



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E CONTABILIDADE
CURSO DE FINANÇAS

VALESKA BARROS DE SOUSA

**APLICAÇÃO DO MODELO DEA NA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS
PORTOS DO NORDESTE DO BRASIL**

FORTALEZA

2018

VALESKA BARROS DE SOUSA

APLICAÇÃO DO MODELO DEA NA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS
PORTOS DO NORDESTE DO BRASIL

Monografia apresentada ao Curso de Finanças da Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Finanças.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Gildemir
Ferreira da Silva

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S698a Sousa, Valeska Barros de.
Aplicação do Modelo DEA na Análise de Eficiência dos Portos do Nordeste do Brasil / Valeska Barros de Sousa. – 2018.
41 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Curso de Finanças, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva.

1. Portos. 2. Análise Envoltória de Dados. 3. Eficiência. 4. Nordeste. 5. Brasil. I. Título.

CDD 332

VALESKA BARROS DE SOUSA

APLICAÇÃO DO MODELO DEA NA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS
PORTOS DO NORDESTE DO BRASIL

Monografia apresentada ao Curso de Finanças da Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Finanças.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Almir Bittencourt da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Gerson da Silva Ribeiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

A minha mãe Cristiane Barros.

Ao Paulo Icaro e a todos aqueles que
intercederam e torceram por mim.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por até aqui ter me ajudado, por ter cuidado de tudo e por sempre estar no controle da minha vida, me direcionando em tudo o que faço.

Ao Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva, pela excelente orientação e paciência prestada.

Ao professor membro da Banca Examinadora Prof. Dr. Almir Bittencourt da Silva e Gerson Da Silva Ribeiro pelo pronto aceite para composição de minha banca.

Aos secretários do Curso de Finanças, Susi Castro e Francisco Lúcio por toda disponibilidade e ajuda prestada.

Aos meus amigos de graduação por toda a vivência, ajuda, sugestões e conhecimento compartilhado.

“Estamos certos de que Deus age em todas as coisas com o fim de beneficiar todos os que o amam, dos que foram chamados conforme seu plano”.

A Bíblia (ROMANOS, 8:28)

RESUMO

O setor aquaviário é fundamental na economia de um país, uma vez que é responsável tanto pelo transporte de mercadorias como de pessoas. Este requer certo nível de eficiência, o que influenciará na sua forma de um porto operacionalizar, tornando-o uma referência aos demais pelo seu nível de eficiência. O presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência dos principais portos do Nordeste do Brasil por meio da metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA), utilizando o modelo não-paramétrico BCC orientado tanto a *inputs* quanto a *outputs*. Os portos analisados foram Itaqui (MA), Fortaleza (CE), Natal (RN), Pecém (CE), Salvador (BA) e Suape (PE), no período compreendido durante 2010 a 2015. Inicialmente os portos foram divididos em dois grupos, Pecém e Suape compondo o primeiro grupo e o restante dos portos formando o segundo grupo, onde foi verificado que grupo apresentava maior nível de eficiência. Em um segundo momento foi verificado se havia diferença de eficiência entre os portos componentes do primeiro grupo. Para tanto foi utilizada a estatística t no estudo. Os resultados do estudo mostraram que estatisticamente não há diferença quanto ao nível de eficiência dos dois grupos, tanto na análise orientada a *inputs* quanto na orientada a *outputs*, apesar de que o primeiro grupo teve um melhor desempenho. Em relação ao comparativo entre os portos Pecém e Suape, apenas um resultado estatisticamente comprovou superioridade do porto de Suape em relação ao Pecém. Outros resultados, apesar de não se provarem significantes, também favoreceram Suape. O porto do Pecém foi eficiente somente uma vez em relação a Suape.

Palavras-chave: Portos. Análise Envoltória de Dados. Eficiência. Nordeste. Brasil.

