficiência relativa para a fronteira W, no caso de P_1 , é:

$$W_1 = y_1 / y_1^W \quad (5.2)$$

Na expressão (5.2), W_1 é a Eficiência Relativa para a fronteira W, no caso da unidade P_1 ; y_1 é o valor do produto para a unidade 1 e y_1^W é a combinação convexa do valor do produto das unidades 4 e 5 que estão sobre a fronteira W, para a unidade 1.

A eficiência de escala é definida como:

$$EFE_1 = y_1^W / y_1^E \quad (5.3)$$

Na expressão (5.3), EFE_1 é a Eficiência de Escala para a unidade 1; y_1^W é a combinação convexa do valor do produto das unidades 4 e 5 que estão sobre a fronteira W, para a unidade 1 e y_1^E representa o valor do produto para a unidade 1, projetado na fronteira E.

De acordo com Pearson (1993), a eficiência de escala pode ser medida pela distância entre as duas fronteiras E e W para um determinado nível de insumo observado na unidade considerada.

A Figura 5.7 representa uma situação nas quais as unidades A, B e C, consideradas eficientes, estão sobre a fronteira. As demais, localizadas abaixo da fronteira são ineficientes.

Uma unidade eficiente à escala é aquela para a qual o produto potencial é o mesmo, independente do tipo de retornos à escala. Pela Figura 5.7 pode-se perceber que, para uma unidade com ineficiência à escala (por exemplo, a unidade D), o produto potencial máximo com Retornos de Escala Não Constantes - RENC (projeção D_1) será menor do que o produto potencial máximo em Retornos de Escala Constantes - REC (projeção D_2).

Banker et al. (1984) mostram uma forma simples de verificar o tipo de retorno de escala. Esses retornos podem ser visualizados através do intercepto do hiperplano suportante. A Figura 5.7 indica as três condições:

- Quando o intercepto $\omega^* < 0$ tem-se retornos de escala crescentes;
- Quando o intercepto $\omega^* = 0$ tem-se retornos de escala constantes;
- Quando o intercepto $\omega^* > 0$ tem-se retornos de escala decrescentes.

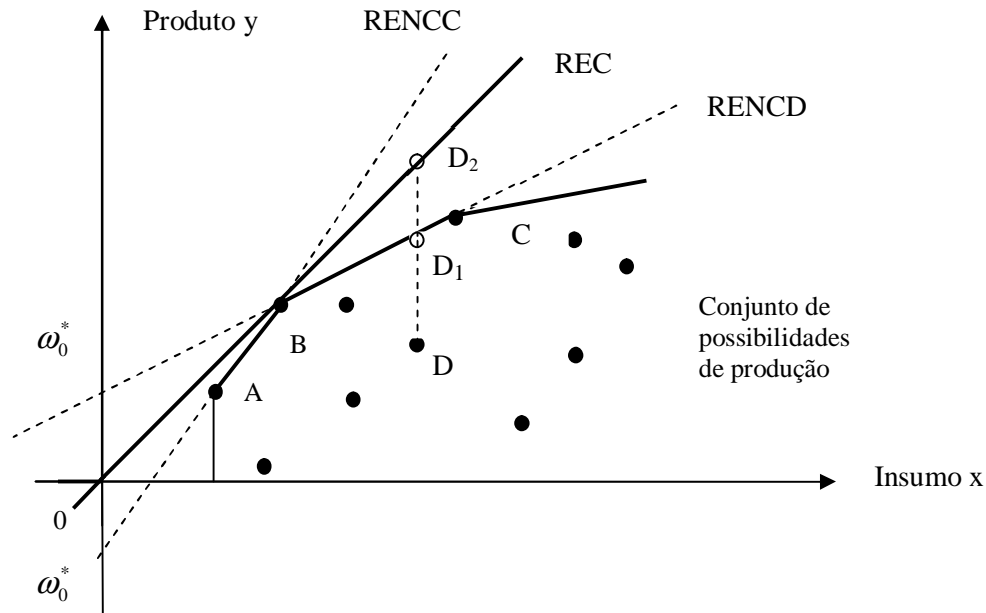


Figura 5.7: Visualização de Retornos de Escala Através do Intercepto do Hiperplano Suportante e Produto Potencial Máximo

FONTE: Banker et al. (1984)

5.3.3 EFICIÊNCIA DE CONGESTIONAMENTO

De acordo com Pearson (1993), o congestionamento ocorre sempre que o aumento de algum(ns) insumo(s) diminui algum(ns) produto(s), ou a diminuição de algum(ns) insumo(s) aumenta algum(ns) produto(s).

Observando as Figuras 5.5 e 5.6, quando foram determinadas as fronteiras para estimar a Eficiência Técnica Total (Retornos de Escala Constantes - REC) e a Eficiência de Escala (Retornos de Escala Não Constantes - RENC), os insumos estavam fortemente

disponíveis. Logo, uma unidade utilizando mais insumos do que a unidade 5, na Figura 5.6, poderia potencialmente produzir o produto da unidade 5 com suas respectivas quantidades de insumos. Quando a disponibilidade é fraca, a redução de insumo só é possível quando todos os insumos são reduzidos na mesma proporção.

No caso da Eficiência de Congestionamento, o produto potencial máximo permitido é sempre menor ou igual ao produto potencial máximo com Retornos de Escala Não Constantes.

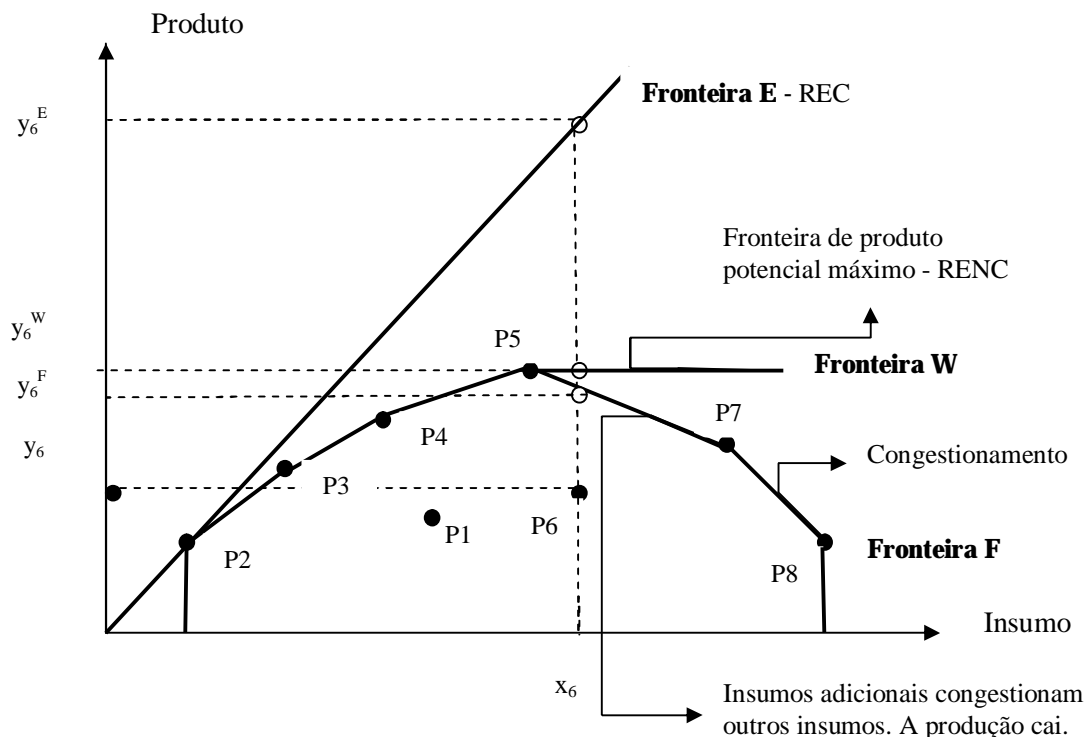


Figura 5.8: Eficiência de Congestionamento

FONTE: Pearson (1993)

Na Figura 5.8, onde cada ponto P representa uma UTD, a Fronteira F representa o congestionamento e a Fronteira W representa a fronteira de produto potencial máximo com Retornos de Escala Não Constantes. Quando o congestionamento não ocorre, as fronteiras coincidem. Este é o caso dos insumos da unidade 5. Após $P5$, a fronteira F declina, ou seja, após o nível de insumo da unidade 5, os insumos adicionais congestionam os outros insumos de modo que o nível de produto prévio começa a declinar (Pearson, 1993).

Analisando a Figura 5.8, observa-se que a fronteira F é a fronteira de produção com Retornos de Escala Não Constantes e com possibilidade de congestionamento. Para determinar a eficiência relativa da unidade $P6$ na fronteira de congestionamento, tem-se:

$$EFC_6 = y_6^F / y_6^W \quad (5.4)$$

Logo, se $EFC_6 = 1$, não ocorrerá congestionamento.

De acordo com Pearson (1993), como consequência dessas definições, a medida de Eficiência Técnica Total para uma unidade “i” qualquer pode ser decomposta como:

$$EFT_i = EFE_i \cdot EFC_i \cdot EFTP_i \quad (5.5)$$

Na expressão (5.5), EFT_i é a Eficiência Técnica Total para uma unidade “i”; EFE_i é a Eficiência de Escala para a unidade “i”; EFC_i é a Eficiência de Congestionamento para a unidade “i” e $EFTP_i$ é a Eficiência Técnica Pura unidade “i”.

5.4 MODELOS BÁSICOS DE AED

A Análise Envoltória de Dados (AED) é uma abordagem que permite comparar a eficiência entre unidades como escolas, universidades, hospitais, empresas, órgãos públicos, portos, aeroportos, quando essas unidades são relativamente homogêneas (Boussofiane et al. 1991).

No caso mais simples, onde um processo ou unidade possui um único insumo e um único produto, a eficiência é igual à produtividade e é definida como:

$$Eficiência = \frac{\textit{produto}}{\textit{insumo}} \quad (5.6)$$

Tipicamente, os processos e unidades organizacionais têm múltiplos insumos e múltiplos produtos que não são utilizados e produzidos na mesma proporção. Esta complexidade pode ser incorporada em uma medida de eficiência como descrita a seguir:

$$Eficiência = \frac{\textit{soma ponderada dos produtos}}{\textit{soma ponderada dos insumos}} \quad (5.7)$$

Boussofiane et al. (1991) observam que esta definição de Eficiência leva à necessidade de se atribuir um conjunto de pesos às unidades analisadas, cuja definição pode se tornar complexa, principalmente quando se busca um conjunto comum que deve ser aplicado em todas as unidades. Porém esses autores lembram que quando se trabalha com a técnica AED, os pesos são tratados como desconhecidos e são escolhidos de forma a maximizar a eficiência de cada unidade observada.

Charnes et al. (1996) comentam que os vários modelos de AED tentam estabelecer principalmente, os conjuntos de “n” UTDs que determinam as partes de uma superfície envoltória. A geometria desta superfície envoltória depende do modelo AED empregado. Quando a UTD se encontra sobre a superfície é considerada eficiente. As unidades que não estão sobre a superfície, são consideradas ineficientes e é possível se medir a eficiência relativa.

Segundo Charnes et al. (1978) *apud* Mello (2004), a AED pode trabalhar com retornos de escala constantes (modelo CCR - Charnes, Cooper e Rhodes, também conhecido por CRS) e com retornos de escala variáveis (modelo BCC - Banker, Charnes e Cooper, também conhecido por VRS),

Quando se utiliza retornos de escala constantes (CCR) deve-se considerar em sua formulação matemática, que a UTD_j , $j = 1, \dots, n$, é uma unidade de produção que utiliza “m” insumos X_{ij} , $i = 1, \dots, m$, para produzir “s” produtos Y_{rj} , $r = 1, \dots, s$. Logo o quociente entre a combinação linear dos produtos e a combinação linear dos insumos é maximizado, com a restrição de que para qualquer UTD esse quociente não pode ser maior que um. Através de artifícios matemáticos, esse modelo pode ser linearizado, transformando-se em um *Problema de Programação Linear* (PPL). Quando se utiliza retornos de escala variáveis (BCC), consideram-se situações de eficiência de produção com variação de escala e não se assume proporcionalidade entre insumos e produtos. Os dois tipos de retornos são descritos a seguir.

Assim, seja a matriz $s \times n$ de medidas de produtos denotada por Y e a matriz $m \times n$ de medidas de insumos denotada por X . Dessa forma, a UTD_j consome quantias $X_j = \{x_{ij}\}$ de insumos ($i = 1, \dots, m$) e produz quantias $Y_j = \{y_{rj}\}$ de produtos ($r = 1, \dots, s$). Considere-se que $x_{ij} > 0$ e $y_{rj} > 0$. A partir dessas denotações, podem-se apresentar os diversos modelos de AED.

5.4.1 MODELO ADITIVO

Ali & Seiford (1993) afirmam que a superfície envoltória de um modelo é formada por uma série de porções de hiperplanos suportantes que formam facetas da casca convexa que envolve a totalidade das observações consideradas. A função objetivo mede a distância da UTD_j a este hiperplano. A maximização da função objetivo seleciona um hiperplano que minimiza esta distância. Quando o valor da função objetivo é igual a zero, a UTD_j fica sobre este hiperplano. As UTDs ineficientes ficam abaixo do hiperplano, correspondendo a valores diferentes de zero na função objetivo, otimizada para cada uma das UTDs.

As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam o Primal e o Dual do Problema de Programação Linear para o Modelo Aditivo.

TABELA 5.1 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo Aditivo com Retornos de Escala Variáveis.

<i>Retornos de Escala Variáveis</i>	
Primal	Dual
$\min_{\lambda_j, s_r, e_i} - \left(\sum_{r=1}^s s_r + \sum_{i=1}^m e_i \right)$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r = y_{r0} \quad r=1, \dots, s$ $- \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - e_i = -x_{i0} \quad i=1, \dots, m$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ $\lambda_j \geq 0 \quad j=1, \dots, n$ $s_r \geq 0 \quad r=1, \dots, s$ $e_i \geq 0 \quad i=1, \dots, m$	$\max_{\mu_r, v_i, \varpi} \sum_{r=1}^s y_{r0} \mu_r - \sum_{i=1}^m x_{i0} v_i + \varpi$ $\sum_{r=1}^s y_{rj} \mu_r - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_i + \varpi \leq 0 \quad \text{para } j=1, \dots, n$ $\mu_r \geq 1 \quad \text{para } r=1, \dots, s$ $v_i \geq 1 \quad \text{para } i=1, \dots, m$

FONTE: Ali & Seiford (1993)

TABELA 5.2 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo Aditivo com Retornos de Escala Constantes.

<i>Retornos de Escala Constantes</i>	
Primal	Dual
$\min_{\lambda_j, s_r, e_i} - \left(\sum_{r=1}^s s_r + \sum_{i=1}^m e_i \right)$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r = y_{r1} \quad r=1, \dots, s$ $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - e_i = -x_{i1} \quad i=1, \dots, m$ $\lambda_j \geq 0 \quad j=1, \dots, n$ $s_r \geq 0 \quad r=1, \dots, s$ $e_i \geq 0 \quad i=1, \dots, m$	$\max_{\mu_r, v_i, \omega} \sum_{r=1}^s y_{r1} \mu_r - \sum_{i=1}^m x_{i1} v_i$ $\sum_{r=1}^s y_{rj} \mu_r - \sum_{i=1}^m x_{ij} v_i \leq 0 \quad \text{para } j=1, \dots, n$ $\mu_r \geq 1 \quad \text{para } r=1, \dots, s$ $v_i \geq 1 \quad \text{para } i=1, \dots, m$

FONTE: Ali & Seiford (1993)

Onde :

y é o produto; x é o insumo; s_r é a folga do produto; e_i é a folga do insumo; μ_r é o peso do produto; v_i é o peso do insumo; ω é o intercepto e λ é a convexidade.

No Primal do Problema de Programação Linear, o ponto (x_{ij}, y_{rj}) representa os valores de insumos e produtos observados para aquela unidade. Para que a unidade atinja a fronteira, as folgas de produto (s_r) e excessos de insumos (e_i) desta unidade são minimizadas. O ponto projetado sobre essa superfície será definido como uma combinação convexa (retornos variáveis) ou linear (retornos constantes) das unidades que se encontram sobre essa superfície, representadas por $\sum_{j=1}^n y_{rj}$ e $\sum_{j=1}^n x_{ij}$ respectivamente. Quando minimizando folgas de produtos ou excessos de insumos, projeta-se o hiperplano, gerado para cada unidade, sobre a superfície envoltória, maximizando essa função, através do dual.

De acordo com Cooper et al. (2006), a eficiência não é medida explicitamente, mas está implicitamente presente nas folgas.

A AED requer a solução de “n” problemas de programação linear como os das Tabelas 5.1 e 5.2, um para cada unidade de tomada de decisão “I”.

Para o modelo aditivo não existe diferença em relação à orientação do problema, porque soma as folgas de cada variável, tanto para insumos como para produtos. O modelo combina insumos e produtos, alcançando a redução máxima de insumos e aumento máximo de produtos através da maximização das folgas (Santos & Meza, 2007).

Resumindo, para o ponto projetado têm-se duas situações:

- combinação convexa – Retornos de Escala Variáveis,
- combinação linear – Retornos de escala não Variáveis.

Dependendo da posição de onde se encontra o ponto (menor distância da fronteira), pode ser projetado para regiões de retornos Crescentes, Decrescentes ou Constantes.

Quando se constrói uma fronteira com Retornos de Escala Variáveis, minimizam-se as folgas existentes em insumos e produtos de uma unidade ineficiente para que essa atinja a fronteira. Assim, o hiperplano da unidade ineficiente é projetado sobre a superfície envoltória.

As Figuras 5.9 e 5.10 representam as superfícies envoltórias para o modelo aditivo com retornos variáveis para o problema primal e dual, respectivamente, e projeta unidades ineficientes sobre a superfície.

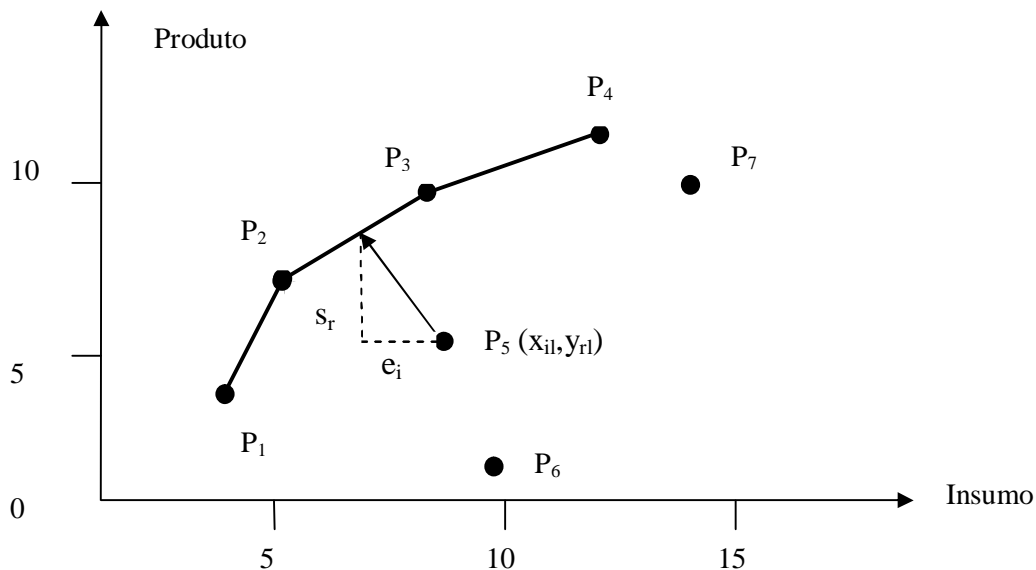


Figura 5.9: Superfície Envoltória para o Modelo Aditivo com Retornos Variáveis –
Representação das Folgas de Insumos e Produtos.

FONTE: Charnes et al (1996)

Onde:

e_i é a folga do insumo; s_r é a folga do produto e x_{i1}, y_{r1} são valores de insumos e produtos observados para a unidade P_5 .