ABSTRACT

The waterway industry is primordial in the economy of a country, since it is responsible for the transport of goods as people. It requires certain level of efficiency, which will affect in the way of a port operates, making it a reference to the others by its efficiency. This paper aims to analyze the efficiency of the main ports of the Northeast of Brazil by the Data Envelopment Analysis (DEA), using the non-parametric model BCC oriented by inputs as outputs. The ports analyzed were Itaquí (State of Maranhão), Fortaleza (State of Ceará), Natal (State of Rio Grande do Norte), Pecém (State of Ceará), Salvador (State of Bahia) and Suape (State of Pernambuco), in the period between 2010 to 2015. Initially the ports were divided in two groups, Pecém and Suape in the first group and the other ports forming the second group, where it was verified which one has the bigger efficiency level. In a second moment it was verified whether there was efficiency difference between the members of the first group. For that the t-statistics was used in the study. The results showed that statistically there was no difference in respect to the efficiency level between the two groups, considering both the analysis oriented by inputs as outputs, despite of the first one had outperformed the second one. In respect to the comparison between Pecém and Suape, only one result has statistically proved the superiority of Suape over Pecém. Other results, although it has not proved significant itself, also favored Suape. The Pecém port only outperformed Suape once.

Keywords: Ports. Data Envelopment Analysis. Efficiency. Northeast. Brazil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Movimentação de Contêineres em Unidades.....	20
Figura 2: Movimentação de Contêineres em Toneladas	22
Figura 3: Movimentação de Contêineres em TEU's	24
Figura 4: Fronteira de Possibilidade de Produção: Modelo CCR	28
Figura 5: Fronteira de Possibilidade de Produção: Modelo BCC	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i>	19
Tabela 2: Eficiências dos grupos desconsiderando a variável número de píeres	32
Tabela 3: Eficiências dos grupos considerando todos os <i>inputs</i>	33
Tabela 4: Eficiências desconsiderando a variável número de píeres: Pecém x Suape ...	34
Tabela 5: Eficiências considerando todos os <i>inputs</i> : Pecém x Suape.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
BCC	Banker, Charnes e Copper
CCR	Charnes, Copper e Rhodes
DEA	Análise Envoltória de Dados
DMU	Unidade de Tomada de Decisão
TEU	Unidade Equivalente de Transporte

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Logística Portuária	12
1.2 Objetivo.....	13
2 LITERATURA	13
3 BASE DE DADOS.....	18
3.1 Seleção de Variáveis.....	19
4 MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINERES	20
4.1 Movimentação de Contêineres em Unidade	20
4.2 Movimentação de Contêineres em Toneladas	22
4.3 Movimentação de Contêineres em TEU	24
5 METODOLOGIA	25
5.1 Modelo CCR.....	26
5.2 Modelo BCC	28
6. ANÁLISE DA MODELAGEM DEA PELO MODELO BCC.....	30
6.1 Análise DEA: Grupo I x Grupo II.....	31
6.2 Análise DEA: Pecém x Suape	34
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
7.1 Limitações do Estudo e Sugestões	36
REFERÊNCIAS	38
APÊNDICE A – Termos Técnicos	40
APÊNDICE B – Movimentação de Contêineres.....	41

1. INTRODUÇÃO

O setor aquaviário é responsável tanto pelo transporte de pessoas como o de mercadorias sendo neste último responsável por uma parte significativa da economia brasileira e do comércio internacional. É um modal que requer um alto nível de eficiência, principalmente, tratando-se do tempo de atracagem e gargalos enfrentados neste setor.

De acordo com Rodrigues (2007 *apud* JÚNIOR, 2010),

Um sistema de transportes é constituído pelo modo (rodoviário, aquaviário, ferroviário, dutoviário e aeroviário), pela forma (relacionamento entre os vários modos de transportes), pelo meio (elemento transportador) e pelas instalações complementares (terminais de carga).

Os portos possuem um importante papel na cadeia logística, onde o nível de eficiência portuária influencia, enormemente, a competitividade de um país, e, por conseguinte, uma alta eficiência portuária conduz a baixas tarifas de exportações que, por sua vez, favorecem a competitividade dos produtos nacionais em mercados internacionais (GONZALEZ E TRUJILLO, 2008). Collyer (2008 *apud* JÚNIOR *et al.*, 2013) compreende

[...] porto como fronteira nacional aberta, entreposto dinâmico de mercadorias, em que se realizam atividades (aduaneiras, alfandegárias, comerciais, sanitárias, tributárias, imigratórias *etc.*). É o portão de entrada e saída de riquezas, local de abrigo das embarcações, fonte de suprimento das atividades *offshore*, ponto estratégico de segurança das nações e, sobretudo, um importante elo da cadeia logística mundial.

1.1 Logística Portuária

A logística é uma atividade parte de um processo que é frequente no dia a dia de pessoas, empresas e de um modo geral, tudo o que nos rodeia. Ela é responsável pelo deslocamento de pessoas, bem como mercadorias, seja por transportes terrestres, aquáticos ou de aviação, com menor tempo e custo possível. Para tanto, requer um certo planejamento por partes dos organizadores do processo.

Quando se trata de logística portuária, a primeira ideia a que se remete é a ineficiência encontrada nos portos brasileiros, no qual é consequência de instalações e infraestrutura não ótimas e precárias para atender a demanda diária, e isso influencia diretamente a economia brasileira. Porém existe uma grande burocracia quando se trata

de carga e descarga de mercadorias, gerando assim gargalos extensos, onde que navios passam dias para serem atracados.

Uderman (2012 apud JÚNIOR *et al.*, 2013) argumenta que

[...] um sistema portuário ineficiente e caro implica custos adicionais significativos para uma série de empreendimentos produtivos, engendrando, como consequência direta, um ambiente pouco propício ao crescimento do nível de atividade econômica e à atração de novos investimentos.

1.2 Objetivo

Considerando as Unidades Tomadoras de Decisão (DMU), nesse caso os portos, ou mais amplamente os Estados onde estes estão situados, será mensurada inicialmente a eficiência de portos da região Nordeste do Brasil divididos em dois grupos: o primeiro grupo composto, pelos portos Suape e Pecém; e o segundo composto pelos portos de Itaqui, Fortaleza, Natal e Salvador. Será também feita uma comparação entre os portos componentes do primeiro grupo. A análise de eficiência será feita por meio da metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA). Mais precisamente, o modelo não-paramétrico BCC¹, que se utiliza de variáveis *input* (insumo) e *output* (produto), será utilizada nas análises propostas.

Este trabalho é composto de sete secções, incluindo esta introdução. Na secção 2, são apresentados trabalhos que utilizaram a modelo DEA para avaliação da eficiência de portos brasileiros. Na secção 3 é feita uma breve descrição da base de dados trabalhada. Na quarta secção é apresentada uma análise da movimentação de contêineres, que fora a variável produto utilizada no estudo. A metodologia DEA implementada no estudo é apresentada na secção 5. Os resultados obtidos nas análises propostas são apresentados na sexta secção. A última secção contém as considerações finais feitas sobre o estudo.

2 LITERATURA

Fontes e Mello (2006), avaliaram a eficiência dos portos e terminais brasileiros utilizando a técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA), para trinta e um portos brasileiros, baseado em dados dos anos de 2002, 2003 e 2004, fornecidos pela ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários), levando-se em consideração as seguintes variáveis: como *input* utilizou-se a extensão total de cais aportável (m) e como *outputs*

¹ Modelo proposto por Banker, Charnes e Cooper.

foram consideradas a movimentação total de embarcações no período estudado e a movimentação total da carga transportada em toneladas dentro e fora do cais. O modelo utilizado foi o BCC orientado a *outputs*. Feita a análise os seguintes portos apresentaram eficiência: Areia Branca (2004), Belém (2002), Rio Grande (2004), São Sebastião (2003 e 2004), Santarém (2002), Santos (2003 e 2004), e Tubarão (2004); destes, os seguintes portos apresentaram eficiência média superior a 90%: Areia Branca, Rio Grande, Santarém, Santos, São Sebastião e Tubarão. Outro importante resultados foi de que o porto do Rio de Janeiro apresentava baixa eficiência operacional, uma vez que este vinha perdendo capacidade ao longo dos anos, estando assim superdimensionado para sua atual capacidade de movimentação de cargas.