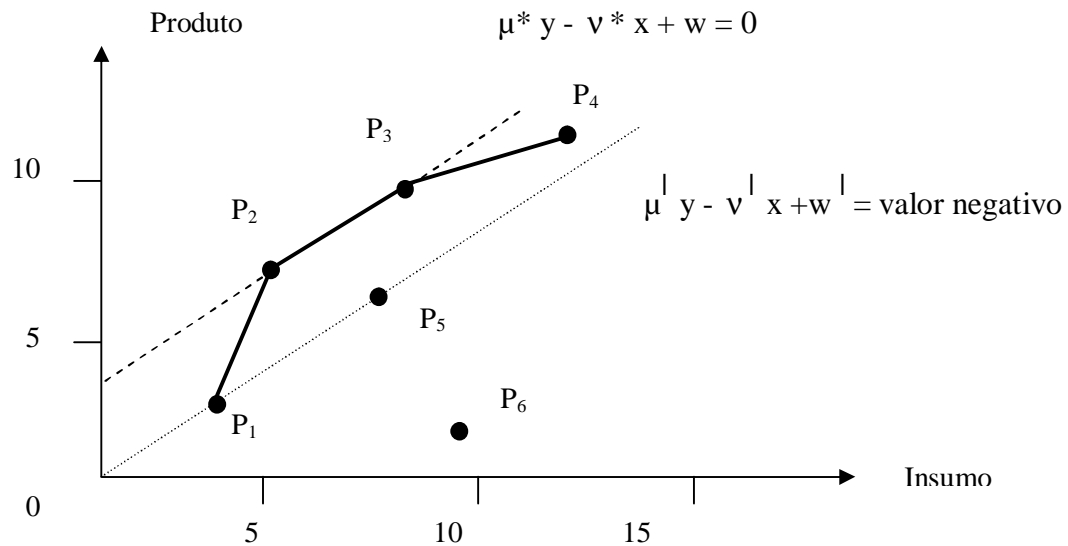


Figura 5.10: Superfície Envoltória para o Modelo Aditivo com Retornos Variáveis –
Representação do Hiperplano Suportante

FONTE: Charnes et al (1996)

Segundo Ali & Seiford (1993), as principais diferenças entre os retornos de escala variáveis e constantes, no modelo aditivo são:

- A restrição de convexidade $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ está presente no modelo com retornos de escala variáveis, enquanto que no modelo com retornos de escala constantes se aceita a combinação linear.
- No modelo com retornos de escala constante, o hiperplano passa pela origem, pois a equação do hiperplano não possui o intercepto w .
- Como nos modelos com retornos de escala constantes não há a restrição de convexidade, os escores de eficiência a serem encontrados serão mais baixos; logo o número de UTDs eficientes será menor do que aquele encontrado nos modelos com retornos variáveis de escala.

5.4.2 MODELO MULTIPLICATIVO

Em contraste com a envoltória linear, os modelos multiplicativos permitem uma envoltória log-linear por partes ou Cobb-Douglas por partes. O modelo Multiplicativo trabalha com logaritmos do Modelo Aditivo. Logo, as características observadas no modelo anterior também se verificam no Modelo Multiplicativo (Ali & Seiford (1993) e Charnes et al (1996)).

No modelo Multiplicativo com retornos de escala constantes não existe a restrição de convexidade $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ no primal, logo não se tem a variável ϖ no dual, fazendo com que os hiperplanos suportantes passem na origem.

As Tabelas 5.3 e 5.4 mostram o primal e o dual para os modelos multiplicativos com retornos de escala variáveis e constantes.

Tabela 5.3 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo Multiplicativo com Retornos de Escala Variáveis.

<i>Retornos de Escala Variáveis</i>	
Primal	Dual
$\min_{\lambda_j, s_r, e_i} \left(\sum_{r=1}^s s_r + \sum_{i=1}^m e_i \right)$ $\sum_{j=1}^n \log(y_{rj}) \lambda_j - s_r = \log(y_{r\parallel}) \quad r=1, \dots, s$ $-\sum_{j=1}^n \log(x_{ij}) \lambda_j - e_i = -\log(x_{i\parallel}) \quad i=1, \dots, m$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ $\lambda_j \geq 0 \quad j=1, \dots, n$ $s_r \geq 0 \quad r=1, \dots, s$ $e_i \geq 0 \quad i=1, \dots, m$	$\max_{\mu_r, v_i, \varpi} \sum_{r=1}^s \log(y_{r\parallel}) \mu_r - \sum_{i=1}^m \log(x_{i\parallel}) v_i + \varpi$ $\sum_{r=1}^s \log(y_{rj}) \mu_r - \sum_{i=1}^m \log(x_{ij}) v_i + \varpi \leq 0 \quad \text{para } j=1, \dots, n$ $\mu_r \geq 1 \quad \text{para } r=1, \dots, s$ $v_i \geq 1 \quad \text{para } i=1, \dots, m$

FONTE: Ali & Seiford (1993)

Tabela 5.4 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo Multiplicativo com Retornos de Escala Constantes.

<i>Retornos de Escala Constantes</i>	
Primal	Dual
$\min_{\lambda_j, s_r, e_i} - \left(\sum_{r=1}^s s_r + \sum_{i=1}^m e_i \right)$ $\sum_{j=1}^n \log(y_{rj}) \lambda_j - s_r = \log(y_{r1}) \quad r=1, \dots, s$ $- \sum_{j=1}^n \log(x_{ij}) \lambda_j - e_i = -\log(x_{i1}) \quad i=1, \dots, m$ $\lambda_j \geq 0 \quad j=1, \dots, n$ $s_r \geq 0 \quad r=1, \dots, s$ $e_i \geq 0 \quad i=1, \dots, m$	$\max_{\mu_r, v_i, \varpi} \sum_{r=1}^s \log(y_{r1}) \mu_r - \sum_{i=1}^m \log(x_{i1}) v_i$ $\sum_{r=1}^s \log(y_{rj}) \mu_r - \sum_{i=1}^m \log(x_{ij}) v_i \leq 0 \quad \text{para } j=1, \dots, n$ $\mu_r \geq 1 \quad \text{para } r=1, \dots, s$ $v_i \geq 1 \quad \text{para } i=1, \dots, m$

FONTE: Ali & Seiford (1993)

Onde :

y é o produto; x é o insumo; s_r é a folga do produto; e_i é a folga do insumo; μ_r é o peso do produto; v_i é o peso do insumo; ϖ é o intercepto e λ é a convexidade.

Os modelos aditivo e multiplicativo indicam o efeito das formulações em um único estágio, utilizando zero para os limites inferiores sobre os multiplicadores e θ como a única medida de ineficiência. Esses modelos ignoram folgas de produtos e excessos de insumos residuais não-proporcionais.

5.4.3. MODELOS ORIENTADOS

De acordo com Ali & Seiford (1993), os modelos orientados se diferenciam em relação ao tipo de orientação, ou seja, voltada ao aumento de produtos ou redução de insumos.

Isto implica que as projeções dos pontos observados sobre a fronteira são diferentes. Portanto, os escores de eficiência relativa não necessariamente são os mesmos nos dois modelos.

Pode-se dizer, resumidamente, que modelos orientados para insumos são aqueles que minimizam os recursos disponíveis sem alteração do nível de produção e os modelos orientados para produtos objetivam aumentar os produtos sem modificar os recursos usados.

Quando se trabalha com orientação para produtos, o aumento de produtos pode ser especificado da seguinte forma:

$$s^1 = \varphi Y_1 + \delta_s^1 \quad (5.8)$$

Na expressão 5.8, s^1 é a folga de produtos; φ é o aumento proporcional de produtos; Y_1 é o vetor de produtos observado e δ_s^1 é o aumento residual adicional individual de produtos.

Na orientação para insumos, a redução de insumos é descrita como:

$$e^1 = \tau X_1 + \delta_e^1 \quad (5.9)$$

Na expressão 5.9, e^1 é o excesso de insumos; τ é a redução proporcional de insumos; X_1 é o vetor de insumos observado e δ_e^1 é a redução residual adicional individual de insumos.

5.4.3.1. MODELO ORIENTADO PARA O INSUMO

De acordo com Ali & Seiford (1993), os modelos orientados para o insumo, se esforçam em maximizar os decréscimos proporcionais em variáveis de insumo, dentro do espaço da envoltória (conjunto de possibilidades de produção). Uma diminuição proporcional é possível até que uma das variáveis de insumo em excesso se torne nula. Esta máxima diminuição proporcional é realizada no primeiro estágio do problema. O ponto intermediário resultante é empregado no segundo estágio do programa para obter o ponto projetado. Estes

modelos utilizam uma constante ε (não arquimediana) para expressar a solução seqüencial (dois estágios) de um par de modelos, os quais são descritos a seguir:

Tabela 5.5 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo com Orientação para o Insumo com Retornos de Escala Variáveis.

<i>Retornos de Escala Variáveis (Modelo BCC)</i>	
Primal	Dual
$\min_{\theta, \lambda_j, s_r, e_j} \theta - \varepsilon(1s + 1e)$ $Y\lambda - s = Y_1$ $\theta X_1 - X\lambda - e = 0$ $1\lambda = 1$ $\lambda \geq 0, e \geq 0, s \geq 0$	$\max_{\mu_r, v_i, \varpi} \mu Y_1 + \varpi$ $vX_1 = 1$ $\mu Y - vX + 1\varpi \leq 0$ $\mu \geq \varepsilon 1, v \geq \varepsilon 1$

FONTE: Ali & Seiford (1993)

Tabela 5.6 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual para o Modelo com Orientação para o Insumo com Retornos de Escala Constantes.

<i>Retornos de Escala Constantes (Modelo CCR)</i>	
Primal	Dual
$\min_{\theta, \lambda_j, s_r, e_i} \theta - \varepsilon(1s + 1e)$ $Y\lambda - s = Y_1$ $\theta X_1 - X\lambda - e = 0$ $\lambda \geq 0, e \geq 0, s \geq 0$	$\max_{\mu_r, v_i} \mu Y_1$ $vX_1 = 1$ $\mu Y - vX \leq 0$ $\mu \geq \varepsilon 1, v \geq \varepsilon 1$

FONTE: Ali & Seiford (1993)

Onde:

ε é a constante infinitesimal não arquimediana; s é a folga de produto(s); e representa a folga de insumo(s); Y é o vetor de produtos; X é o vetor de insumos; μ indica peso(s) do(s) produto(s); v indica peso(s) do(s) insumo(s); ϖ é o intercepto; λ são proporções das quantidades de insumos e produtos das unidades de referência que devem ser utilizadas pelas unidades ineficientes e ε é a redução proporcional de insumo(s).

O valor de θ representa a proporção do vetor de insumo resultante após a diminuição proporcional. Logo:

$$\theta = 1 - \tau \quad (5.10)$$

No problema primal da programação linear, indicado na Tabela 5.5, minimizam-se os excessos proporcionais em insumos e residuais tanto em insumos como em produtos. O dual maximiza o hiperplano de cada unidade como forma de atingirem a fronteira.

Charnes et al. (1996) explicam que no modelo com retornos de escala variáveis, a variável θ e a constante infinitesimal não arquimediana ε aparecem na função objetivo primal como um limite inferior para os multiplicadores no problema dual. Assim a variável θ (escalar) é a redução proporcional aplicada a todos os insumos da UTD para melhorar a eficiência. A presença de ε na função objetivo primal impede a minimização em excesso de θ .

Embora as superfícies envoltórias para o modelo BCC e o modelo Aditivo com retornos variáveis resultem idênticas, os valores das funções objetivos (escores de eficiência) e as projeções de eficiência são diferentes. Ahn et al. (1988) *apud* Charnes et al. (1996), mostram que quando uma UTD é ineficiente em um destes modelos, também será ineficiente no outro modelo. As diferenças nas projeções de eficiência reais refletem simplesmente as métricas usadas nos dois modelos. A comparação entre os modelos de retornos de escala constantes e variáveis, apresentada para o modelo aditivo, também se aplica aos modelos orientados. Essas comparações ocorrem com relação à restrição de convexidade $\left(\sum_{j=1}^n \lambda = 1 \right)$ e a variável ϖ , em torno de seus efeitos sobre a superfície envoltória.

A Figura 5.11 representa o modelo BCC e a Figura 5.12 representa o modelo CCR, ambos com orientação para insumos.

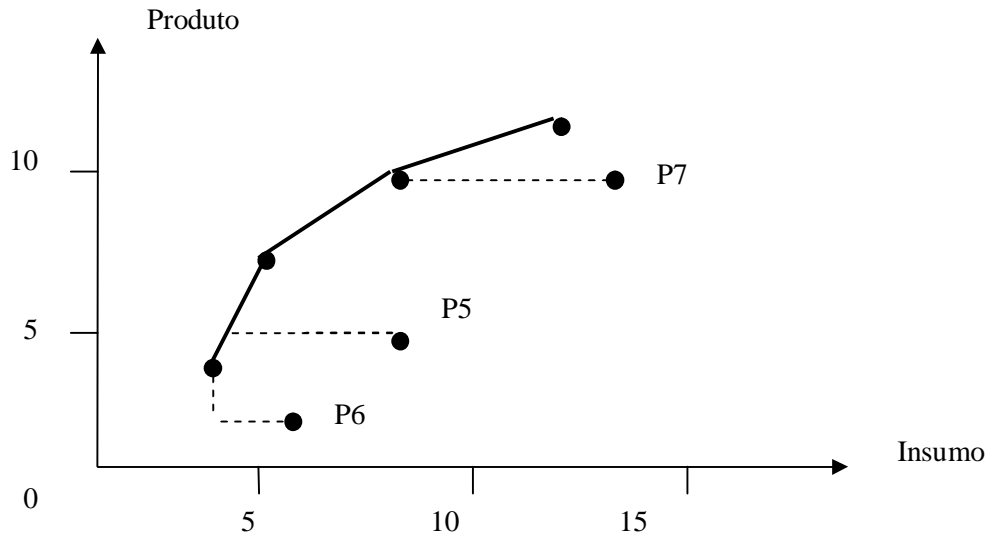


Figura 5.11: Superfície Envoltória para o Modelo BCC Orientado para Insumo

FONTE: Charnes et al (1996)

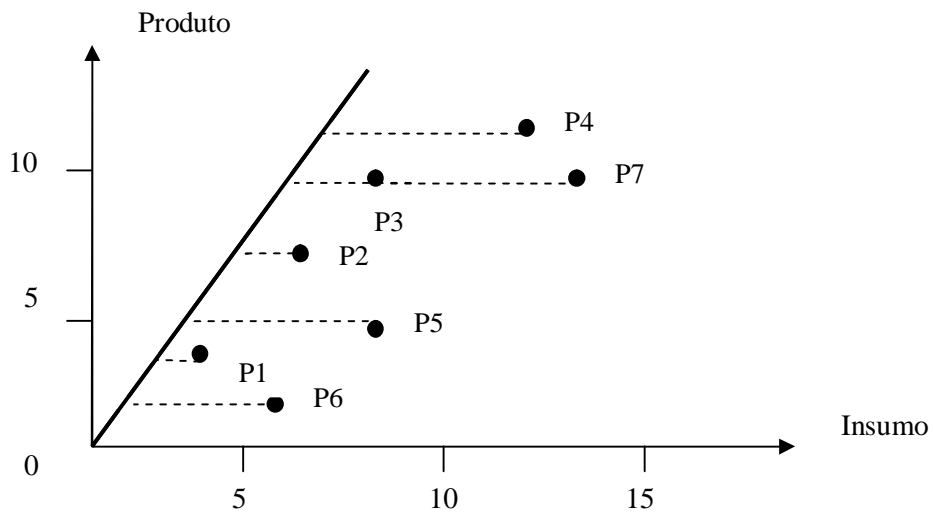


Figura 5.12: Superfície Envoltória para o Modelo CCR Orientado para Insumo

FONTE: Charnes et al (1996)

5.4.3.2 MODELO ORIENTADO PARA O PRODUTO

Para Ali & Seiford (1993) os modelos com orientação para o produto maximizam o aumento proporcional no vetor produto desde que permaneça dentro do espaço da envoltória.

É possível um aumento proporcional até que pelo menos uma das variáveis de folga do produto alcance valor nulo. A seguir, as Tabelas 5.7 e 5.8 mostram os modelos de orientação para produto.

Tabela 5.7 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual, para o Modelo com Orientação para o Produto com Retornos de Escala Variáveis.

<i>Retornos de Escala Variáveis (Modelo BCC)</i>	
Primal	Dual
$\max_{\theta, \lambda_j, s_r, e_i} \varphi + \varepsilon(1s + 1e)$ $\varphi Y_1 - Y\lambda + s = 0$ $X\lambda + e = X_1$ $1\lambda = 1$ $\lambda \geq 0, e \geq 0, s \geq 0$	$\min_{\mu_r, v_i, \varpi} vX_1 + \varpi$ $\mu Y_1 = 1$ $-\mu Y + vX + 1\varpi \geq 0$ $\mu \geq \varepsilon 1, v \geq \varepsilon 1$

FONTE: Ali & Seiford (1993)

Tabela 5.8 – Problemas de Programação Linear, Primal e Dual, para o Modelo com Orientação para o Produto com Retornos de Escala Constantes.

<i>Retornos de Escala Constantes (Modelo CCR)</i>	
Primal	Dual
$\max_{\varphi, \lambda_j, s_r, e_i} \varphi + \varepsilon(1s + 1e)$ $\varphi Y_1 - Y\lambda + s = 0$ $X\lambda + e = X_1$ $\lambda \geq 0, e \geq 0, s \geq 0$	$\min_{\mu_r, v_i} vY_1$ $vY_1 = 1$ $-\mu Y + vX \geq 0$ $\mu \geq \varepsilon 1, v \geq \varepsilon 1$

FONTE: Ali & Seiford (1993)

Onde:

ε é a constante infinitesimal não arquimediana; s é a folga de produto(s); e representa a folga de insumo(s); Y é o vetor de produtos; X é o vetor de insumos; μ indica peso(s) do(s) produto(s); v indica peso(s) do(s) insumo(s); ϖ é o intercepto; λ são proporções das quantidades de insumos e produtos das unidades de referência que devem ser utilizadas pelas

unidades ineficientes; ϕ é a redução proporcional de insumo(s) e φ é o aumento proporcional de produto(s).

Pode-se representar a proporção do vetor de produto resultante após o aumento proporcional como:

$$\phi = 1 + \varphi \quad (5.11)$$

Onde ϕ é a proporção do vetor de produto resultante após o aumento proporcional.

Charnes et al (1996) indicam que a ausência do limite da convexidade aumenta a região praticável da casca convexa no modelo BCC para uma casca cônica no modelo CCR. O resultado é uma redução no número de UTDs eficiente.

Enquanto as superfícies envoltórias são idênticas para ambas orientações (insumo e produto), uma UTD ineficiente é projetada para pontos diferentes sobre a superfície envoltória. Isto reflete o enfoque da orientação, ou seja, define se a ênfase é na redução de insumos ou no acréscimo de produtos. As características de eficiência são as mesmas: um valor ótimo da função objetivo é aquele onde todas as folgas são iguais à zero (Azambuja, 2002).

A Figura 5.13 representa o modelo BCC e a Figura 5.14 representa o modelo CCR, ambos com orientação para produtos

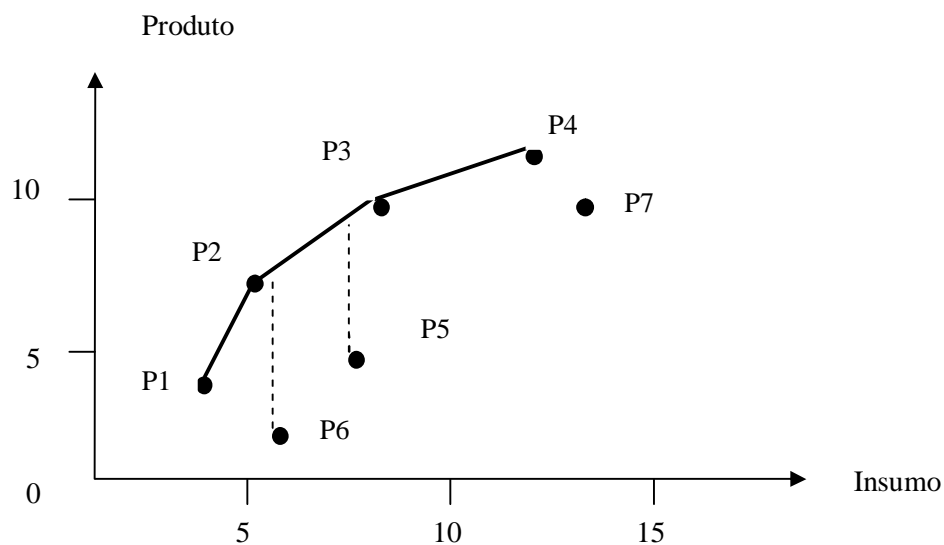


Figura 5.13: Superfície Envoltória para o Modelo BCC Orientado para Produto

FONTE: Charnes et al (1996)

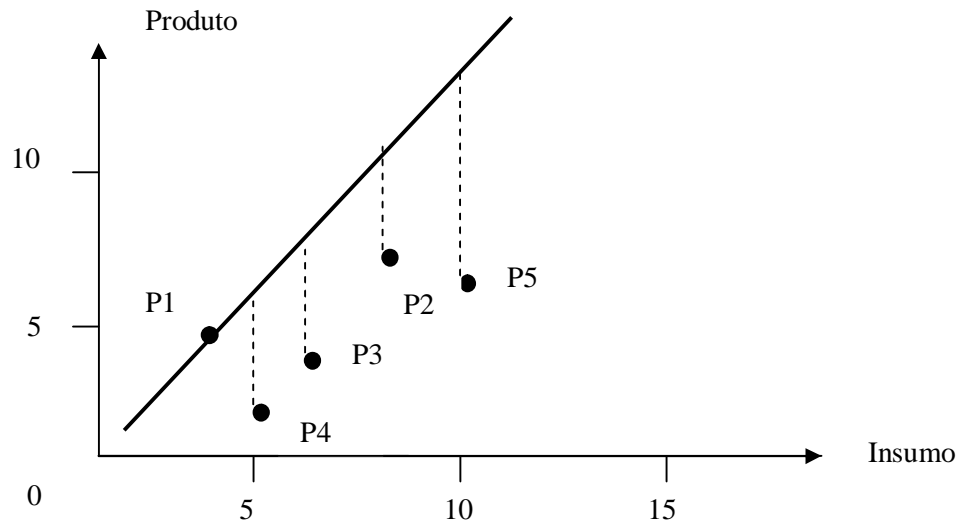


Figura 5.14: Superfície Envoltória para o Modelo CCR Orientado para Produto

FONTE: Charnes et al (1996)

Embora os modelos AED possam utilizar métodos estatísticos para a seleção de variáveis, sem depender de opiniões de decisores, estas opiniões podem ser incorporadas. Assim, quando há preferências entre os insumos e/ou produtos por parte dos agentes de decisão, esses julgamentos são incorporados aos modelos AED através de restrições aos pesos (ou multiplicadores) associados aos insumos e/ou produtos das unidades avaliadas (Mello, 2004).