Acosta, Lima e Silva (2006), em seu estudo utilizou a metodologia DEA para medir eficiência de portos brasileiros, identificando aqueles que se mostram mais eficientes em suas atividades. Foram analisados e detectados problemas operacionais nos portos do Rio Grande (RS), Paranaguá (PR), Vitória (ES), Rio de Janeiro (RJ), Santos (SP), Itajaí (SC), São Francisco do Sul (SC), Sepetiba (RJ), Salvador (BA), Aratu (BA) e Itaquí (MA), que juntos respondem por 89% das exportações brasileiras. Os principais problemas detectados foram: a falta de dragagem, problemas de vias de acesso, congestionamentos de trens e caminhões, além de aspectos gerenciais. Diante dos diversos problemas enfrentados e tendo os portos brasileiros papel fundamental no processo de movimentação de cargas de grande porte, foi de interesse verificar como essas atividades vêm sendo realizadas e identificar exemplos de boas práticas. O estudo avaliou como os portos brasileiros vinham realizando a movimentação de suas cargas de modo a identificar aqueles que executam essa atividade de forma mais eficiente, usando o modelo DEA para identificar unidades mais eficientes e apontar, para aquelas ineficientes, quais os insumos (ou produtos) que devem sofrer reduções (ou aumentos) para que atinjam a fronteira de eficiência.

Júnior (2010) em seu estudo teve como objetivo elaborar e analisar modelo para a medição da eficiência dos portos da Região Nordeste do Brasil, no ano de 2006, adotando o método DEA. A seleção de variáveis foi feita com auxílio do método Compensatório de Normalização Única, o qual determina as variáveis a serem utilizadas através do índice S que depende da eficiência média (relação causal) e da quantidade de DMU na fronteira (poder de discriminação). Foram analisadas as instalações e operações de contêineres e granéis sólidos dos principais portos da Região Nordeste. Este modelo foi aplicado aos 16 portos da região, sendo estes analisados por tipo de carga (contêiner e granel sólido). A análise da eficiência aos portos de contêiner foi realizada com modelo

o CCR orientado a *input* e *output*. Os principais portos que operam contêineres no Nordeste estão localizados em: Fortaleza, Natal, Suape, Maceió e Salvador. O Ceará é o único estado que possui duas instalações portuárias com representatividade na movimentação de contêineres na região. Os resultados obtidos, através da análise realizada, constataram que 14 dos 16 portos analisados têm instalações precárias, com exceção do porto de Salvador, na movimentação de contêineres, e o terminal de São Luís1, na movimentação de granéis sólidos.

Acosta, Silva e Lima (2011) utilizaram a metodologia DEA para criação de um escore de eficiência técnica para portos brasileiros. Diferentemente dos trabalhos citados anteriormente, a metodologia aplicou restrições aos pesos atribuídos aos *inputs* e *outputs* na avaliação de eficiência, uma vez que no procedimento de otimização poderiam ser obtidas diversas soluções alternativas, e que software utilizado na otimização poderia formar pesos anormais que levariam a eficiência máxima. Como nova abordagem, os autores esperariam reduzir a quantidade de possíveis soluções eficientes, e estas seriam mais racionais, uma vez que estariam respeitando limites superiores e inferiores. As variáveis insumo foram: profundidade do canal, extensão de cais e área de armazenagem; já o único *output* utilizado na análise foi a movimentação geral. No período estudado (2005) os seguintes portos foram considerados eficientes: Areia Branca (RN), Itaqui (MA), Natal (RN), Santos (SP) e São Francisco do Sul (SC). Outro resultado interessante foi de que os portos considerados ineficientes possuíam folgas com respeito ao uso dos insumos, apresentando, portanto, capacidade para aumentar seu nível de produto (captar mais carga).

Silva *et al* (2011), o objetivo do trabalho é analisar de forma exploratória e comparativa a eficiência produtiva dos portos brasileiros, aplicando a técnica DEA (Data Envelopment Analysis) e o índice Malmquist para verificar intertemporalmente o grau de eficiência produtiva pós Lei 8.630/1993, de modo a avaliar se a administração portuária influi na eficiência portuária. A metodologia desenvolvida apresenta em termos de análise envoltória de dados (DEA), tendo em vista a aplicação do teste de Wald para determinar *ex ante*, e não *ad hoc*, os retornos de escala do modelo construído. Dessa forma, a análise se tornou mais robusta e estatisticamente significativa. Importa destacar, ainda, que o método DEA na forma aplicada permitiu construir uma fronteira de eficiência para 14 portos dentre os abordados e identificar aqueles que constituíram os vértices da fronteira, sendo considerados de maior eficiência operacional para a amostra avaliada. Os portos analisados apresentaram variâncias temporais na eficiência, sem, contudo, apresentar

variações tecnológicas. Recomenda-se prosseguir o estudo com um painel de dados com mais variáveis.

Falcão e Correia (2012), fizeram uma breve análise das principais técnicas e metodologias existentes para avaliação de eficiências portuárias. Duas metodologias de avaliação de eficiência portuária foram utilizadas: a Fronteira Estocástica e a Análise Envoltória de Dados. Foram levantadas evidências do desempenho das técnicas existentes e quais se adequam melhor para o caso da avaliação da eficiência portuária. A metodologia da fronteira estocástica apresentou como principal vantagem o fato de comparar os resultados dos portos analisados com parâmetros técnicos ou normalizados, porém só consegue analisar um produto por vez. A análise envoltória de dados (DEA), por sua vez, tem como vantagem a possibilidade de analisar múltiplos produtos, porém com um número reduzido de dados na amostra a fim de não causar distorções nos resultados. As principais metodologias utilizadas na avaliação da eficiência portuária podem ser separadas em dois grupos principais. No primeiro grupo estão os trabalhos que avaliam a eficiência relativa dos portos, do tipo Análise Envoltória de Dados (DEA - Data Envelopment Analysis). No segundo grupo estão os trabalhos que consideram a eficiência técnica ou econômica dos portos, seria o grupo do tipo fronteiras estocásticas (SFA - Stochastic Frontier Analysis). Vale salientar que mesmo quando o estudo é centrado sobre uma variável específica, ainda existe diversidade, afinal o porto rende serviços tanto aos navios como aos passageiros e à carga. A carga, propriamente dita, não deve ser considerada como homogênea, pois cada tipo de produto tem necessidade de equipamentos específicos para o carregamento/descarregamento, como por exemplo, os contêineres usam guindastes especializados, os líquidos utilizam sistemas de tubulação, entre outros. Por conseguinte, uma alta eficiência portuária conduz a baixas tarifas de exportações que, por sua vez, favorecem a competitividade dos produtos nacionais em mercados internacionais. A fim de manter uma posição de competidor no mercado internacional, os governos dos países precisam melhorar os fatores que influenciam a eficiência de seus portos.