5.5. SELEÇÃO DAS UTDs, INSUMOS E PRODUTOS

Segundo Lins e Meza (2000) *apud* Beckenkamp (2002) a aplicação da técnica AED em um problema envolve as seguintes etapas:

- Definição e seleção das UTDs a serem analisadas;
- Seleção de variáveis (insumos e produtos) que são importantes e apropriadas para estabelecer a eficiência relativa das UTDs selecionadas;
- Aplicação de um modelo AED.

A seleção de UTDs que formarão um grupo de unidades avaliadas é muito importante para os resultados, pois a metodologia AED é sensível a valores extremos, o que identifica

uma limitação se os dados forem imprecisos. Assim, é importante que os indicadores relativos às UTDs sejam confiáveis, e que eventuais variações extremas sejam, de fato, situações concretas e não erros de medida. Isto significa que os valores que se apresentam muito afastados da tendência central dos indicadores em questão, não devem ser considerados como valores errados, mas sim, um padrão a ser seguido pelas unidades ineficientes para que estas venham a se tornar eficiente.

Bousofiane et al. (1991) também comentam que a identificação e disseminação de boas práticas de operação podem conduzir a melhoria da eficiência para unidades relativamente ineficientes e relativamente eficientes. É importante enfatizar que, entre as unidades eficientes, fontes de boas práticas operacionais, algumas se mostram melhores que as outras.

Antes de definir os insumos e produtos, é necessário definir o tamanho do grupo a ser comparado. Quanto maior esse conjunto, maior o número de unidades que permitirão determinar a fronteira de eficiência. Um grande número de unidades também pode diminuir a homogeneidade do conjunto, aumentando a possibilidade dos resultados serem afetados por fatores exógenos que não são de interesse (Golany & Roll (1989) *apud* Kuiaski (2002)).

Uma regra estabelecida é que o número de unidades deve ser, no mínimo, duas a três vezes o número de fatores (insumos e produtos) considerados (Abel (2000)).

Deve-se observar que a eficiência relativa é medida em relação às UTDs considerando os fatores selecionados. Apesar de todos os cuidados sugeridos, não se pode garantir que o modelo proposto seja o mais indicado para o objetivo da análise. Assim, é interessante que esse sofra constante revisões (Kuiaski, 2002).

5.6 RESTRIÇÕES NOS PESOS

Na apresentação do modelo AED original, Roll & Golany (1993) notaram que a falta de restrição na escolha dos pesos de fatores para cada UTD poderia distorcer a análise. Assim, a restrição nos pesos consiste na imposição de limites que restrinjam a estrutura que pode ser utilizada pelas unidades, podendo reduzir, assim, o número de unidades relativamente eficientes.

Com a imposição de limites sobre pesos de fatores, a importância relativa dos vários fatores deve estar contida dentro de limites específicos, e o intervalo de variação de cada um dos pesos fica restrito às relações prescritas.

Os pesos dos fatores são determinados, entre outras considerações, pela escala sobre a qual os fatores específicos são medidos. Através da estrutura dos programas lineares construídos pela AED, onde o número de UTDs é, pelo menos, duas vezes o número de fatores, pode-se definir um grande número de soluções alternativas (diferentes vetores de peso). Em muitas aplicações de AED, o primeiro vetor de pesos ótimo gerado pelo software é usado sem impor restrições nos pesos. Pela adição de restrições, reduz-se o número de soluções alternativas e, conseqüentemente, o número de unidades eficientes (Roll & Golany (1993).

Azambuja (2002) descreve os métodos para imposição de pesos. A seguir são apresentados alguns desses métodos utilizados para impor a restrição de pesos:

- a) *O modelo CCR*. Quando se aplica o modelo CCR, sem nenhum limite adicional, cada UTD alcança o escore de eficiência mais favorável. Entretanto estes escores vêm acompanhados de valores de pesos que podem ser incompatíveis com casos reais. Caso algum peso se igualar a ε (infinitesimal), indica que os respectivos fatores não estão influenciando na posição de eficiência daquela UTD.
- b) *Restrição geral na variação dos Pesos*. mesmo quando não se possui nenhuma informação sobre a importância relativa dos diferentes fatores, pode-se, ainda, controlar o intervalo de variação permitido aos pesos para cada fator.
- c) *Restrição na variação dos Pesos baseada no julgamento de um Expert*. o intervalo de variação dos pesos é definido por profissionais com experiência na área.
- d) *Conjunto Melhorado de Restrições*. neste caso, os limites impostos por restrições anteriores nos pesos, são gradualmente relaxados.
- e) *Relação entre pesos*. controlam-se os pesos dos fatores através de relações entre esses pesos.
- f) *Valores centrais entre os limites*. consiste em procurar os valores centrais de todos os pesos de forma a gerar um conjunto de pesos comum. Começando com um modelo limitado, definem-se os desvios a partir da média para ambos os lados, como uma fração do intervalo entre o limite inferior e superior.
- g) *Cone Ratio*. Este método impõe restrições sobre a relação entre pesos de insumos e/ou entre pesos de produtos (Novaes (2001) *apud* Azambuja (2002)).

Neste capítulo foi apresentada uma técnica não paramétrica utilizada para medir eficiência em unidades produtivas conhecida como Análise Envoltória de Dados. Essa eficiência é relativa porque faz uma comparação entre as unidades incluídas no conjunto através de variáveis selecionadas.

Ainda foram apresentados alguns modelos de Análise Envoltória de Dados como os modelos Aditivo, Multiplicativo e Orientados, com retornos de escala constantes e variáveis.

O próximo capítulo aplica um modelo de Análise Envoltória de Dados para avaliar a eficiência em alguns portos brasileiros.

6. APLICAÇÃO DA TÉCNICA AED

Um dos principais instrumentos para viabilizar o desenvolvimento econômico e social do Brasil é o aumento do Comércio Exterior. Para tal, é primordial o aperfeiçoamento da qualidade nas operações, de equipamentos e estrutura física dos portos brasileiros.

A partir da construção de um escore de eficiência será possível identificar portos brasileiros tecnicamente eficientes na movimentação de suas cargas. Esses são exemplos de boas práticas e poderão servir de referência para aqueles ineficientes.

Neste capítulo será descrita a metodologia a ser aplicada para a análise da eficiência de portos brasileiros.

6.1 ANÁLISE DOS DADOS

Para a comparação dos portos brasileiros será desenvolvido um índice capaz de medir a eficiência técnica. O método utilizado será a Análise Envoltória de Dados, por possuir algumas vantagens em relação às técnicas paramétricas, como já citado anteriormente, como: não exige a definição de uma forma funcional a priori nem o conhecimento de preços de insumos e produtos; pode-se trabalhar com as observações individuais reais e não valores médios; a técnica ainda permite que cada unidade atribua seus próprios pesos aos diversos insumos e produtos incluídos no modelo, além de possibilitar a restrição desses pesos quando são muito discrepantes. Esse índice de eficiência será construído a partir dos diversos insumos e produtos disponíveis para essa avaliação.

Para a definição de um escore capaz de medir a eficiência técnica relativa dos portos brasileiros, foram levantadas as seguintes variáveis:

- a) Insumos: dimensão do porto (m²), área do canal de acesso (m²), profundidade do canal (m), extensão de cais (m), número de berços, profundidade do berço (m), área (m²) de armazenagem (galpões, armazéns, áreas abertas e cobertas) e quantidade de equipamentos (carregadores e descarregadores de navios, balanças

rodoviárias, guindastes, empilhadeiras e rebocadores), nº de acessos (rodoviário, ferroviário, lacustre, fluvial, marítimo e dutovias);

- b) Produtos: tipos e quantidades de cargas movimentadas (granéis sólidos e líquidos, carga geral e aquelas que utilizam contêineres).

Para a obtenção das variáveis citadas, foi realizada uma extensa pesquisa nas seguintes fontes: “*Anuário Estatístico Portuário – 2004 e 2005*” da ANTAQ (Agência Nacional de Transporte Aquaviário), “*Anuário - Portos e Navios – 2005/2006*”; e os “*sites*” “Portos” (acesso às *Companhias de Docas do Brasil*), “*Portos e Navios*” e “*Aviso aos Navegantes*”.

Foram analisados os portos que estavam representados no “*Anuário Estatístico Portuário – 2004 e 2005*” e no “*Anuário Portos e Navios - 2005/2006*” e excluídos os portos fluviais (com exceção do Porto de Manaus, por apresentar grande movimentação portuária) e os Terminais de Uso Privativo. Convém salientar que, ao longo de todo o estudo, esses sites foram consultados para atualizações na base de dados.

A movimentação de produtos em cada porto foi retirada do “*Anuário Estatístico Portuário – 2004 e 2005*” da ANTAQ que fornecia essa informação para quarenta e seis portos (fluviais e marítimos) e terminais de uso privativo. Excluídos os portos fluviais (exceção do Porto de Manaus) e os Terminais de uso Privativo e alguns portos por falta de informações, foi possível manter vinte e oito portos.

A análise de eficiência dos portos brasileiros foi realizada para os anos de 2004 e 2005.

Verificou-se que o porto de Niterói, para o ano de 2005, não apresentava movimentação. Como a eficiência técnica medida é relativa ao conjunto de unidades analisadas e com o intuito de comparar as eficiências desses portos no período de 2004 a 2005, o porto de Niterói foi excluído das duas bases de dados (2004 e 2005).

No total foram analisados vinte e sete portos. Estes são: Angra dos Reis (RJ), Antonina (PR), Aratu (BA), Areia Branca (RN), Barra do Riacho (ES), Belém (PA), Cabedelo (PB), Forno (RJ), Fortaleza ou Mucuripe (CA), Ilhéus (BA), Imbituba (SC), Itaguaí (RJ), Itajaí (SC), Itaqui (MA), Maceió (AL), Manaus (AM), Natal (RN), Paranaguá (PR), Recife (PE), Rio Grande (RS), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA), Santos (SP), São Francisco do Sul (SC), São Sebastião (SP), Suape (PE) e Vitória (ES).

Diante de informações incompletas em alguns insumos, daqueles listados anteriormente, somente foi possível analisar: número de acessos (rodoviário, ferroviário, lacustre, fluvial, marítimo e dutovias), extensão total de cais, profundidade do canal,

profundidade máxima dos berços, número de berços, área de armazenagem e número de guindastes e empilhadeiras de cada porto.

Para a variável produto utilizou-se a soma de granéis sólidos, líquidos, carga geral e contêineres (em toneladas). Essas informações foram retiradas do Anuário *Estatístico Portuário* e se encontram no ANEXO C, Tabelas C₁ e C₂.

Para uma melhor interpretação dos resultados todas as variáveis foram relativizadas. A tabela com os insumos e produto analisados encontra-se no ANEXO C, Tabela C₃.

Através da construção de um índice de eficiência, serão verificados os portos que se apresentaram eficientes nos anos de 2004 e 2005, comparando seus graus de eficiência e, conseqüentemente, melhorias ou não em seus desempenhos, nesse período. É importante lembrar que como a maioria dos insumos analisados se referem à infra-estrutura portuária (ex.: número de berços, área de armazenagem, ...) esses não sofreram alterações no período analisado, ocorrendo modificações somente na quantidade de carga movimentada (produto).

6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Após a elaboração de uma base de dados, incluindo os portos com informações disponíveis e as variáveis mencionadas anteriormente, é possível construir o escore de eficiência. Para tal, é necessário definir que variáveis serão incluídas neste índice.

Entre as ferramentas de seleção de variáveis, a análise de correlação é uma das mais utilizadas, que corresponde ao método sugerido por Norman & Stoker (1991). Este método verifica a correlação entre todas as variáveis. A seguir, escolhem-se duas variáveis com alta correlação, cada uma representando, respectivamente, um produto e um insumo. A relação entre a quantidade de produto e a quantidade de insumo para cada unidade analisada, formará o primeiro quociente de produtividade. Dividindo o quociente de produtividade de cada unidade pelo maior quociente encontrado, define-se o primeiro índice de eficiência. A partir deste índice, são identificadas novas correlações, introduzindo-se, gradativamente, novas variáveis. A introdução da terceira variável, que pode ser um insumo ou um produto, se dá por escolha entre aquelas que apresentam correlação alta com o primeiro índice. Caso seja um insumo, a variável será incluída no denominador; se for um produto, será incluído no numerador. Mede-se, então, a eficiência das unidades com base neste novo índice, construído a partir dos modelos de AED. Realiza-se, a seguir, nova análise de correlação entre todas as

variáveis remanescentes e o índice de eficiência. Identifica-se outra variável fortemente correlacionada com este índice que possa ser incluída no modelo. O processo se repete até que não se encontrem mais correlações altas entre o índice de eficiência e as demais variáveis testadas. A inclusão de novas variáveis levará a escores mais altos de eficiência média.

Com o objetivo de selecionar um primeiro insumo com correlação linear alta com o produto, justificando sua inclusão para compor o primeiro índice de eficiência, foram representados gráficos de dispersão os insumos e o produto “Movimentação Geral” (soma de granéis sólidos, líquidos, carga geral e contêineres (em toneladas)). Esses são apresentados a seguir, onde os pontos representam os portos incluídos na análise.

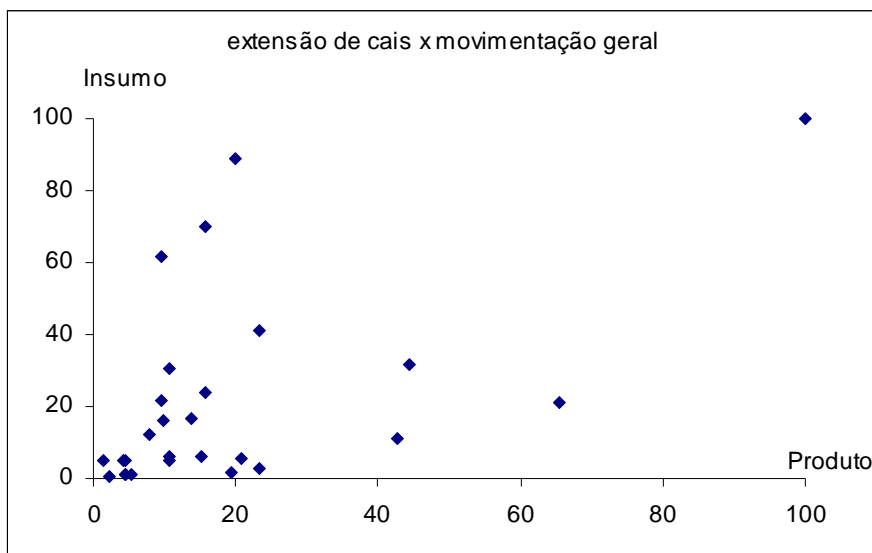


Figura 6.1 – Extensão de Cais x Movimentação Geral

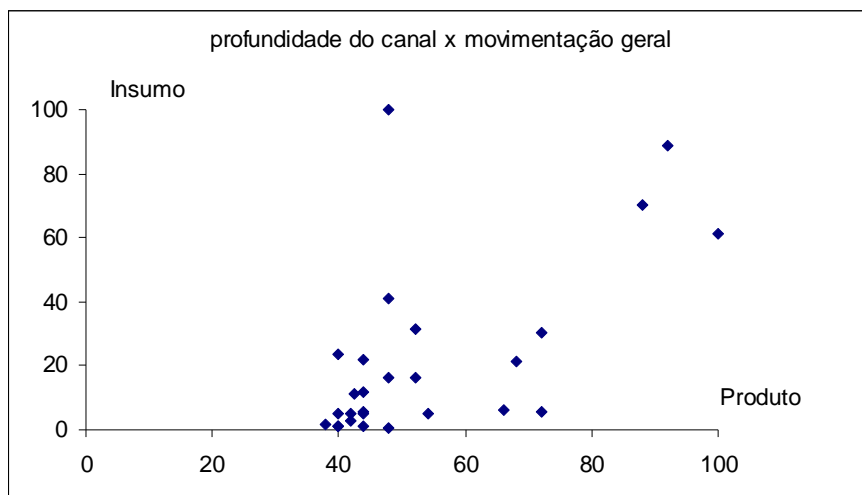


Figura 6.2 – Profundidade do Canal x Movimentação Geral

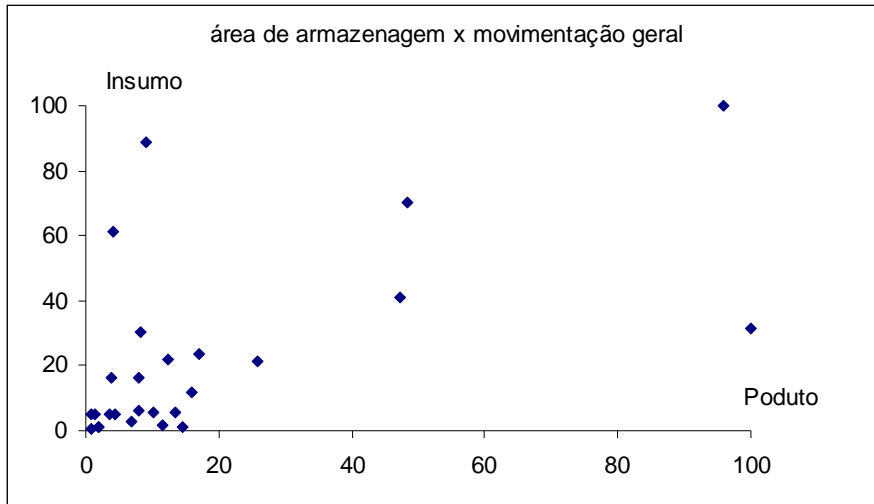


Figura 6.3 – Área de Armazenagem x Movimentação Geral

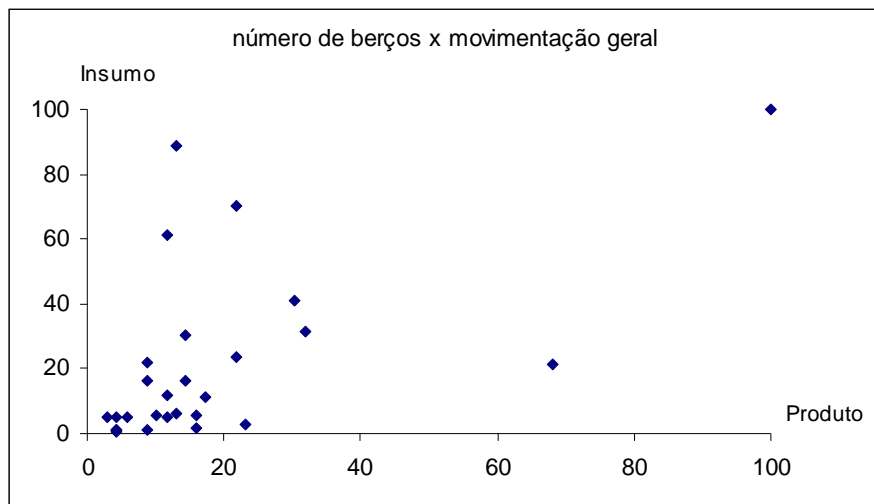


Figura 6.4 – Número de Berços x Movimentação Geral

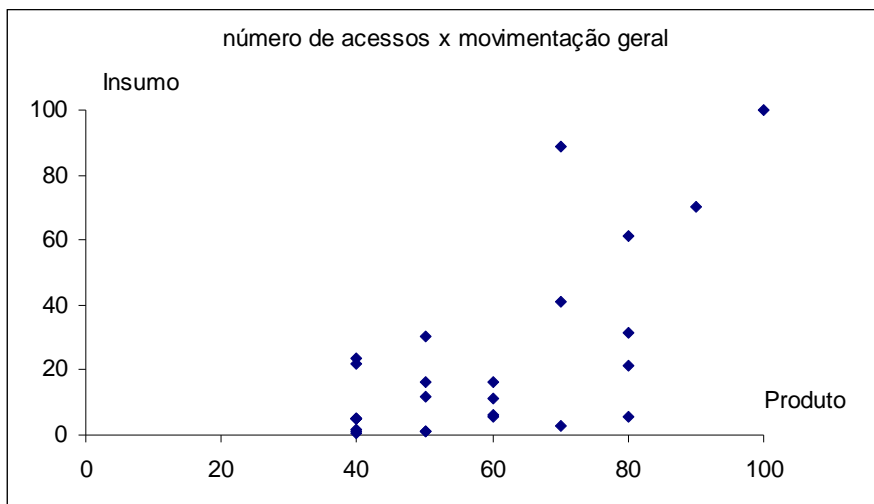


Figura 6.5 – Número de Acessos x Movimentação Geral

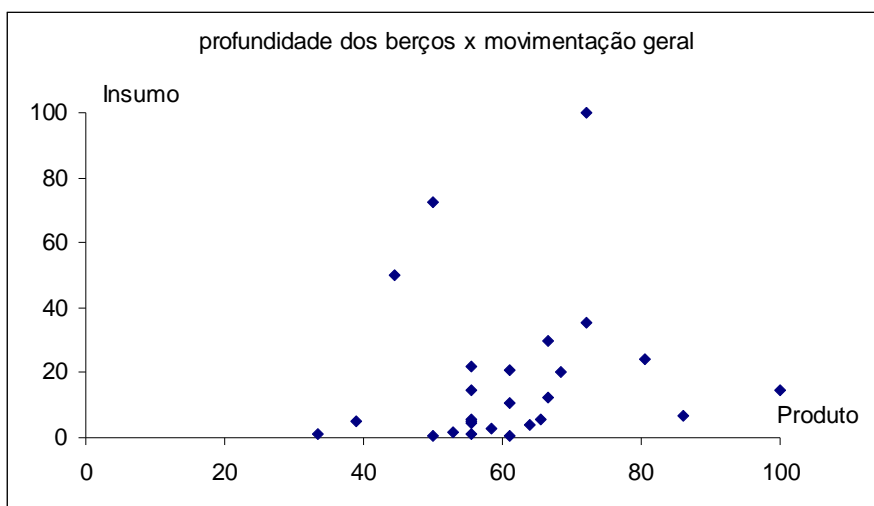


Figura 6.6 – Profundidade de Berços x Movimentação Geral

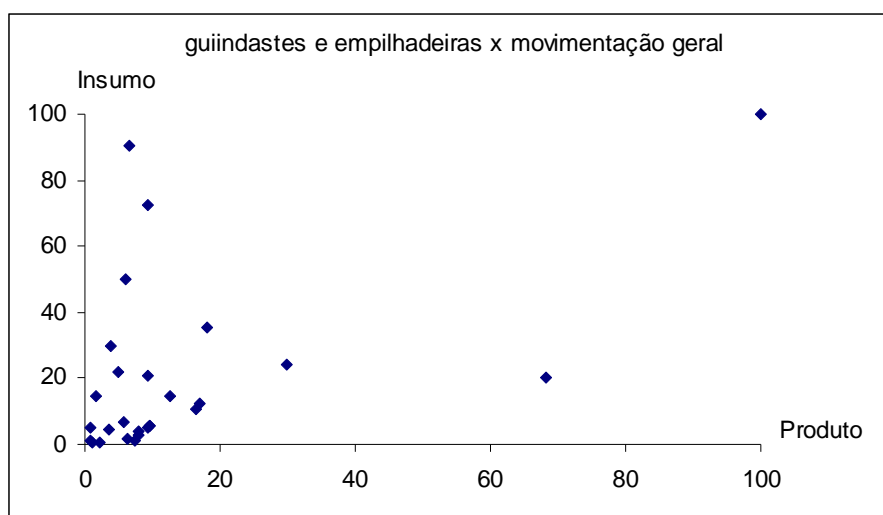


Figura 6.7 – Guindastes e Empilhadeiras x Movimentação Geral

Pode-se verificar, a partir dos gráficos de dispersão, que não é possível identificar uma relação linear entre o produto “Movimentação Geral” e os insumos. Tentou-se, através de transformações matemáticas, encontrar relações lineares entre essas variáveis. Tentou-se ainda, eliminar portos considerados *outliers* (observações que se diferenciam no conjunto em análise). Esses artifícios não foram satisfatórios para a obtenção de uma tendência linear. Além disso, seria necessária a eliminação de portos considerados importantes nesse processo de movimentação de cargas. Por essa razão, não foi possível a utilização do método de *Norman e Stoker* para a seleção de variáveis na construção do índice.

A solução encontrada foi verificar quais insumos seriam mais importantes para a avaliação da eficiência técnica portuária, uma vez que as operações (importações e

exportações) devem ocorrer dentro de um determinado prazo, com padrão de qualidade especificado, preços satisfatórios, otimizando as instalações existentes e tornando-as adequadas para o seu fim. Assim, serão selecionadas variáveis que representem as condições de acesso aquaviário, a capacidade de atendimento às embarcações e a infra-estrutura portuária, percebendo sua contribuição para a melhoria da eficiência média do conjunto.

Como mencionado anteriormente, os modelos de AED podem utilizar Retornos de Escala Constantes ou Retornos de Escala Variáveis. Quando se utilizam retornos de escala variáveis, consideram-se situações de eficiência de produção com variação de escala e não se assume proporcionalidade entre insumos e produtos. Nesse estudo, a hipótese de retornos variáveis se justifica por se trabalhar com portos com características diferenciadas em relação ao porte e aos produtos movimentados.

Com o intuito de aproveitar a estrutura já existente nos diversos portos em relação aos berços de atracação, profundidade do canal, equipamentos, etc, será proposto o modelo orientado para produto. Isso significa que aqueles portos que se mostrarem ineficientes devem tentar aumentar a sua produção (captando mais cargas), considerando as quantidades de insumos disponíveis.

Para a construção do índice de eficiência utilizou-se o software DEA- Solver – LV, versão 3.0 (Cooper et al, 2006). Este software fornece, para cada porto, os escores de eficiência, os pesos atribuídos as variáveis que formam o hiperplano que, juntamente com o intercepto, definem a superfície envoltória e, conseqüentemente, a fronteira eficiente. Também apresenta a relação dos portos eficientes que servem de referência para os portos ineficientes, mostrando a parcela de contribuição de cada porto eficiente para os ineficientes. Ainda, mostra as folgas proporcionais e/ou residuais para cada variável incluída no índice de eficiência para os portos ineficientes.

6.3 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Comparando as informações fornecidas pelos Anuários, muitas eram divergentes. Assim, foi definido o “*Anuário Estatístico Portuário*” e a “*Revista Portos e Navios*” como fontes principais de coleta de dados. Ainda foram utilizados os *sites* “*Portos*” (acesso às *Companhias de Docas do Brasil*), “*Portos e Navios*” e “*Aviso aos Navegantes*” como fontes complementares para a composição da base de dados quando ocorriam divergências ou não

existiam informações a respeito de algum insumo. Como já mencionado, quando ocorriam divergências de valores optou-se em utilizar o maior valor encontrado. As variáveis “*Silos*” e “*Tanques*” foram excluídas por se apresentarem muito incompletas. Devido às falhas no conjunto de informações, só foi possível se trabalhar com vinte e sete portos.

Outras dificuldades encontradas foram:

- Nem sempre era possível identificar se um berço de determinado porto estava desativado ou não.
- Se a extensão do cais informada era exatamente a que estava sendo utilizada (às vezes era informada a presença de obras no local ou a informação estava em TPB).
- Sabe-se que um determinado terminal está atuando na área do porto, mas não era possível determinar sua área de armazenagem, extensão de cais, nº de berços e se a infra-estrutura utilizada pertencia ao porto ou era particular.
- Os equipamentos utilizados na área portuária muitas vezes são terceirizados, mas nem sempre foi possível perceber essa característica.
- Não eram especificadas as áreas arrendadas ou a serem arrendadas.
- Para uma mesma variável encontravam-se valores diferentes.

Diante dessas dificuldades, admite-se que a base de dados utilizada para a construção e análise de eficiência pode estar omitindo características importantes de determinados portos. Contudo, é importante lembrar que a aplicação dessa técnica é robusta para a definição de unidades eficientes. Assim, é fundamental que os Anuários apresentem suas informações de forma mais desagregada e completa (principalmente em relação à infra-estrutura e superestrutura portuárias, com o desenvolvimento de planilhas com as características físicas), tornando possível a comparação mais precisa entre os diversos portos e a utilização desta técnica como instrumento para avaliação das operações portuárias.

Em relação à movimentação de cargas, essas se encontram bem detalhadas e completas no “*Anuário Estatístico Portuário*” da ANTAQ.

6.4 RESTRINGINDO PESOS DAS VARIÁVEIS

Conforme comentado anteriormente, os modelos AED possuem ampla liberdade com relação à seleção dos pesos. Mas apesar de serem importantes para a identificação das unidades ineficientes, os pesos podem se apresentar absurdos para determinadas variáveis em

algumas unidades. Por exemplo, uma unidade pode atribuir peso zero para alguma variável importante ou, ainda, peso muito alto para um insumo que possui em pequena quantidade, atribuindo maior importância do que realmente possui. Neste caso a restrição aos pesos se torna necessária.

Este estudo utilizou o Método de Regiões de Segurança (Assurance Region Method – AR), utilizado pelo software DEA-Solver, desenvolvido por Kaoru Tone que, segundo Cooper et al. (2006) é um caso especial do método Cone Ratio. A restrição imposta desta forma é dada pela equação:

$$L_{1,2} \leq \frac{v_2}{v_1} \leq U_{1,2} \quad (6.1)$$

Na expressão (6.1), $L_{1,2}$ e $U_{1,2}$ são limites inferiores e superiores que a relação entre v_2 e v_1 podem assumir e v_2 e v_1 são pesos dos insumos.

Nesse capítulo foi realizada uma análise dos fatores (insumos e produtos) disponíveis, como forma de identificar possíveis candidatos para comporem o modelo de eficiência. Ainda, foi justificada a utilização de modelos orientados para produto. Caso se verifique pesos muito altos ou muito baixos atribuídos por determinados portos a alguma das variáveis que compõem o modelo, será aplicada uma técnica de restrição nesses pesos.

No próximo capítulo será construído esse modelo de eficiência e realizada a análise dos resultados.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo é definido o escore de eficiência e apresentado os portos que se mostraram exemplos de boas práticas nos anos de 2004 e 2005 e que servirão de referência para os portos tecnicamente ineficientes. Também são feitas comparações entre os dois anos analisados como forma de visualizar melhorias ou não no desempenho dos portos.

7.1 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA

De acordo com as considerações quanto à escolha das variáveis que serão incluídas no índice de eficiência, mencionadas no capítulo 6, identificou-se a profundidade do canal, a extensão total de cais, o número de berços e a área de armazenagem como os insumos mais importantes para a avaliação da eficiência. Percebendo que as variáveis: extensão total de cais e número de berços, são correlacionadas, foram testados dois escores, identificados como índice de eficiência A e índice de eficiência B, estimados a partir dos dados de 2004.

- a) Índice de eficiência A – composto pelos insumos: profundidade do canal, extensão total de cais e área de armazenagem e, como produto, a movimentação geral (soma de granéis sólidos, líquidos, carga geral e contêineres);
- b) Índice de eficiência B – composto pelos insumos: profundidade do canal, número de berços e área de armazenagem e, como produto, a movimentação geral.

A escolha do escore baseou-se, principalmente, no maior valor de eficiência média encontrado, o que ocorreu para o índice de eficiência A, conforme detalhado a seguir.

Como um dos fatores importantes para a movimentação em um porto é que o mesmo tenha uma profundidade de canal capaz de receber suas embarcações, esse foi o primeiro insumo incluído. Dessa forma foi estabelecido o primeiro índice de eficiência, relacionando a “*movimentação geral*” (soma de granéis sólidos, granéis líquidos, carga geral e contêineres) com o insumo “*Profundidade de Canal*”. Dividindo-se o índice encontrado para cada porto pelo maior índice, obteve-se o primeiro escore de eficiência. A eficiência média encontrada foi de 0,41, com o porto de Santos (SP) eficiente.

No segundo passo, optou-se pelo insumo “*Extensão de Caiç*”, pois um navio necessita de acostagem para realizar suas operações de carga ou descarga. O segundo escore de eficiência, composto por dois insumos e um produto, obteve a eficiência média igual a 0,55, considerando como eficientes os portos de Areia Branca (RN), Belém (PA), Itaqui (MA), Santos (SP), São Francisco do Sul (SC) e São Sebastião (SP).

Por último, foi acrescentado o insumo “*Área de Armazenagem*”, representando uma parte da infra-estrutura existente no porto. Dessa forma o índice ficou composto por três insumos e um produto. A eficiência média aumentou para 0,57 e os portos de Areia Branca (RN), Belém (PA), Itaqui (MA), Natal (RN), Santos (SP), São Francisco do Sul (SC) e São Sebastião (SP) se apresentaram como eficientes.

Com relação ao ano de 2005, para o primeiro índice de eficiência, relacionando a “*movimentação geral*” com o insumo “*Profundidade de Canal*”, foi encontrado o valor de eficiência média igual a 0,40, com o porto de Santos (SP) eficiente. Com a inclusão do insumo “*Extensão de Caiç*”, o escore de eficiência, composto por dois insumos e um produto, alcançou a eficiência média igual a 0,54, considerando como eficientes os portos de Areia Branca (RN), Belém (PA), Itaguaí (RJ), Itaqui (MA), Santos (SP), São Francisco do Sul (SC), São Sebastião (SP). Acrescentando o insumo “*Área de Armazenagem*”, a eficiência média aumentou para 0,56 e os portos de Areia Branca (RN), Belém (PA), Itaguaí (RJ), Itaqui (MA), Natal (RN), Santos (SP), São Francisco do Sul (SC) e São Sebastião (SP) se mostraram eficientes.

O índice de eficiência final tem a seguinte forma:

$$\text{Eficiência: } \frac{\text{Movimentação Geral}}{\text{Extensão de Caiç} + \text{Profundidade do Canal} + \text{Área de Armazenagem}} \quad (7.1)$$

Onde “*Extensão de Caiç*”, “*Profundidade do Canal*” e “*Área de Armazenagem*” representam os insumos e a “*Movimentação Geral*” que representa o produto (soma de granéis sólidos, líquidos, carga geral e contêineres).

A Tabela 7.1 apresenta algumas estatísticas para as variáveis incluídas no índice de eficiência para o ano de 2004.

Tabelas 7.1 - Estatísticas das Variáveis incluídas no Índice de Eficiência para o ano de 2004.

Estatísticas	Profundidade do Canal	Extensão de cais	Área de armazenagem	Movimentação Geral (t)
Valor máximo	100,00	100,00	100,00	100,00
Valor mínimo	38,00	1,52	0,77	0,55
Média	53,79	19,10	21,23	21,93
Desvio padrão	17,02	21,30	29,55	27,05

A Tabela 7.2 apresenta as mesmas estatísticas anteriores para as variáveis incluídas no índice de eficiência para o ano de 2005.

Tabelas 7.2 - Estatísticas das Variáveis incluídas no Índice de Eficiência para o ano de 2005.

Estatísticas	Profundidade do Canal	Extensão de cais	Área de armazenagem	Movimentação Geral (t)
Valor máximo	100,00	100,00	100,00	100,00
Valor mínimo	38,00	1,52	0,77	0,60
Média	53,79	19,10	21,23	20,75
Desvio padrão	17,02	21,30	29,55	26,66

Como era de se esperar, comparando as Tabelas 7.1 e 7.2, os valores ponderados máximo, mínimo, média e desvio padrão só se alteram para o produto “*Movimentação Geral*”, pois as quantidades de insumos para os dois anos em análise são as mesmas.

A Tabela 7.3 apresenta os escores de eficiência para todos os portos analisados no estudo para os anos de 2004 e 2005.

Tabela 7.3 – Escore de Eficiência para os 27 portos brasileiros para os anos de 2004 e 2005.

Portos	Estado	Escore 2004	Escore 2005
Angra dos Reis	RJ	0,6702	0,6222
Antonina	PR	0,2097	0,1970
Aratu	BA	0,6211	0,6146
Areia Branca	RN	1,0000	1,0000
Barra do Riacho	ES	0,2499	0,2917
Belém	PA	1,0000	1,0000
Cabedelo	PB	0,0950	0,0784

Continuação da Tabela 7.3

Portos	Estado	Escore 2004	Escore 2005
Forno	RJ	0,0713	0,0849
Fortaleza ou Mucuripe	CE	0,2562	0,2536
Ilhéus	BA	0,2012	0,2181
Imbituba	SC	0,9981	0,9984
Itaguaí ou Sepetiba	RJ	0,9579	1,0000
Itajaí	SC	0,6672	0,7154
Itaqui	MA	1,0000	1,0000
Maceió	AL	0,4318	0,4438
Manaus	AM	0,6401	0,5809
Natal	RJ	1,0000	1,0000
Paranaguá	PR	1,0000	0,9283
Recife	PE	0,1808	0,1911
Rio Grande	RS	0,5116	0,3980
Rio de Janeiro	RJ	0,3051	0,2912
Salvador	BA	0,0866	0,0812
Santos	SP	1,0000	1,0000
São Francisco do Sul	SC	1,0000	1,0000
São Sebastião	SP	1,0000	1,0000
Suape	PE	0,1234	0,1293
Vitória	ES	0,2359	0,2334
Eficiência Média	0,5746		0,5686

Avaliando os pesos atribuídos a cada variável pelos portos, para os anos 2004 e 2005, se observou que o porto de Imbituba e Forno apesar de apresentarem pesos elevados para a variável “*Profundidade do Canal*” e “*Área de Armazenagem*”, não se mostraram eficientes. A maioria apresentou valores entre 0 e 0,5, principalmente para as variáveis “*Profundidade do Canal*” e “*Extensão de Cais*”, enquanto que alguns portos mostraram valores iguais a zero, principalmente para as variáveis “*Extensão de Cais*” e “*Área de Armazenagem*”. A planilha com o intervalo de variação dos pesos atribuídos as variáveis incluídas no escore, é apresentada na Tabela 7.4.

Tabela 7.4. Intervalo de variação dos pesos para as variáveis incluídas no estudo.

Variáveis	Intervalo de pesos para o ano de 2004			Intervalo de pesos para o ano de 2005		
	Peso Mínimo	Peso Máximo	Município	Peso Mínimo	Peso Máximo	Município
Profundidade do Canal	0,0000	4,8019	Imbituba	0,0000	3,9628	Imbituba
Extensão de Cais	0,0000	1,5415	Cabedelo	0,0000	1,7259	Cabedelo
Área de Armazenagem	0,0000	30,8218	Forno	0,0000	22,6546	Forno
Movimentação Geral	0,0000	1,8271	Forno	0,0000	1,6769	Forno

Os municípios acima citados são os que atribuíram maior peso às respectivas variáveis.

Quando um porto atribui peso zero à alguma variável do modelo, significa que aquela variável não interfere, ou seja, não é importante para que o mesmo atinja a eficiência. Já quando atinge peso muito alto à determinada variável, esta é fundamental para que esse porto alcance a fronteira de eficiência.

Os pesos nulos indicam a necessidade da utilização de uma técnica para restringi-los. Como já mencionado anteriormente, o software DEA-solver trabalha com a técnica conhecida como “*Assurance Region Method – AR*”, onde se podem impor limitações para as relações entre insumos e/ou entre produtos. Como o índice trabalhado apresenta um único produto, as restrições só foram impostas para as relações entre insumos. Utilizando-se os valores dos pesos atribuídos pelos portos, dividiram-se os valores dos pesos da variável “*Profundidade do Canal*” pela variável “*Extensão de Cais*”. Os valores mínimo e máximo encontrados para essa relação foram 0,12 e 1,66. Procedeu-se da mesma forma para a relação “*Profundidade do Canal*” e “*Área de Armazenagem*”, encontrando-se o intervalo entre 0,10 e 17,24. A partir dessas relações, foram impostos limites aos intervalos de variação, até não se encontrar mais pesos iguais a zero ou muito elevados. Abaixo estão as restrições sugeridas para os anos de 2004 e 2005:

$$0,5 \leq \frac{\text{prof canal}}{\text{ext de cais}} \leq 1,2 \quad (7.2)$$

$$1 \leq \frac{\text{prof canal}}{\text{a.armazenagem}} \leq 5 \quad (7.3)$$

A planilha com o intervalo de variação dos pesos atribuídos as variáveis do escore, após a imposição de restrições nos pesos é apresentada na Tabela 7.5.

Tabela 7.5. Intervalo de variação dos pesos para as variáveis incluídas no estudo, após imposição de restrições e respectivos portos que atribuíram esses pesos.

Variáveis	Intervalo de pesos para o ano de 2004				Intervalo de pesos para o ano de 2005			
	Município	Peso Mínimo	Município	Peso Máximo	Município	Peso Mínimo	Município	Peso máximo
Profundidade do Canal	Santos	0,0027	Forno	1,6479	Santos	0,0025	Forno	1,5355
Extensão de Cais	Rio de Janeiro	0,0039	Forno	3,2959	Santos	0,0020	Forno	3,0710
Área de Armazenagem	Itaqui	0,0028	Forno	1,6479	Santos	0,0005	Forno	1,5355
Movimentação Geral	Santos	0,0100	Forno	1,8271	Santos	0,010	Forno	1,6769

Após a aplicação das restrições, novos escores de eficiência foram gerados. Foi observado que a eficiência média diminuiu, bem como o número de portos considerados eficientes, o que já é esperado quando são impostas limitações nos pesos das variáveis, diminuindo a liberdade de escolha desses pesos. Para o ano de 2004, a eficiência média se reduziu para 0,49, e os portos que se mantiveram eficientes foram: Areia Branca (RN), Itaqui (MA), Natal (RN), Santos (SP) e São Francisco do Sul (SC).

A eficiência média para o ano de 2005 também diminuiu para 0,47, e os portos que se mantiveram eficientes foram: Areia Branca (RN), Itaqui (MA), Natal (RN), Santos (SP) e São Francisco do Sul (SC).

A Tabela 7.6, apresenta os escores de eficiência para os portos em análise.

Tabela 7.6 – Escores de Eficiência para os 27 portos analisados antes e após restrições nos pesos.

Nome do Porto	Estado	Escore de eficiência antes das restrições		Escore de eficiência após as restrições	
		2004	2005	2004	2005
Angra dos Reis	RJ	0,6702	0,0221	0,5810	0,5306
Antonina	PR	0,2096	0,1970	0,1405	0,1163
Aratu	BA	0,6211	0,6146	0,5938	0,5722
Areia Branca	RN	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Barra do Riacho	ES	0,2498	0,2917	0,2342	0,2616
Belém	PA	1,0000	1,0000	0,9841	0,9526
Cabedelo	PB	0,0949	0,0784	0,0950	0,0784
Forno	RJ	0,0713	0,0849	0,0546	0,0596
Fortaleza ou Mucuripe	CE	0,2456	0,2535	0,2545	0,2505
Ilhéus	BA	0,2012	0,2181	0,1985	0,2134
Imbituba	SC	0,9981	0,9984	0,0679	0,0766
Itaguaí ou Sepetiba	RJ	0,9579	1,0000	0,8326	0,8500
Itajaí	SC	0,6672	0,7154	0,6243	0,6636
Itaquí	MA	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Maceió	AL	0,4318	0,4438	0,3184	0,3130
Manaus	AM	0,6401	0,5809	0,5989	0,5410
Natal	RN	1,0000	1,0000	1,0000	0,9999
Paranaguá	PR	1,0000	0,9283	0,8442	0,7303
Recife	PE	0,1808	0,1911	0,0880	0,0866
Rio Grande	RS	0,5116	0,3980	0,3627	0,2707
Rio de Janeiro	RJ	0,3051	0,2912	0,2311	0,2186
Salvador	BA	0,0866	0,0812	0,0810	0,0756
Santos	SP	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
São Francisco do Sul	SC	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
São Sebastião	SP	1,0000	1,0000	0,8414	0,6771
Suape	PE	0,0123	0,1293	0,1200	0,1254
Vitória	ES	0,2359	0,2334	0,1500	0,1432
Eficiência Média		0,5700	0,5463	0,4910	0,4714

Comparando os escores de eficiência para os anos de 2004 e 2005, na Tabela 7.6, percebe-se uma redução na eficiência média. Analisando cada porto, verifica-se que os portos que se mostravam eficientes em 2004 se mantiveram em 2005, com uma pequena queda na eficiência no porto de Natal (0,01%). Observou-se, também, uma queda nos escores de eficiência em 16 dos 27 portos; porém, para a maioria essa queda varia entre 0 e 6%, sendo maiores para os portos de São Sebastião (SP) (16,43%), Paranaguá (PR) (11,39%) e Rio Grande (RS) (9,2%). Aumentos nos escores de eficiência se confirmaram em 7 portos, porém esse aumento não foi superior a 3,93%. Resumidamente, não foram observadas mudanças importantes no desempenho desse grupo de portos no período analisado.

A ordem dos Portos no ranking de eficiência para o ano de 2004 antes das restrições foi: São Sebastião (SP), São Francisco do Sul (SC), Santos (SP), Paranaguá (PR), Areia Branca (RN), Natal (RN), Belém (PA) e Itaqui (MA). Após as restrições nos pesos essa ordem se alterou para: São Francisco do Sul (SC), Santos (SP), Natal (RN), Itaqui (MA), Areia Branca (RN) e Belém (PA).

Para o ano de 2005, a ordem dos Portos no ranking de eficiência antes da imposição de restrição nos pesos foi: São Sebastião (SP), São Francisco do Sul (SC), Santos (SP), Natal (RN), Areia Branca (RN), Itaqui (MA) e Belém (PA). Após as restrições, a ordem nesse ranking passou para: São Francisco do Sul (SC), Santos (SP), Itaqui (MA), Areia Branca (RN), Natal (RN), Seguido de Belém (PA).

O número de vezes que cada porto eficiente aparece como referência para os portos ineficientes é apresentado na Tabela 7.7.

Tabela 7.7 - Frequência com que os portos eficientes aparecem como referência para os ineficientes para os anos de 2004 e 2005.

Portos	Frequência (2004)	Frequência (2005)
Areia Branca (RN)	9	9
Itaqui (MA)	21	21
Natal (RN)	11	11
Santos (SP)	2	2
São Francisco do Sul (SC)	17	17

Percebe-se que, apesar de pequenas diferenças nos escores de eficiência para os anos de 2004 e 2005, o número de vezes que cada porto eficiente aparece como referência para os mesmos portos ineficientes, é igual para os dois anos. Além disso, analisando a Tabela 7.7, dos cinco portos que se mostraram eficientes, com exceção do porto de Santos, os demais são referências importantes para aqueles ineficientes, como será demonstrado na Tabela 7.8, a partir da contribuição percentual () de cada porto eficiente para aqueles ineficientes. Os valores de β podem ser interpretados da seguinte forma: para o porto de Angra dos Reis se tornar eficiente, ele pode movimentar:

$$= 0,1837 \times a \text{ quantidade movimentada pelo porto de Itaqui} + 0,3399 \times a \text{ quantidade movimentada pelo porto de Natal} + 0,4762 \times a \text{ quantidade movimentada pelo porto de São Francisco do Sul.}$$

Tabela 7.8 - Contribuições dos portos eficientes para os portos ineficientes.

Estado	Porto	Referência λ
		2004 e 2005
RJ	Angra dos Reis	Itaqui - 0,1838 Natal - 0,3400 São Francisco do Sul - 0,4762
PR	Antonina	Areia Branca - 0,3113 Natal - 0,4570 São Francisco do Sul - 0,2317
BA	Aratu	Areia Branca - 0,4459 Itaqui - 0,5541
RN	Areia Branca	Areia Branca - 1,0000
ES	Barra do Riacho	Areia Branca - 0,8117 Itaqui - 0,1883
PA	Belém	Itaqui - 0,0378 São Francisco do Sul - 0,9622
PB	Cabedelo	Areia Branca - 0,0098 Itaqui - 0,0754 Natal - 0,9050 São Francisco do Sul - 0,0098
RJ	Forno	Areia Branca - 0,9390 Itaqui - 0,0610
CE	Fortaleza ou Mucuripe	Itaqui - 0,0209 São Francisco do Sul - 0,9791
BA	Ilhéus	Natal - 0,9548 São Francisco do Sul - 0,0452
SC	Imbituba	Itaqui - 0,0515 Natal - 0,0771 São Francisco do Sul - 0,8714
RJ	Itaguaí ou Sepetiba	Areia Branca - 0,0565 Itaqui - 0,9435
SC	Itajaí	Areia Branca - 0,2553 Itaqui - 0,0270 São Francisco do Sul - 0,7178
MA	Itaqui	Itaqui - 1,0000
AL	Maceió	Itaqui - 0,0853 Natal - 0,6827 São Francisco do Sul - 0,2319
AM	Manaus	Itaqui - 0,2520 Natal - 0,6986 São Francisco do Sul - 0,0494
RN	Natal	Natal - 1,0000
PR	Paranaguá	Itaqui - 0,3980 São Francisco do Sul - 0,6020
PE	Recife	Itaqui - 0,2307 Natal - 0,4330 São Francisco do Sul - 0,3364

Continuação da Tabela 7.8

Estado	Porto	Referência λ
		2004 e 2005
RS	Rio Grande	Itaqui - 0,9734 São Francisco do Sul - 0,0266
RJ	Rio de Janeiro	Itaqui - 0,7188 Santos - 0,2812
BA	Salvador	Itaqui - 0,6579 Natal - 0,0026 São Francisco do Sul - 0,3395
SP	Santos	Santos - 1,0000
SC	São Francisco do Sul	São Francisco do Sul - 1,0000
SP	São Sebastião	Areia Branca - 0,1898 Itaqui - 0,8102
PE	Suape	Itaqui - 0,5085 Natal - 0,2543 São Francisco do Sul - 0,2372
ES	Vitória	Itaqui - 0,7685 São Francisco do Sul - 0,2315

Os portos eficientes e seus respectivos percentuais de contribuição permanecem exatamente iguais nos dois anos em análise, para as unidades ineficientes.

Como o modelo o qual se está trabalhando é orientado para o produto, não existem folgas proporcionais para os insumos. A Tabela 7.9 analisa, em relação aos insumos, as folgas residuais e, em relação ao único produto “*Movimentação Geral*”, o aumento proporcional necessário para atingir a fronteira de eficiência, para cada porto. Essas são características do modelo com orientação para produto.

Tabela 7.9 – Folgas Residuais para os Insumos e Proporcional para o Produto “*Movimentação Geral*” para o ano de 2004.

Porto	Valor	Projeção	Folga	%
Variáveis	ponderado			
Angra dos Reis (RJ)	1,721117			
Profundidade do canal	48,000000	51,461828	3,461828	7,21%
Extensão de cais	13,803052	9,648859	-4,154194	-30,10%
Área de armazenagem	8,029448	8,029448	0	0,00%
Movimentação geral	16,534566	28,457924	11,923358	72,11%
Antonina (PR)	7,116790			
Profundidade do canal	40,000000	42,171553	2,171553	5,43%
Extensão de cais	4,570648	4,570648	0	0,00%
Área de armazenagem	14,561150	3,703383	-10,857767	-74,57%
Movimentação geral	1,255683	8,936432	7,680749	611,68%

Continuação da tabela 7.9

Porto	Valor			
Variáveis	ponderado	Projeção	Folga	%
Aratu (BA)	1,684066			
Profundidade do canal	72,000000	70,596470	-1,403530	-1,95%
Extensão de cais	10,781262	11,773584	0,992322	9,20%
Área de armazenagem	8,244548	5,338978	-2,905570	-35,24%
Movimentação geral	30,579656	51,498148	20,918492	68,41%
Areia Branca (RN)	1,000000			
Profundidade do canal	44,000000	43,999806	0	0,00%
Extensão de cais	1,515071	1,515151	0,000080	0,01%
Área de armazenagem	0,774669	0,774704	0,000034	0,00%
Movimentação geral	4,886318	4,886318	0	0,00%
Barra do Riacho (ES)	4,269606			
Profundidade do canal	54,000000	53,038506	-0,961494	-1,78%
Extensão de cais	4,403614	5,001411	0,597797	13,58%
Área de armazenagem	3,496341	2,325842	-1,170499	-33,48%
Movimentação geral	4,854615	20,727291	15,872676	326,96%
Belém (PA)	1,016188			
Profundidade do canal	40,000000	45,813065	5,813065	14,53%
Extensão de cais	15,830233	9,998186	-5,832047	-36,84%
Área de armazenagem	17,131296	12,366168	-4,765129	-27,82%
Movimentação geral	23,821508	24,207128	0,385620	1,62%
Cabedelo (PB)	10,527845			
Profundidade do canal	44,000000	44,000000	0	0,00%
Extensão de cais	5,329891	5,329891	0	0,00%
Área de armazenagem	1,931509	1,931509	0	0,00%
Movimentação geral	1,113063	11,718150	10,605088	952,78%
Forno (RJ)	18,306116			
Profundidade do canal	48,000000	46,928540	-1,071460	-2,23%
Extensão de cais	2,277731	2,644774	0,367043	16,11%
Área de armazenagem	0,939932	1,277306	0,337374	35,89%
Movimentação geral	0,547325	10,019394	9,472069	999,90%
Fortaleza ou Mucuripe (CE)	3,928560			
Profundidade do canal	44,000000	45,000575	1,000575	2,27%
Extensão de cais	10,750892	9,821734	-0,929158	-8,64%
Área de armazenagem	13,556559	12,425175	-1,131384	-8,35%
Movimentação geral	5,871666	23,067192	17,195527	292,86%
Ilhéus (BA)	5,037680			
Profundidade do canal	40,000000	40,180482	0,180482	0,45%
Extensão de cais	4,517501	4,348793	-0,168708	-3,73%
Área de armazenagem	1,948035	1,748575	-0,199460	-10,24%
Movimentação geral	1,188137	5,985453	4,797316	403,77%
Imbituba (SC)	14,729624			
Profundidade do canal	38,000000	46,163080	8,163080	21,48%
Extensão de cais	19,512565	9,716870	-9,795695	-50,20%
Área de armazenagem	11,450543	11,450543	0	0,00%
Movimentação geral	1,620213	23,865125	22,244912	999,90%

Continuação da tabela 7.9

Porto Variáveis	Valor ponderado	Projeção	Folga	%
Itaguaí ou Sepetiba (RJ)	1,200994			
Profundidade do canal	88,000000	89,285654	1,285654	1,46%
Extensão de cais	15,640422	18,982072	3,341650	21,37%
Área de armazenagem	48,391012	8,546243	-39,844768	-82,34%
Movimentação geral	70,151464	84,251501	14,100037	20,10%
Itajaí (SC)	1,601688			
Profundidade do canal	44,000000	45,293177	1,293177	3,39%
Extensão de cais	7,820211	7,820211	0	0,00%
Área de armazenagem	15,877055	9,411170	-6,465885	-51,30%
Movimentação geral	11,984196	19,194941	7,210745	94,63%
Itaqui (MA)	1,000000			
Profundidade do canal	92,000000	92,000000	0	0,00%
Extensão de cais	20,028851	20,028851	0	0,00%
Área de armazenagem	9,011987	9,011987	0	0,00%
Movimentação geral	89,007752	89,007752	0	0,00%
Maceió (AL)	3,140805			
Profundidade do canal	42,000000	45,364891	3,364891	8,01%
Extensão de cais	10,773669	6,735800	-4,037869	-37,48%
Área de armazenagem	4,513740	4,513740	0	0,00%
Movimentação geral	5,157704	16,199343	11,041639	214,08%
Manaus (AM)	1,669635			
Profundidade do canal	52,000000	53,302032	1,302032	2,50%
Extensão de cais	9,948599	8,386161	-1,562439	-15,71%
Área de armazenagem	3,754467	3,754467	0	0,00%
Movimentação geral	16,269533	27,164178	10,894645	66,96%
Natal (RN)	1,000000			
Profundidade do canal	40,000000	39,999977	0	0,00%
Extensão de cais	4,099916	4,099916	0	0,00%
Área de armazenagem	1,239471	1,239494	0,000023	0,00%
Movimentação geral	5,242985	5,242985	0	0,00%
Paranaguá (PR)	1,184518			
Profundidade do canal	48,000000	63,101292	15,101292	27,94%
Extensão de cais	23,187305	13,752763	-9,434542	-37,48%
Área de armazenagem	47,306475	11,110606	-36,195869	-77,04%
Movimentação geral	40,913527	48,462794	7,549267	30,21%
Recife (PE)	11,368109			
Profundidade do canal	42,000000	53,339413	11,339413	27,00%
Extensão de cais	23,232860	9,625565	-13,607295	-58,57%
Área de armazenagem	6,819208	6,819208	0	0,00%
Movimentação geral	2,646635	30,087237	27,440602	999,90%
Rio Grande (RS)	2,757462			
Profundidade canal	52,000000	90,720401	38,720401	74,46%
Extensão de cais	44,400577	19,750953	-24,649624	-55,52%
Área de armazenagem	100,000000	9,104761	-90,895239	-90,90%
Movimentação geral	31,627950	87,212854	55,584904	175,75%

Continuação da tabela 7.9

Porto	Valor			
Variáveis	ponderado	Projeção	Folga	%
Rio de Janeiro (RJ)	4,327759			
Profundidade do canal	68,000000	79,629097	11,629097	17,10%
Extensão de cais	65,560702	42,513291	-23,047411	-35,15%
Área de armazenagem	25,852988	33,430067	7,577079	29,31%
Movimentação geral	21,280830	92,098298	70,817468	332,78%
Salvador (BA)	12,348974			
Profundidade do canal	72,000000	75,566373	3,566373	4,95%
Extensão de cais	20,727356	16,447708	-4,279647	-20,65%
Área de armazenagem	10,175024	10,175024	0	0,00%
Movimentação geral	5,338350	65,923147	60,584797	999,90%
Santos (SP)	1,000000			
Profundidade do canal	48,000000	48,000000	0	0,00%
Extensão de cais	100,000000	100,000000	0	0,00%
Área de armazenagem	95,860580	95,860580	0	0,00%
Movimentação geral	100,000000	100,000000	0	0,00%
São Francisco do Sul (SC)	1,000000			
Profundidade do canal	44,000000	44,000034	0	0,00%
Extensão de cais	9,604434	9,604434	0	0,00%
Área de armazenagem	12,497999	12,497829	-0,000169	0,00%
Movimentação geral	21,662968	21,662968	0	0,00%
São Sebastião (SP)	1,188520			
Profundidade do canal	100,000000	82,889009	-17,110991	-17,11%
Extensão de cais	9,619619	16,514862	6,895244	71,68%
Área de armazenagem	4,128006	7,448510	3,320504	80,44%
Movimentação geral	61,455571	73,041190	11,585619	18,85%
SuaPE (PE)	8,330536			
Profundidade do canal	66,000000	67,390202	1,390202	2,11%
Extensão de cais	15,173487	13,505245	-1,668242	-10,99%
Área de armazenagem	7,862016	7,862016	0	0,00%
Movimentação geral	6,209873	51,731574	45,521701	733,05%
Vitória (ES)	6,667569			
Profundidade do canal	42,400000	80,888196	38,488196	90,77%
Extensão de cais	42,654316	17,615641	-25,038675	-58,70%
Área de armazenagem	97,931994	9,818827	-88,113167	-89,97%
Movimentação geral	11,011225	73,418110	62,406885	566,76%

Interpretando os resultados apresentados na Tabela 7.9, pode-se dizer, por exemplo, que, para o porto de Angra dos Reis:

- A *Profundidade do Canal* é de 48% da maior profundidade encontrada entre os portos, mas deveria trabalhar com 51,46% da profundidade máxima, ou seja, deve “aumentar” a profundidade de seu canal em 7,21%, sendo essa a folga residual.

- A *Extensão de Cais* é de 13,80% da máxima extensão de cais encontrada entre os portos, mas poderia trabalhar com 9,64%, indicando que existe uma folga de 30,10% em sua extensão de cais, ou seja, esse não está sendo totalmente aproveitado.

- A *Área de Armazenagem* é de 8,02% da máxima área de armazenagem encontrada entre os portos e não possui folga, indicando total aproveitamento.

Como o modelo utilizado é orientado para produto, verifica-se se, de acordo com as quantidades de insumos disponíveis nos portos analisados, nesse caso: “*Profundidade do Canal*”, “*Extensão de Cais*” e “*Área de Armazenagem*”, é possível aumentar a quantidade de carga movimentada, ou se esse porto já trabalha de forma eficiente, ou seja, aproveitando ao máximo seus recursos disponíveis. Assim, ainda para o porto de Angra dos Reis:

- A *Movimentação Geral* é de 16,53% da quantidade máxima movimentada entre os portos analisados, mas poderia trabalhar com 28,45%, ou seja, “aumentar” em 72,11% a quantidade de carga movimentada, de acordo com os recursos disponíveis.

Para os demais portos, verificou-se que em relação ao produto “*Movimentação Geral*”, que se refere a soma de granéis sólidos e líquidos, carga geral e contêineres, a análise indica que para os portos de Areia Branca (RN), Itaqui (MA), Natal (RN), Santos (SP) e São Francisco do Sul (SC), não existem folgas, pois, como já mencionado anteriormente, esses portos são aqueles considerados eficientes. O porto de Belém (PA) necessita aumentar a sua movimentação de cargas em apenas 1,62% para atingir a fronteira de eficiência, assim como 18,45% para o porto de Paranaguá (PR) e 18,85% para o porto de São Sebastião (SP). Esses portos se mostraram eficientes antes das restrições atribuídas aos pesos dos insumos. Os demais portos ineficientes possuem condições de aumentar a sua movimentação de cargas, onde esse aumento pode chegar a 999,90% nos portos de Forno (RJ), Imbituba (CS), Recife (PE) e Salvador (BA), indicando grande potencial de crescimento em movimentação de cargas. As proporções de incremento na movimentação de cargas para os demais portos podem ser visualizadas na Tabela 7.9.

A mesma análise foi realizada para o ano de 2005. As folgas nas variáveis insumos se mantiveram iguais às de 2004, pois as quantidades nos insumos não se modificaram. Já as folgas existentes no produto “*Movimentação Geral*” podem ser visualizadas na Tabela 7.10.

Tabela 7.10 - Folga Proporcional para o Produto “Movimentação Geral” para o ano de 2005.

Estado	Porto	Valor ponderado	Projeção	Folga	%
	Variáveis				
RJ	Angra dos Reis	1,8848			
	Movimentação geral	14,7074	27,7203	13,0129	88,48%
PR	Antonina	8,6015			
	Movimentação geral	0,9412	8,0956	7,1544	760,15%
BA	Aratu	1,7478			
	Movimentação geral	29,8146	52,1090	22,2945	74,78%
RN	Areia Branca	1,0000			
	Movimentação geral	4,7904	4,7904	0	0,00%
ES	Barra do Riacho	3,8224			
	Movimentação geral	5,4603	20,8716	15,4113	282,24%
PA	Belém	1,0498			
	Movimentação geral	22,0429	23,1399	1,0969	4,98%
PB	Cabedelo	12,7489			
	Movimentação geral	0,8408	10,7191	9,8783	999,90%
RJ	Forno	16,7716			
	Movimentação geral	0,5963	10,0013	9,4050	999,90%
CE	Fortaleza ou Mucuripe	3,9917			
	Movimentação geral	5,5015	21,9604	16,4589	299,17%
BA	Ilhéus	4,6860			
	Movimentação geral	1,0239	4,7982	3,7743	368,60%
SC	Imbituba	13,0501			
	Movimentação geral	1,7492	22,8273	21,0781	999,90%
RJ	Itaguaí ou Sepetiba	1,1764			
	Movimentação geral	72,5584	85,3591	12,8006	17,64%
SC	Itajaí	1,5070			
	Movimentação geral	12,1917	18,3729	6,1812	50,70%
MA	Itaqui	1,0000			
	Movimentação geral	90,1875	90,1875	0	0,00%
AL	Maceió	3,1947			
	Movimentação geral	4,7643	15,2204	10,4561	219,47%
AM	Manaus	1,8485			
	Movimentação geral	14,3761	26,5740	12,1978	84,85%
RN	Natal	1,0001			
	Movimentação geral	4,0542	4,0547	0,0005	0,01%
PR	Paranaguá	1,3692			
	Movimentação geral	35,2294	48,2366	13,0072	36,92%
PE	Recife	11,5485			
	Movimentação geral	2,5506	29,4560	26,9054	999,90%
RS	Rio Grande	3,6946			
	Movimentação geral	23,9077	88,3303	64,4226	269,46%
RJ	Rio de Janeiro	4,5739			
	Movimentação geral	20,3208	92,9463	72,6255	357,39%
BA	Salvador	13,2294			
	Movimentação geral	5,0119	66,3038	61,2920	999,90%

Continuação da tabela 7.10

Estado	Porto	Valor ponderado	Projeção	Folga	%
SP	Santos	1,0000			
	Movimentação geral	100,0000	100,0000	0	0,00%
SC	São Francisco do Sul	1,0000			
	Movimentação geral	20,5075	20,5075	0	0,00%
SP	São Sebastião	1,4769			
	Movimentação geral	50,0920	73,9788	23,8867	47,69%
PE	Suape	7,9717			
	Movimentação geral	6,4923	51,7551	45,2628	697,17%
ES	Vitória	6,9847			
	Movimentação geral	10,6027	74,0573	63,4545	598,47%

Analisando a Tabela 7.10, para o porto de Angra dos Reis (RJ), por exemplo, em relação a “*Movimentação Geral*”, o porto trabalhou com 14,70% da quantidade máxima movimentada entre os portos analisados e poderia trabalhar com 27,72%, ou seja, aumentar em 88,48% a quantidade de carga movimentada.

Os portos de Areia Branca (RN), Itaquí (MA), Santos (SP) e São Francisco do Sul (SC), não possuem folga. O porto de Natal (RN) apresentou uma folga de 0,01%, podendo ser considerado eficiente assim como os mencionados anteriormente. O porto de Belém (PA) deve aumentar em 4,98% sua “*Movimentação Geral*”. Os portos de Itaguaí (RJ), Paranaguá (PR) e São Sebastião (SP) devem sofrer aumentos de 17,64%, 36,92% e 47,69%, respectivamente, nas suas movimentações. Já os portos de Angra dos Reis (RJ), Aratu (BA) e Manaus (AM), para se tornarem eficientes, devem movimentar a mais, 88,48%, 74,78% e 84,85%, respectivamente. Os demais portos possuem capacidade para aumentarem sua produção em mais de 100%, chegando à quase 1.000% para os portos de Cabedelo (PB), Forno (RJ), Imbituba (SC), Recife (PE) e Salvador (BA).

Ainda é possível verificar se os portos analisados estão trabalhando em regiões de retornos à escala constantes, crescentes ou decrescentes. Essa informação é dada na Tabela 7.11.

Tabela 7.11 – Retornos de Escala para os portos analisados nos anos de 2004 e 2005.

Estado	Porto	Retornos à Escala	
		2004	2005
RJ	Angra dos Reis	Crescente	Crescente
PR	Antonina	Crescente	Crescente
BA	Aratu	Crescente	Crescente
RN	Areia Branca	Crescente	Crescente

Continuação da tabela 7.11

Estado	Porto	Retornos à Escala	
		2004	2005
ES	Barra do Riacho	Crescente	Crescente
PA	Belém	Crescente	Crescente
PB	Cabedelo	Crescente	Crescente
RJ	Forno	Crescente	Crescente
CE	Fortaleza ou Mucuripe	Crescente	Crescente
BA	Ilhéus	Crescente	Crescente
SC	Imbituba	Crescente	Crescente
RJ	Itaguaí	Crescente	Crescente
SC	Itajaí	Crescente	Crescente
MA	Itaqui	Constante	Constante
AL	Maceió	Crescente	Crescente
AM	Manaus	Crescente	Crescente
RN	Natal	Crescente	Crescente
PR	Paranaguá	Crescente	Crescente
PE	Recife	Crescente	Crescente
RS	Rio Grande	Crescente	Crescente
RJ	Rio de Janeiro	Decrescente	Decrescente
BA	Salvador	Crescente	Crescente
SP	Santos	Decrescente	Decrescente
SC	São Francisco do Sul	Crescente	Crescente
SP	São Sebastião	Crescente	Crescente
PE	Suape	Crescente	Crescente
ES	Vitória	Crescente	Crescente

De acordo com a tabela 7.11, o porto de Itaqui (MA) se encontra em região de retornos constantes à escala, indicando que deve manter seu porte para continuar na fronteira de eficiência. Cabe lembrar que, região de retornos constantes, indica que produção (“*Movimentação Geral*”) aumenta exatamente na mesma proporção do aumento dos insumos (“*Profundidade do Canal*”, “*Extensão de Cais*” e “*Área de Armazenagem*”), analisadas neste estudo.

Os portos do Rio de Janeiro (RJ) e Santos (SP) se encontram em regiões de retornos decrescentes à escala “sugerindo que esses devem diminuir” de porte para alcançarem ou se manterem na fronteira de eficiência. Ou seja, regiões de retornos decrescentes indicam que o aumento da produção (“*Movimentação Geral*”) é proporcionalmente menor do que o aumento nas quantidades de insumos (“*Profundidade do Canal*”, “*Extensão de Cais*” e “*Área de Armazenagem*”).

Os demais portos estão em regiões de retornos crescentes à escala apontando para o aumento de porte. Regiões de escalas crescentes indicam que a produção (“*Movimentação*”) aumenta mais rapidamente do que os insumos.

Geral) aumenta mais que proporcionalmente ao aumento das quantidades de insumos (“*Profundidade do Canal*”, “*Extensão de Cais*” e “*Área de Armazenagem*”).

Resumindo, dos 27 portos analisados através deste estudo, cinco portos se mostraram eficientes, servindo de referência para os demais. No capítulo a seguir, faz-se a caracterização desses portos eficientes.

8. CARACTERIZAÇÃO DOS PORTOS EFICIENTES

A análise dos portos brasileiros para verificar sua eficiência através da técnica Análise Envoltória de dados relacionou cinco portos eficientes para os anos de 2004 e 2005. A seguir serão destacadas características importantes desses portos como forma de entender suas posições superiores no *ranking* de desempenho operacional. Essas informações foram retiradas do “*Anuário Estatístico Portuário – 2004 e 2005*” da ANTAQ (Agência Nacional de Transporte Aquaviário), “*Anuário - Portos e Navios – 2005/2006*” e os “*sites*” “Portos” (acesso às *Companhias de Docas do Brasil*), “*Portos e Navios*” e “*Aviso aos Navegantes*”.

- *Porto de Areia Branca* – Estruturado em alto mar, é uma ilha artificial, distante 14 milhas náuticas a nordeste da cidade de Areia Branca, a 28 milhas a noroeste da cidade de Macau e cerca de 8 milhas em linha da costa do Rio Grande do Norte. O Porto Ilha é retangular, medindo 92 metros de largura e 166 metros de comprimento. Foi aterrado com material coralíneo tirado da região e coberto com um piso de sal para garantir a pureza do produto armazenado. Inicialmente foi administrado pela empresa Termisa – Terminais Salineiros do Rio Grande do Norte S.A.. Foi inaugurado em setembro de 1974. Em janeiro de 1978, a empresa foi transformada, em Companhia Docas do Rio Grande do Norte. A sua construção resultou da necessidade de suprir demanda de sal marinho no mercado interno brasileiro. Está localizado estrategicamente próximo aos maiores produtores de sal brasileiro, sendo responsável pelo embarque do sal produzido nas salinas de Macau, Galinhos, Grossos, Mossoró e Areia Branca, destinado ao abastecimento do mercado nacional, especificamente a indústria química. A transferência do sal das salinas para o Porto-Ilha é realizada através de barcaças. A retirada do sal das barcaças é feita através de equipamentos mecanizados.

Possui características particulares, pois também é considerado em alguns estudos como terminal. Apesar de ter sido projetado para atender às necessidades de um único produto, existem projetos de expansão para poder movimentar outros tipos de cargas. Como visto no capítulo 7, serve de referência para 9 portos, ou seja, para si mesmo e mais 8 portos ineficientes.

De acordo com a ANTAQ é um porto administrado por empresa vinculada ao ministério dos transportes, de forma que apesar de movimentar um único produto, foi incluído

como os demais portos com esse tipo de administração. Observa-se que por ser um porto projetado, a “*Profundidade do Canal*”, “*Extensão de Cais*” e “*Área de Armazenagem*” relacionada com a “*Movimentação Geral*” é utilizada na sua totalidade.

- *Porto de Itaqui* – Localiza-se na baía de São Marcos, em São Luís (MA), 9 km a sudeste da cidade. As obras em Itaqui tiveram início em 1960. Em dezembro de 1973, foi criada a Companhia Docas do Maranhão - Codomar, para administrar as novas instalações. Em novembro de 2000, foi criada a Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP, empresa estatal, para administrar e explorar esse porto. A área de influência abrange os estados do Maranhão e Tocantins, sudoeste do Pará, norte de Goiás e nordeste de Mato Grosso. O porto possui silos e tanques para depósito de combustível. O Píer Petroleiro é a mais nova área do porto. Possui ainda dois Terminais Privativos: Ponta da Madeira, situado a leste da baía de São Marcos, especializado na exportação de minério de ferro (embora também movimente grãos) e o da ALUMAR (Alumínio do Maranhão), localizado no Estreito dos Coqueiros. As cargas movimentadas pelo porto são fertilizantes, malte, minério de ferro e de manganês, alumínio, ferro gusa, soja, alumínio, petróleo e seus derivados, soda cáustica, carvão/coque, alumina e bauxita.

Possui posição privilegiada, pois está próximo de mercados internacionais, tem boa logística multimodal e, também, grande profundidade de canal, o que permite receber navios maiores. Têm investido em recursos humanos, equipamentos, infra-estrutura e tecnologia para atender um mercado em ascensão. Suas práticas de eficiência servem de referência para outros 20 portos brasileiros.

- *Porto de Natal* – está localizado na cidade de Natal (RN), à margem direita do rio Potengi, distante 3 km da sua foz. Esse rio atua mais como um braço de mar. É o porto mais próximo da Europa. É uma região naturalmente abrigada, não apresentando problemas com ondas. Começou a operar em 1932, sendo administrado nessa época pela União. A partir de 1983 a administração do porto passou a integrar a Companhia Docas do Estado do Rio Grande do Norte (Codern). A área de influência inclui todo o estado do Rio Grande do Norte, especialmente os municípios de Mossoró, Pau dos Ferros, Areia Branca, Macau e Ceará-Mirim, além dos estados da Paraíba, Pernambuco e Ceará. As principais cargas movimentadas são: açúcar, camarão, algodão, maquinários, trigo, caixeira, derivados de petróleo e destacando-se no embarque de frutas. O terminal de Dunas, especializado exclusivamente na movimentação de combustíveis, localiza-se na área do porto organizado, privativo da

Petrobrás. Tem condições de fornecer combustível para as embarcações. O porto possui áreas arrendadas para o Grande Moinho Potiguar e Indústria de Massas Ltda, conjunto especializado em moagem; possui silos para recepção e armazenagem de trigo. A Lauritzencool do Brasil Ltda. é outra arrendatária que movimentava frutas.

Cabe destacar que esse porto está localizado em águas tranquilas com uma excelente posição geográfica, ou seja, próximo aos portos europeus e é especializado em transporte de frutas. Serve como referência para 10 portos.

- *Porto de Santos* – Foi inaugurado em 1892, passando a administração para a Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP) em 1980. Está localizado no centro do litoral do estado de São Paulo, estendendo-se ao longo de um estuário limitado pelas ilhas de São Vicente e de Santo Amaro, distando 2 km do oceano Atlântico, com área de influência compreendendo o estado de São Paulo e grande parte do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais e Paraná. Estão instalados em torno de 44 terminais, entre eles estão terminais de grãos sólidos, líquidos e de carga geral, terminais de contêineres e de veículos. As principais cargas movimentadas são: sucos cítricos, farelo de polpa cítrica, produtos químicos, chapas de aço, carvão, minério de ferro e produto siderúrgico, contêineres, adubos, enxofre, soja em grãos, soja pelotizada, açúcar, café, álcool, trigo, sal, GLP (gás liquefeito de petróleo) e óleo diesel.

Esse porto, apesar de eficiente, serve como referência somente para o porto de Rio de Janeiro. É considerado o maior porto da América Latina. Nas últimas décadas, o porto registrou grandes ampliações, melhoramentos e modernização, com o funcionamento de diversos terminais privativos, terminais especializados em contêineres, de fertilizantes e de grãos líquidos. Investiu em novas ligações ferroviárias e reaparelhamento. É o único porto brasileiro a possuir uma hidrelétrica que gera energia para seu próprio consumo e dos navios atracados, sendo o excedente comercializado com a Eletropaulo.

- *Porto de São Francisco do Sul* – Foi implantado em 1941, passando a movimentar cargas em 1955. Está situado à margem direita da Babitonga (que é um braço do mar de águas tranquilas e abrigadas), no lado oeste da ilha oceânica de São Francisco, litoral norte do Estado de Santa Catarina, próximo aos principais Parques Industriais de Santa Catarina e no centro do Mercosul. É administrado pelo governo do estado de Santa Catarina, por meio da Administração do Porto de São Francisco do Sul (APSFS). A área de influência é definida pelo estado de Santa Catarina e parte do estado do Rio Grande do Sul. As principais cargas

movimentadas são: produtos eletro-eletrônicos, equipamentos, carnes, frango congelado, trigo, farelo e óleo de soja, fumo, suco, arroz, milho, pele e couro, artigos têxteis, móveis, revestimentos, peças para veículos, móveis, cerâmicas, petróleo cru, fertilizantes, polipropileno/polietileno, resina, amianto, artigos de ferro, aço e papel.

Esse porto destaca-se por estar integrado com a cidade e com a região norte catarinense, movimentando cargas de toda a região sul do país, sendo especializado em grãos. É reconhecido pelo dinamismo e agilidade nas operações. Seus procedimentos são exemplos de boas práticas para 16 portos.

A partir da caracterização dos portos que se mostraram eficientes é possível se destacar as principais conclusões desse estudo, apresentadas no próximo capítulo.

9. CONCLUSÕES

A partir da técnica Análise Envoltória de Dados foi possível a construção de um escore de eficiência capaz de verificar o desempenho operacional em portos brasileiros. Esse escore de eficiência, representado neste estudo por um produto – “*Movimentação Geral*” (soma de granéis sólidos, líquidos, carga geral e contêineres (em toneladas)) e três insumos: “*Profundidade do Canal*”, “*Extensão de Cais*” e “*Área de Armazenagem*”, aponta os portos brasileiros que se encontram na fronteira de eficiência. Esses portos são: Areia Branca (RN), Itaqui (MA), Natal (RN), Santos (SP) e São Francisco do Sul (SC). Os portos eficientes podem servir de referência para aqueles menos eficientes.

Analisando a folga proporcional em relação ao produto, observa-se que 51,9% dos portos investigados podem aumentar a quantidade de carga movimentada em pelo menos 200%, chegando o aumento em 1000% em cinco destes portos (Cabedelo (PB), Forno (RJ), Imbituba (SC), Recife (PE) e Salvador (BA)). Um porto mais próximo da fronteira de eficiência é o porto de Belém (PA), com indicativo de aumento de movimentação em menos de 5%.

Resumindo, os portos considerados ineficientes, através da análise desenvolvida, possuem folgas em relação às variáveis “*Profundidade do Canal*”, “*Extensão de Cais*” e “*Área de Armazenagem*”, indicando condições de captarem mais cargas. Cabe ressaltar que a captação de cargas está relacionada com a posição geográfica, com o escoamento de safras das regiões onde os portos estão inseridos e com a utilização de novos e melhores equipamentos.

Os portos que foram delegados para estados ou municípios se mostraram em melhor posição no ranking de eficiência, com exceção do porto de Cabedelo, sendo que dois portos: São Francisco do Sul (SC) e Itaqui (MA) foram classificados como eficientes.

Verificou-se que uma das tendências portuárias, que é de um porto servir para o desenvolvimento local e/ou regional foi percebida no porto de São Francisco do Sul (SC).

Observou-se que entre os cinco portos que se mostraram eficientes, com exceção do porto de Areia Branca (RN) que movimenta somente sal, os portos de São Francisco do Sul (SC), Natal (RN), Santos (SP) e Itaqui (MA), transportam carga geral, granéis sólidos, granéis líquidos e contêineres.

A eficiência média baixa indica a existência de outros insumos importantes na movimentação de cargas que não foram analisados como, por exemplo, número de navios, tempo de permanência destes no porto, dinamismo, agilidade nas operações, que são habilidades importantes para que o porto capte mais cargas. Esses insumos não foram avaliados nesse estudo porque não foram encontrados dados suficientes para os portos analisados.

Os gráficos de dispersão desenvolvidos (insumo x produto) indicam duas características:

- a) Possibilidade de portos com características diferentes, o que pode ter influenciado na relação de portos eficientes, sugerindo uma análise por tipo de produto (carga geral, granéis sólidos, líquidos e contêineres). Neste trabalho não foi possível separar as unidades portuárias por tipo de produto por se reduzir muito o conjunto de unidades a serem avaliadas, impossibilitando o uso dessa técnica.
- b) Portos de portes diferenciados: grande e médio porte. Não foi possível esta divisão devido à falta de informação oficial do insumo área portuária.

O Governo Federal em 22 de janeiro de 2007 lançou o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, através do decreto nº 6.025, de 22.1.2007, cujas medidas visam a contribuir para a melhoria da infra-estrutura logística de todo o país, otimizando a distribuição e o transporte de mercadorias interna e externamente. Os principais investimentos na área portuária são: a construção de Terminais Hidroviários; a ampliação do Porto de Vila do Conde; a recuperação, ampliação, dragagem e construção de berços bem como a duplicação do acesso rodoviário ao porto de Itaquí e porto de Pecém; melhorias no Porto de Areia Branca; construção de novo acesso rodo-ferroviário ao porto de Suape; dragagem e construção da via expressa portuária ao porto de Salvador; derrocagem na hidrovía do rio São Francisco e porto de Santos; acesso ferroviário ao porto de Juazeiro; construção de avenidas perimetrais, dragagem de aprofundamento no canal de acesso, bacia de evolução e no cais do Porto de Santos; contenção do cais do porto de Vitória; ampliação dos molhes e dragagem de aprofundamento do porto de Rio Grande; construção e recuperação de berços do porto de Paranaguá; construção e recuperação de berços do porto de São Francisco do Sul; construção da via expressa portuária do porto de Itajaí; além de um programa de dragagem nos portos brasileiros (AENOR, 2007). O índice de eficiência proposto pode servir de subsídios para a tomada de decisão quanto à prioridade de investimentos, verificando quais portos se encontram em posição inferior no *ranking* de eficiência e que possuem papel importante na movimentação.

9.1 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Para estudos futuros, sugere-se:

- A elaboração de outros índices de eficiência a partir de variáveis não avaliadas aqui e que possam descrever a região onde o porto está inserido como, por exemplo, área ocupada pelo porto, número de terminais na área do porto, número de navios que aportam, tipo de navegação (longo curso, cabotagem), etc;

- Ampliar o número de portos, tornando seu universo mais representativo;

Um processo de avaliação de eficiência deve ser contínuo, ou seja, aplicado com regularidade com objetivo de aprimoramento. Portanto trabalhos futuros poderão dar continuidade a este, de forma a verificar se os investimentos na infra-estrutura e logística portuária estão levando os portos brasileiros a melhores índices de eficiência.

- Este trabalho é pioneiro para o uso da técnica DEA e seria de grande interesse o surgimento de novos estudos utilizando óticas diferentes, que possam contribuir para as decisões tomadas nas comunidades portuárias.

10. ANEXOS

ANEXO A

MAPA DOS PORTOS BRASILEIROS



Figura 9.1 Mapa de Localização dos Portos Principais Brasileiros

FONTE: ANTAQ (2005)

ANEXO B

SISTEMA BRASILEIRO DE PORTOS - ABRANGÊNCIA DO SISTEMA PORTUÁRIO -
FONTE: ANTAQ (2005)

PORTOS SOB REGIME DE CONCESSÃO A GOVERNOS ESTADUAIS

PORTO DE SÃO SEBASTIÃO - Concessão ao Governo do Estado de São Paulo.
O Porto é administrado pela DERSA - Desenvolvimento Rodoviário S.A., empresa ligada a Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo.

PORTO DE SÃO FRANCISCO DO SUL - Concessão ao governo do Estado de Santa Catarina.
O porto é administrado pela autarquia estadual Administração do Porto de São Francisco do Sul (APSFS).

PORTOS SOB O REGIME DE CONCESSÃO A ENTIDADES PRIVADAS

PORTO DE PANORAMA - Concessão ao consórcio denominado Ferrovias Bandeirantes S.A.

PORTO DE PRESIDENTE EPITÁCIO - Concessão ao consórcio denominado Ferrovias Bandeirantes S.A.

PORTO DE IMBITUBA - O Porto é administrado pela Companhia Docas de Imbituba (CDI).

PORTOS SOB O REGIME DE DELEGAÇÃO A GOVERNOS ESTADUAIS E MUNICIPAIS

PORTO DE MACAPÁ - Delegação à Prefeitura Municipal de Santana.
O porto é administrado pela Companhia Docas de Santana (CDSA).

PORTO DE PORTO VELHO - Delegação ao Governo do Estado de Rondônia
O porto é administrado pela Sociedade de Portos e Hidrovias do Estado de Rondônia (SOPH).

PORTO DE MANAUS - Delegação ao Governo do Estado do Amazonas
O porto é administrado pela Sociedade de Navegação, Portos e Hidrovias do Estado do Amazonas (SNPH).

PORTO DO ITAQUI - Delegação ao Governo do Estado do Maranhão
O porto é administrado pela Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP)

PORTO DE CABEDELO - Delegação ao Governo do Estado da Paraíba
O porto é administrado pela Companhia Docas da Paraíba

PORTO DO RECIFE - Delegação ao Governo do Estado de Pernambuco
O porto é administrado pela Sociedade de Economia Mista Porto do Recife S.A.

PORTO DE FORNO - Delegação à Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo – RJ.
O porto é administrado pela Companhia Municipal de Administração Portuária (COMAP).

PORTOS DE PARANAGUÁ - Delegação ao Governo do Estado do Paraná
O Porto é administrado pela autarquia estadual Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA).

PORTOS DE ANTONINA - Delegação ao Governo do Estado do Paraná
O Porto é administrado pela autarquia estadual Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA).

PORTO DE ITAJAÍ - Delegação à Prefeitura Municipal de Itajaí
O porto é administrado pela autarquia municipal Superintendência do Porto de Itajaí

PORTO DE PORTO ALEGRE - Delegação ao Governo do Estado do Rio Grande do Sul. O porto é administrado pela Superintendência de Portos e Hidrovias do Rio Grande do Sul (SPH).

PORTO DE PELOTAS - Delegação ao Governo do Estado do Rio Grande do Sul. O porto é administrado pela Superintendência de Portos e Hidrovias do Rio Grande do Sul (SPH).

PORTO DO RIO GRANDE - Delegação ao Governo do Estado do Rio Grande do Sul
O porto é administrado pela Superintendência do Porto de Rio Grande.

PORTO DE CÁCERES - Delegação ao governo do Estado do Mato Grosso.

PORTO FLUVIAL DE CORUMBÁ / LADÁRIO - Delegação à Prefeitura Municipal de Corumbá (MS).

PORTO SOB O REGIME DE AUTORIZAÇÃO A GOVERNO ESTADUAL

PORTO DE SUAPE - Autorização ao Governo do Estado de Pernambuco
O porto é administrado pela empresa Suape – Complexo Industrial Portuário

PORTOS ADMINISTRADOS POR EMPRESAS VINCULADAS AO MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

PORTO DE BELÉM - Administrado pela Companhia Docas do Pará (CDP).

PORTO DE SANTARÉM - Administrado pela Cia. Docas do Pará (CDP).

PORTO DE VILA DO CONDE - Administrado pela Cia. Docas do Pará (CDP).

PORTO DE FORTALEZA - Administrado pela Companhia Docas do Ceará (CDC).

PORTO DE AREIA BRANCA - Administrado pela Cia. Docas do Rio Grande do Norte (CODERN).

PORTO DE NATAL - Administrado pela Companhia Docas do Rio Grande do Norte – CODERN

PORTO DE MACEIÓ - Administrado pela Companhia Docas do Rio Grande do Norte (CODERN).

PORTO DE SALVADOR - Administrado pela Companhia Docas do Estado da Bahia (CODEBA)

PORTO DE ARATU - Administrado pela Companhia das Docas do Estado da Bahia (CODEBA)

PORTO DE ILHÉUS - Administrado pela Companhia das Docas do Estado da Bahia (CODEBA).

PORTO DE PIRAPORA - Administrado pela Administração da Hidrovia do São Francisco – AHSFRAN, vinculada à Companhia das Docas do Estado da Bahia (CODEBA).

PORTO DE VITÓRIA - Administrado pela Companhia Docas do Espírito Santo (CODESA).

PORTO DE NITERÓI - Administrado pela Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ).

PORTO DE RIO DE JANEIRO - Administrado pela Companhia das Docas do Rio de Janeiro (CDRJ).

PORTO DE SEPETIBA - Administrado pela Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ).

PORTO DE ANGRA DOS REIS - Vinculado à Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ).

PORTO DE SANTOS - Administrado pela Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP).

PORTO DE ESTRELA - Administrado pela Administração do Porto de Estrela, vinculada à CODESP.

PORTO DE CHARQUEADAS - Administrado pela Administração das Hidrovias do Sul – AHSUL, vinculada à CODESP.

Obs: A inclusão do Porto Barra do Riacho, operado pela PORTOCEL, deve-se ao fato ser identificado como Porto e ao mesmo tempo como Terminal.

ANEXO C

TABELA C1 – Evolução da movimentação geral de cargas nos portos organizados – soma de grânéis sólidos, líquidos e carga geral. Variável produto (tabela 2.33 ANTAQ)

PORTO	(Em t)				
	2001	2002	2003	2004	2005
SANTANA-AP	701.355	476.118	1.081.840	1.541.784	1.524.345
PORTO VELHO-RO	2.681.521	2.355.294	2.225.936	2.943.485	3.145.097
SANTARÉM-PA	278.942	246.012	900.679	1.417.580	1.858.215
MANAUS-AM	9.433.862	10.845.977	11.237.170	12.935.197	12.886.032
VILA DO OONDE-PA	11.407.674	7.946.354	10.399.895	11.487.523	11.195.400
BELÉM-PA	13.363.942	13.318.857	16.772.691	20.059.857	20.565.401
ITAQUI-MA	63.599.157	64.941.689	68.475.599	76.958.192	85.900.389
FORTALEZA-CE	3.457.155	3.999.506	3.763.302	4.092.373	4.368.916
AREIA BRANCA-RN	5.002.538	4.434.356	4.242.096	4.224.825	4.562.646
NATAL-RN	4.800.119	4.756.313	4.506.144	4.507.302	3.829.564
CABELO-PE	736.436	930.264	872.728	962.380	800.817
RECIFE-PE	2.079.001	1.529.506	2.394.505	2.226.999	2.429.381
SUAPE-PE	4.917.522	4.226.363	3.124.853	3.916.987	4.313.668
MACEIÓ-AL	3.362.474	3.655.710	3.831.402	4.385.086	4.453.393
SERGIPE-SE	2.693.501	2.886.743	2.657.452	2.770.183	2.958.106
SALVADOR-BA	1.939.383	2.334.992	2.617.111	2.953.093	3.035.822
ARATU-BA	20.587.924	21.045.670	21.850.529	26.439.889	28.397.333
ILHÉUS-BA	779.456	651.822	899.203	1.024.857	975.264
PIRAPORA-MG	59.076	77.184	72.500	98.890	153.080
REGÊNCIA-ES	1.056.470	1.356.144	1.418.115	1.077.543	947.449
B. DO RIACHO-ES	2.256.564	2.416.948	4.057.716	4.197.414	5.200.727
PRAIA MOLE-ES	18.955.574	20.232.741	19.405.101	20.099.374	17.765.493
TUBARÃO-ES	68.233.349	75.192.316	76.568.035	84.433.217	98.671.433
VITÓRIA-ES	5.575.889	6.061.804	6.135.992	7.347.912	7.578.402
PONTA UBU-ES	10.924.455	15.074.598	16.251.807	16.555.850	15.526.697
FORNO-RJ	529.249	519.947	481.307	473.230	567.976
NITERÓI-RJ	144.765	173.230	138.829	32.318	-
RIO DE JANEIRO-RJ	15.518.371	13.394.362	14.467.653	14.535.685	15.754.452
ITAGUAÍ-RJ	39.131.955	42.805.354	51.035.544	59.286.049	67.056.126
ANGRA DOS REIS-RJ	18.181.915	14.738.809	14.261.864	14.296.174	14.008.281
PANORAMA-SP	135.788	8.587	1.098.921	1.181.628	1.110.362
PRESIDENTE EPITÁCIO-SP	1.257.228	1.404.225	657.128	796.425	1.093.440
SÃO SEBASTIÃO-SP	46.937.491	52.774.256	52.050.716	53.135.930	47.710.896
SANTOS-SP	48.161.593	53.474.268	60.077.073	67.609.753	71.902.494
ANTONINA-PR	538.270	636.273	1.025.476	1.085.693	896.443
PARANAGUÁ-PR	28.262.219	27.859.879	32.499.953	31.481.189	29.273.819
S. F. DO SUL-SC	13.975.627	15.023.855	15.591.082	16.034.663	16.982.539
ITAJAÍ-SC	2.870.890	3.801.670	4.447.087	5.439.324	6.544.872
IMBITUBA-SC	1.049.023	968.005	1.172.746	1.354.606	1.471.551
CHARQUEADAS-RS	171.497	172.762	144.785	112.644	234.271
ESTRELA-RS	666.460	686.890	568.580	528.820	289.971
PORTO ALEGRE-RS	10.305.472	10.340.013	10.227.371	9.385.879	10.540.345
PELOTAS-RS	284.980	296.681	320.335	314.938	364.009
RIO GRANDE-RS	17.568.889	16.753.962	22.030.505	22.247.534	17.996.502
CÁCERES-MT	90.252	157.763	150.266	154.608	135.507
CORUMBÁ/LADÁRIO-MS	1.541.811	2.020.979	2.581.033	2.575.703	2.439.855
TOTAL	506.206.884	529.005.051	570.790.055	620.720.545	649.418.781

FONTES: Administrações Portuárias

(1) Esto incluídas as movimentações dos Portos Organizados, bem como dos Terminais de Uso Privativo localizados nas áreas de influência destas unidades portuárias.

Fonte: Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (2004)

TABELA C 2 – Evolução da movimentação de contêineres nos portos organizados. Variável produto. Unidade utilizada: Peso (t). (tabela 2.23 da ANTAQ)

PORTOS/TERMINAIS (1)	2001			2002			2003			2004			2005		
	QUANT.	TEU	PESO(t)	QUANT.	TEU	PESO(t)	QUANT.	TEU	PESO(t)	QUANT.	TEU	PESO(t)	QUANT.	TEU	PESO(t)
SANTANA-AP	289	464	2.807	107	179	1.232	382	457	6.579	136	250	1.662	112	204	1.301
PORTO VELHO-RO	19.063	19.063	257.631	3.470	3.470	42.339	301	301	3.707	24	24	85	5	5	127
SANTARÉM-PA	311	548	7.859	317	578	8.161	352	497	4.678	-	-	-	14	28	655
MANAUS-AM	61.760	102.448	677.611	77.623	128.688	1.222.940	66.944	109.230	1.188.477	64.308	106.167	1.131.823	47.190	75.030	804.727
VILA DO CONDE-PA	2	2	43	-	-	-	1.834	2.098	22.196	9.530	14.515	110.832	20.668	30.763	264.711
BELÉM-PA	28.928	48.420	419.387	32.788	52.527	446.590	29.959	46.369	551.858	38.088	55.270	536.778	30.946	47.300	429.725
FORTALEZA-CE	36.540	43.194	523.117	51.229	72.491	810.774	55.344	76.835	899.002	59.339	82.072	984.407	46.336	64.846	871.086
NATAL-RN	1.583	2.588	26.791	1.102	2.203	14.007	1.532	3.064	23.425	2.125	4.250	25.906	2.306	4.612	31.947
CABEDELO-PB	519	822	9.994	-	-	-	26	30	208	-	-	-	-	-	-
RECIFE-PE	21.584	31.251	364.783	3.610	5.512	78.807	37.151	57.138	667.596	3.311	5.828	61.344	-	-	-
SUAPE-PE	49.708	75.816	787.933	69.556	106.658	1.176.761	38.217	60.721	641.289	64.538	130.892	1.452.215	106.869	171.409	1.870.034
MACEIÓ-AL	4.173	8.078	95.534	2.674	6.657	74.928	1.695	3.359	42.002	3.565	7.130	74.366	3.813	7.622	84.428
SALVADOR-BA	68.005	106.761	1.095.476	67.454	134.664	1.392.496	107.762	169.092	1.520.764	121.966	191.834	1.662.570	131.652	206.029	1.737.793
ILHÉUS-BA	1.905	2.165	26.311	598	793	11.328	242	242	4.955	123	206	2.434	-	-	-
TUBARÃO-ES	20.784	25.262	302.615	24.609	28.413	447.096	11.952	13.863	210.217	325	444	6.076	-	-	-
VITÓRIA-ES	72.203	93.203	1.102.590	103.482	128.451	1.406.165	114.125	143.564	1.727.277	145.871	190.595	2.172.652	169.098	220.761	2.520.321
RIO DE JANEIRO-RJ	187.773	252.071	2.695.131	202.716	271.569	2.681.247	239.002	325.222	3.334.369	256.759	344.499	3.864.240	237.020	326.177	3.600.428
ITAQUAÍ-RJ	10.925	16.910	172.255	12.961	20.065	204.270	17.403	27.307	311.385	87.992	132.099	1.368.554	127.168	187.402	2.053.238
SÃO SEBASTIÃO-SP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TERMINAL CUBATÃO-SP	108.378	154.883	1.844.320	104.648	155.748	1.841.704	117.421	174.790	1.865.219	86.832	133.100	1.383.061	21.107	31.341	339.534
SANTOS-SP	605.382	892.802	9.490.694	727.509	1.068.605	11.614.482	919.950	1.385.421	14.917.761	1.160.298	1.749.539	16.852.595	1.457.321	2.236.580	23.344.005
PARANAGUÁ-PR	161.672	281.891	2.826.329	155.200	269.662	2.593.962	162.644	309.824	2.999.067	224.964	378.634	3.893.607	245.789	420.318	4.290.956
S. F. DO SUL-SC	112.633	176.222	1.644.864	160.187	258.828	2.359.483	172.571	281.057	2.494.067	186.147	305.331	2.695.648	178.111	280.915	2.550.105
ITAJÁ-SC	142.191	243.554	2.285.699	192.496	334.726	3.068.835	254.526	441.867	3.854.643	318.240	564.012	4.922.493	360.597	642.375	5.067.279
IMBITUBA-SC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.718	5.850	46.268	11.578	16.826	194.505
SANTA CLARA-RS	50	100	1.356	1.068	2.120	13.027	8.671	15.031	110.030	11.410	19.123	145.688	11.213	18.950	142.508
RIO GRANDE-RS	211.577	346.321	2.866.859	264.105	438.196	3.530.051	312.035	522.980	4.260.867	339.821	572.326	5.098.734	368.925	668.634	4.774.732

Fonte: Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ

TABELA C 3 - Variáveis insumos e produto ponderados.

Estado	Nome	Ext de Cais	Prof. Canal	Área de Armazenagem	Nº Berços	Nº Acessos	Prof. Berços	Guindastes e Empilhadeiras	Movimentação Geral 2004	Movimentação Geral 2005
RJ	Angra dos Reis	13,80305	48,00	8,19900	8,69565	60	50	1,6990291	16,534566	14,7073973
PR	Antonina	4,57065	40,00	14,86863	4,34783	50	30	0,7281553	1,255683	0,9411821
BA	Aratu	10,78126	72,00	8,41865	14,49275	50	60	3,8834951	30,579656	29,8145688
RN	Areia Branca	1,51507	44,00	0,79103	2,89855	40	35	0,7281553	4,8863177	4,7903556
PA	Belém	15,83023	40,00	17,49305	21,73913	40	50	4,8543689	23,821508	22,0429372
PB	Cabedelo	5,32989	44,00	1,97230	8,69565	40	45	2,184466	1,1130625	0,84078366
RJ	Forno	2,27773	48,00	0,95978	4,34783	40	55	0,9708738	0,5473249	0,59632218
CE	Fortaleza ou Mucuripe	10,75089	44,00	13,84283	10,14493	80	50	9,7087379	5,8716657	5,5015156
BA	Ilhéus	4,51750	40,00	1,98917	4,34783	50	50	7,2815534	1,1881368	1,02393685
SC	Imbituba	19,51257	38,00	11,69234	15,94203	40	47,5	6,3106796	1,6202128	1,74920445
RJ	Itaguaí	15,64042	88,00	49,41287	21,73913	90	45	9,223301	70,151464	72,5584297
SC	Itajaí	7,82021	44,00	16,21233	11,59420	50	60	16,990291	11,984196	12,1916828
MA	Itaqui	20,02885	92,00	9,20229	13,04348	70	100	6,5533981	89,007752	90,1874504
AL	Maceió	10,77367	42,00	4,60906	11,59420	40	50	3,6407767	5,157704	4,76429165
AM	Manaus	9,94860	52,00	3,83375	14,49275	50	90	12,621359	16,269533	14,3761284
RN	Natal	4,09992	40,00	1,26564	4,34783	40	57,5	8,0097087	5,2429851	4,05422881
PR	Paranaguá	23,18731	48,00	48,30543	30,43478	70	65	18,203883	40,913527	35,2294051
RE	Recife	23,23286	42,00	6,96321	23,18841	70	52,5	8,0097087	2,6466353	2,55062498
RJ	Rio Grande	44,40058	52,00	56,49125	31,88406	80	72,5	29,854369	31,62795	23,9076861
RJ	Rio de Janeiro	65,56070	68,00	26,39892	68,11594	80	61,5	68,203883	21,28083	20,3208309
BA	Salvador	20,72736	72,00	10,38989	15,94203	60	50	9,223301	5,3383503	5,01185351
SP	Santos	100,00000	48,00	97,88484	100,00000	100	65	100,0000000	100,0000000	100,0000000
SC	São Francisco do Sul	9,60443	44,00	12,76192	8,69565	40	55	9,223301	21,662968	20,5074666
SP	São Sebastião	9,61962	100,00	4,21518	11,59420	80	40	6,0679612	61,455571	50,0920207
PE	Suape	15,17349	66,00	8,02804	13,04348	60	77,5	5,8252427	6,209873	6,49231422
ES	Vitória	42,65432	42,40	100,00000	17,39130	60	55	16,504854	11,011225	10,6027236

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, Lecir. **Avaliação cruzada da produtividade dos departamentos acadêmicos da UFSC utilizando DEA (Data Envelopment Analysis)**, Florianópolis. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2000.

AENOR - Associação Nacional das Empresas de Obras Rodoviárias - PAC – Programa de Aceleração do Crescimento. Brasília, 23 de janeiro de 2007. Disponível em:
< <http://www.aneor.com.br>>. Acesso em: 04 de agosto de 2008.

ALI, Agha Iqbal & SEIFORD, Lawrence M. The mathematical programming approach to efficiency analysis. In FRIED, Harold O.; LOVEL, C. A. Knox; SCHMIDT, Shelton S. **The Measurement of Productive Efficiency – Techniques and Applications**. Oxford, 1993, 423 p. p120 – 159.

ALMEIDA, Mariana Rodrigues; MARIANO, Enzo Barbeiro; REBELLATO, Daisy Aparecida do Nascimento. **A Nova administração da Produção: Uma Seqüência de Procedimentos pela Eficiência**. Ensino de Administração. São Paulo, 2006. Universidade de São Paulo. Acessado em outubro de 2006.

Disponível em:

< http://www.ead.fea.usp.br/semead/9semead/resultado_semead/trabalhosPDF/442.pdf >.

Acesso em: 14 de janeiro de 2007.

ANDERSEN, Per; PETERSEN, Niels Christian. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. **Management Science**, Odense, Denmark, v. 39, n. 10, p. 1261 – 1264. October 1993.

ANUARIO ESTATÍSTICO PORTUÁRIO 2004. - ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Disponível em: < <http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em 21 de setembro de 2007.

ANUARIO ESTATÍSTICO PORTUÁRIO 2005. - ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Disponível em: < [http:// www.antaq.gov.br](http://www.antaq.gov.br)>. Acesso em: 21 de setembro de 2007.

ANUÁRIO PORTOS E NAVIOS 2005 / 2006. Publicação de Revista Portos e Navios. São Paulo, outubro de 2005.

ARCOVERDE, Flávia Dowsley; TANNURI-PIANTO, Maria Eduarda; SOUSA, Maria da Conceição Sampaio de. **Mensuração das Eficiências das Distribuidoras do Setor Energético Brasileiro Usando Fronteiras Estocásticas**. Brasília, Departamento de Economia, Brasília, 2005. Universidade de Brasília. Disponível em: <<http://www.anpec.org.br/encontro2005/artigos/A05A110.pdf>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2007.

AVISO AOS NAVEGANTES. **Centro de Hidrografia da Marinha**. ISSN0104-3102 n.02. Avisos 05 a 07. 16 a 31 de janeiro 2007. 102 p. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/avgantes/folheto>>. Acesso em: 30 de agosto de 2007.

AVISO AOS NAVEGANTES. **Centro de Hidrografia da Marinha**. ISSN0104-3102. n.08. Avisos 44 a 46. 30 abril 2005. 127 p. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/avgantes/folheto/folheto112005.pdf>>. Acesso em: 15 de agosto de 2007.

AVISO AOS NAVEGANTES. **Centro de Hidrografia da Marinha**. ISSN0104-3102. n.11. Avisos 55 a 58. 15 junho 2005. 125 p. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/avgantes/folheto>>. Acesso em: 28 de agosto de 2007.

AZAMBUJA, Ana Maria Volkmer de. **Análise de Eficiência na Gestão do Transporte Urbano por Ônibus em Municípios Brasileiros**. Florianópolis, 2002, 385 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

BADIN, Neiva Teresinha. **Análise da Produtividade de Supermercados e seu Benchmarking**. Florianópolis. Santa Catarina.1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina Programa.

BANKER, R. D.; CHARNES A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**. USA. vol. 30, n. p. 1978 – 1092, 9 september, 1984.

BARROS, Emanuel de Sousa; COSTA, Ecio de Farias; SAMPAIO, Yony. Análise de Eficiência das Empresas Agrícolas do Pólo Petrolina/Juazeiro Utilizando a Fronteira Paramétrica Translog. **Revista Econômica Social Rural**, v. 42 n. 4, Brasília, dez. 2004. p. 97 – 614. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php S0103-20032004000400004](http://www.scielo.br/scielo.php?S0103-20032004000400004) >. Acesso em: 23 de janeiro de 2007.

BAUMGARTEN, Marcelo Zepka. **Impacto da Lei Nº 8.630/93 nas Dinâmicas Portuárias e Relações Internacionais Brasileiras**, Teresina, ano 10, n. 1118, 24 jul. 2006. Disponível em: < [http:// jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=8674](http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=8674)>. Acesso em: 28 de maio de 2006.

BECKENKAMP, Margit Teresinha. **Análise Envoltória de Dados: Considerações Sobre o Estabelecimento de Restrições para os Multiplicadores Ótimos**. Florianópolis, 2002. (Mestrado em Engenharia de produção). UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

BENJAMIN, Julian; OBENG, Kofi. **The Effect of Policy and Background Variables on Total Factor Productivity for Public Transit**. **Transportation Research**, Great Britain, v. 24B, n.1, p. 1 – 24, 1990.

BERECHMMAN, J. Public **Transit Economics and Regulation Policy**. North-Holland, Amsterdam, 1993, Cap. 5, p. 111-143. Analysis of transit cost and production structure.

BOUSSOFIANE, A.; DYSON, R. G.; THANASSOULIS, E. Applied data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, n. 52, p. 1 – 15, 1991.

CHARNES, Abraham; COOPER, William; LEWIN, Arie Y.; SEIFORD, Lawrence M. **Data Envelopment Analysis, Theory, Methodology and Applications**, London: Kluwer Academic Publishers, 1996. 511 p.ISBN 0-7923-9480-1.

COELLI, T.J., RAO, D.S. Prasada e BATTESE, G.E. **A Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. 3ª edição. London: Kluwer Academic Publishers, 1997. 275 p. ISBN 0-792-8062-2.

COOPER, W.W., SEIFORD, L.M., TONE, K. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive. Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**, Academic Publishers, Boston, Kluwer, 2006.

DUBKE, Alessandra Fraga. FERREIRA, Fabio Romero Nolasco. PIZZOLATO, Nélio Domingues. **Plataformas Logísticas: Características e Tendências para o Brasil**. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de novembro de 2004. Disponível em: < <http://lattes.cnpq.br/9306576520691089> >. Acesso: 23 de julho de 2006.

FARREL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, series A, v. 120, part III, p. 253 – 281, 1957.

FIALHO, Fernando Antônio Brito. **Anuário Estatístico 2005**. Diretor-Geral da ANTAQ em 2006, Brasília, outubro de 2006. Disponível em: < <http://www.antaq.gov.br> >. Acesso em: 12 de dezembro de 2006.

FINAMORE, Eduardo Belisário M. C.; GOMES, Adriano, Provezano; DIAS, Roberto Serpa. **Desempenho Setorial da Economia Gaúcha: Uma Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) utilizando Dados de Uma Matriz de Insumo-Produto**. Texto para discussão n° 24, Passo Fundo, 2004. Universidade de Passo Fundo. Faculdade de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis, Centro de Pesquisa e Extensão da FEAC. Disponível em: < http://www.upf.br/cepeac/download/td_04_2004.pdf >. Acesso em: janeiro de 2007.

FRANCO, Francisco; FORTUNA, Mário. **O Método de Fronteira Estocástica na Medição da Eficiência dos Serviços Hospitalares: Uma Revisão Bibliográfica**. Documento de Trabalho n. 2/2003, APES - Associação Portuguesa de economia da Saúde. 33 p. Disponível em: < http://www.apes.pt/files/dts/dt_022003 >. Acessado em: janeiro de 2007.

GAVAZZI, Pio. PIVA, Horacio Lafer. **Pontos Fundamentais Para a Indústria na Área da Logística de Transporte de Carga**. Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo Departamento de Infra-estrutura. FIESP, CIESP, 2002. Disponível em < [http:// www.fiesp.com.br/download/publicacoes_infraestrutura/pontos_fundamentais.pdf](http://www.fiesp.com.br/download/publicacoes_infraestrutura/pontos_fundamentais.pdf) >. Acessado em 28 de maio de 2006.

GOMES, Alexandre Lopes; PONCHIO, Leandro Augusto. **A Função Custo no Setor do Leite: Uma Abordagem para a Região Centro-**, São Paulo, jun. 2005. Disponível em: < [http:// www.cepea.esalq.usp.br/pdf/artigo_leite_01.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/artigo_leite_01.pdf) >. Acesso em: dezembro de 2005.

GOMES, Eliane G. MANGABEIRA, João Alfredo de C.; MELLO, João Carlos C. B. Soares de. Análise de Envoltória de Dados para Avaliação de Eficiência e Caracterização de Tipologias em Agricultura: Um Estudo de Caso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Rio de Janeiro. vol. 43, nº 04, p. 607-631, 2005. Disponível em: < <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci> >. Acesso em: 25 de dezembro de 2006.

GOMES, Marília F. Maciel; ROSADO, Patrícia, Lopes; Mudança na Produtividade dos Fatores de Produção da Cafeicultura nas Principais Regiões Produtoras do Brasil; Departamento de Economia Rural, DER –UFV. RER – **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Rio de Janeiro, v. 43, n. 04, dez. 2005. p. 633 – 655.
< [http:// www.scielo.br/scielo.php?script=sci](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci) >. Acesso em: 23 de janeiro de 2007.

GREENE, William H. The econometric approach to efficiency analysis. In: FRIED, Harold O., LOVELL, C. A. Knox, SCHMIDT, Shelton S. **The Measurement of Productive Efficiency - Techniques and Applications**. Oxford, 1993, 423p. p. 68 -119.

HUSAIN, Nooreha; ABDULLAH; Mokhtar, KUMAN, Suresh. Evaluating Public Sector Efficiency with Data Envelopment Analysis (DEA): A Case Study in Road Transport Department, Selangor, Malaysia. **Total Quality Management**. Vol. 11, n. 4, 5 & 6, p. 830 – 836. 2000.

KAPPEL, Raimundo F. **Portos Brasileiros, Novo Desafio Para a Sociedade**. Pontos Fundamentais para a Indústria na Área da Logística de Transporte de Carga Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo - Departamento de Infra-estrutura – FIESP, CIESP, 2004. Disponível em:

<http://www.sbpnet.org.br/livro/57ra/programas/CONF_SIMP/textos/raimundokappel.htm>

Acesso em: 29 de maio 2006.

KUIASKI, Laís Teresinha Rosa. **Avaliação da Eficiência Relativa – Uma Abordagem Não-Paramétrica Junto ao Tribunal Regional do Trabalho no Paraná**. Porto Alegre, 2002. Dissertação (Mestrado em Administração). UNICENP. UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KUMBHAKAR, Subal C.; LOVELL, C. A, Knox. **Stochastic Frontier Analysis**. United Kingdom: Cambridge University Press. 2000. 333p.

LACERDA, Sander Magalhães. **Investimentos nos Portos Brasileiros: Oportunidades da Concessão da Infra-Estrutura Portuária**, Economista do Departamento de Transportes e Logística do BNDES, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 22, p. 297-315, set. 2005. Disponível em:

< <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set2209.pdf>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2007.

LEAL, Abinael Moraes. **Dicionário de Termos Náuticos, Marítimos e Portuários**. Editora José Olimpo. Rio de Janeiro, 1991.

LLAQUET, J. L. E. **Los Puertos Españoles y su Relación con las Ciudades: Un Análisis de su Reciente Evolución**. La Gráfica & Stampa Editrice, Portus, Vicenza, n.67, p 10 – 19, nov. 2002. Disponível em:

<http://oa.upm.es/535/01/Jose_Luis_Estrada_Llaquet.pdf>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2008.

LOPES, Ana Lúcia Miranda. **Um Modelo de Análise Envoltória de Dados e Conjuntos Difusos para Avaliação Cruzada da Produtividade e Qualidade de Departamentos Acadêmicos**. Florianópolis, 1998. 161 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

MANSFIELD, E. **Microeconomia: teoria e aplicações**. São Paulo: Campus Ltda., 2ª edição, 1980. 466p.

MANTELI, Wilen. Pronunciamento do Presidente da Associação Brasileira dos Terminais Portuários – ABTP, Seminário in “**Transportes – Entraves e Perspectivas**”, painel “**A Questão dos Portos**”, Senado Federal, Brasília, 28 de junho de 2005.

MARINHO, Alexandre. **Estudo de Eficiência em Alguns Hospitais Públicos e Privados, com a Geração de Rankings**, Texto Para Discussão n. 794. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Rio de Janeiro, maio de 2001. 17 p. ISSN 1415-4765. Disponível em:
<http://www.ipea.gov.br/pub/td/td_2001/td0794.pdf>. Acesso em: jul. 2006.

MASCARENHAS, José de Freitas. **O Futuro dos Portos no Brasil**. In Seminário Internacional. ANAIS da FIEB e CNI. 12 e 13 de agosto de 1999, Salvador-Bahia. p 10 – 154.

MELLO, João Carlos C. B. Soares de; LETA, Fabiana R; GOMES, Eliane G. e MELLO, Maria Helena C. Soares de. **Análise Envoltória de Dados para Avaliação de Departamentos de Ensino, Ensaio - Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 42, p. 611-622. 2004. Disponível em:
<http://www.uff.br/decisao/IO_sig-dea-mcda.pdf>. Acesso em: 01 de julho de 2006.

MONIÉ, Frédéric, VIDAL, Soraia Maria do S. C. Porto e Meio Ambiente - Cidades, Portos e Cidades Portuárias na era da Integração Produtiva. **Revista de Administração Pública**, vol.40 n.6 Rio de Janeiro Nov./Dec. 2006. Disponível em:
<<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em 23 de julho de 2007.

NOBREGA, Carlos Alberto Wanderley. **Anuário Estatístico 2004**. Diretor-Geral da ANTAQ em 2004, Brasília, dezembro de 2005. Disponível em:

< <http://www.antaq.gov.br/NovositeAntaq/principaisportos.asp> > . Acesso em: 10 de julho de 2006.

NORMAN, Michael; STOKER, Barry. **Data Envelopment Analysis - The Assessment of Performance**. England, 1991, John Wiley & Sons Ltd., 256p.

PEARSON, Kate. **Data Envelopment Analysis: An Explanation**. Working Paper n. 83, Bureau of Industry Economics. Canberra, march 1993.

PEREIRA, Marcelo Farid. **Mensuramento da Eficiência Multidimensional Utilizando Análise de Envolvimento de Dados**: Revisão da Teoria e Aplicações. Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

PEREIRA, Benedito D.; MAIA, João Carlos de S.; CAMILOT, Rosalina. Eficiência técnica na suinocultura: efeitos dos gastos com o meio ambiente e do Programa Granja de Qualidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, UAEAg/UFCG, v.12, n.2, p.200–204, 2008.

PINDYCK, Robert S., RUBINFELD Daniel L. **Microeconomia**, São Paulo, Pearson Prentice All, 2007. 641 p.

PORTOS. Departamento Nacional de Infra-Estrutura dos Transportes - DNIT · **Marinha do Brasil · Portos do Brasil**. Disponível em:

< <http://www.transportes.gov.br/bit/inportos.htm> >. Acesso em dezembro de 2007.

PORTOS E NAVIOS. Disponível em: < <http://www.portosenavios.com.br/> >. Acesso em: julho de 2006.

REINALDO, Reinaldo Richard Portela. **Avaliando a Eficiência em Unidades de Ensino Fundamental de Fortaleza - CE, Usando a Análise Envoltória de Dados (DEA)**. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

RODRIGUEZ, Álvaro Bounous. **A Atuação, na Movimentação de Containeres, do Operador Portuário Privado em Paranaguá no Contexto da Logística Globalizada “Porta a Porta”: Um Estudo de Caso**. Florianópolis 2001. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção Ênfase em Logística). Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

ROLL, Y.; GOLANY, B. Alternate Methods of Trating Factor Weights in DEA. **OMEGA Int. Journal of Management Science**, Great Britain, v. 21, n° 1, p. 99 – 109, 1993.

SANTOS, Fernanda Rodrigues dos; MEZA, Lidia Ângulo. Modelos DEA com variáveis não controláveis na avaliação de veículos do segmento B. **Revista Sistemas & Gestão**, v. 2, n. 3, p.248-256, setembro a dezembro de 2007. Volta Redonda, RJ, Brasil.

SANTANA, Lídia. **Revitalização de Áreas Portuárias: Referências para Salvador, Bahia Análise & Dados**. Bahia, Salvador. v. 13, n. 2, p. 225-238 set 2003. Disponível em: < http://www.bahiainvest.com.br/port/pq_investir/download/25.pdf >. Acesso em: 03 de fevereiro de 2007.

SEIFORD, Lawrence M. Data envelopment analysis: a evolution of the state-of-the-art (1978-1995). **The Efficiency Measurement Research Workshop**, Denmark, 1995. 44p.

SEIFORD, Lawrence M.; THRALL, Robert M. Recent Developments in DEA: The Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis. **Journal of Econometrics**, North-Holland, n.46, p.7 – 38, 1990.

SCHOELER, Sadi Luís. **A Movimentação de Cargas Pesadas em Portos Brasileiros: Dificuldades e Perspectivas**. Florianópolis, 2000. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.

SHIMONISHI, Maria Lauricéa da Silva. **Análise Envoltória de Dados Aplicada na Avaliação do Emprego dos Recursos Humanos dos Centros Municipais de Educação Infantil do Município de Maringá.** Maringá, 2005. 132 p. Dissertação (Mestrado em Ciências), UFP - Universidade Federal do Paraná.

SMALL, Kenneth A. **Urban Transportation Economics.** Pennsylvania, USA: Harwood Academic Publishers, 1992. 185 p.

SOUZA, Geraldo da Silva e. **Funções de Produção Uma Abordagem Estatística com o Uso de Modelos de Encapsulamento de Dados.** Texto para Discussão 17. Embrapa Informação Tecnológica Brasília, DF, 2003. ISSN 1677-5473. Disponível em:
< <http://www22.sede.embrapa.br/unidades/uc/sge/texto17.pdf>>. Acesso em: 24 de dezembro de 2006.

TORESAN, Luiz, **Sustentabilidade e Desempenho Produtivo na Agricultura. Uma Abordagem Multidimensional Aplicada a Empresas Agrícolas.** Santa Catarina. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

TOVAR, Antonio Carlos de Andrada. FERREIRA, Gian Carlos Moreira. A Infra-Estrutura Portuária Brasileira: O Modelo Atual e Perspectivas para seu Desenvolvimento Sustentado. **Revista do BNDES**, v. 13, n. 25, p. 209-230, Junho de 2006.

XAVIER, Marcelo Elias. **Modernização dos Portos.** p.15, 2002. Disponível em:
< <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.jsp> >. Acesso em: 23 de julho 2006.