Vieira *et al* (2014), o presente estudo teve como objetivo avaliar comparativamente a eficiência dos terminais de contêineres dos portos da região sul do Brasil. Para tanto, utilizou-se o método da análise envoltória de dados ou Data Envelopment Analysis (DEA). Neste estudo, foram considerados como *inputs* os dados relativos a calado; extensão dos berços, capacidade estática e avanço quantidade de gruas em cada terminal estudado e como *outputs* os dados relativos à quantidade de navios;

movimentação de contêineres e produtividade. No presente estudo, foram considerados como amostra sete terminais de contêineres de sete portos da região sul do Brasil: Paranaguá, Itapoá, São Francisco do Sul, Itajaí, Navegantes, Imbituba e Rio Grande. A seleção de variáveis deu-se para um único tipo de carga, o contêiner. Foram selecionadas variáveis de *input* relacionadas à infraestrutura e variáveis de *output* associadas à operação. Os resultados indicam que os portos de Paranaguá, São Francisco do Sul, Itajaí e Navegantes são os mais eficientes, enquanto que Itapoá, Imbituba e Rio Grande apresentam uma eficiência relativa menor. Os portos menos eficientes foram os de Imbituba e Itapoá. No entanto, devem-se ressaltar algumas particularidades desses dois portos. Em Itapoá, que tem uma infra-estrutura moderna, devido ao investimento ter sido concretizado recentemente, isso ainda não se refletiu em melhoria de desempenho ou eficiência portuária. O mesmo pode-se dizer de Imbituba, que recebeu recentemente investimentos em novos equipamentos e berços, mas tais investimentos ainda não geraram um aumento proporcional na movimentação de cargas.

Pires e Silva (2016), em seu estudo tem por objetivo propor um modelo matemático, com uso do método DEA, para avaliar a eficiência relativa de portos e terminais portuários, no intuito de auxiliar no planejamento e tomada de decisão relacionada à área aquaviária. Para isso, foi realizada revisão bibliográfica relacionada à temática deste trabalho, selecionando as principais variáveis a serem consideradas na eficiência de um terminal portuário, e ao mesmo tempo, foram contatadas autoridades portuárias no intuito de realizar parcerias e obter os dados necessários para a inserção no modelo a ser desenvolvido. Foram analisados seis portos da região Sul, sendo cálculo da eficiência orientado por *outputs* baseado no fato de que os portos não pretendem diminuir sua área de armazenamento, nem tanto diminuir o calado do berço de atracação, sendo valores já pré-estabelecidos. Portanto, com a infraestrutura existente de cada porto pretende-se encontrar o valor ideal da quantidade de carga movimentada trabalhando com retornos constantes de escala, o que justifica utilização do modelo CCR. O modelo BCC também foi utilizado no estudo. Dentre os resultados encontrados, para ambos modelos, o Porto de Itapoá e o TECON Paranaguá tiveram eficiência relativa máxima, diferente dos outros terminais, que tiveram eficiência máximo no modelo BCC, o que não se repetiu no modelo CCR, como o caso da APM Itajaí e o Porto de Imbituba. Isso se deve ao fato que no modelo CCR, com retorno constante de escala, ele não leva a dimensão do porto em consideração, atingindo uma eficiência extremamente baixa, e que no modelo BCC isso não ocorre devido ao fato de levar em consideração esse fator. Portonave e TECON

Rio Grande tiveram eficiências relativas altas e relativamente parecidas nos dois modelos, demonstrando a estabilidade destes portos.

Junior (2016) se propôs a analisar qual seria o porto brasileiro mais eficiente entre os dez maiores em movimentação de acordo com a DEA orientado à *output*. A princípio ficou estabelecido que apenas portos marítimos seriam considerados, haja vista que o principal objetivo deste estudo são as movimentações de longo curso. Em seguida foi realizado um levantamento das maiores movimentações de cargas. A escolha dos dez maiores portos foi realizada de acordo com os dados disponibilizados pela ANTAQ no ano de 2015. Levando em consideração os portos escolhidos para este trabalho e as variáveis de *inputs* escolhidas para a DEA, foi realizado um levantamento quantitativo do número de berços, comprimento de caís/piéres (em metros) e capacidade estática de armazenamento (em toneladas). Após a revisão bibliográfica relacionada à mensuração da eficiência no setor portuário, foram identificadas as principais variáveis utilizadas como *inputs* e *output* do modelo de DEA CCR orientado à *output*. Dentre elas, foram selecionadas como *inputs* de maior relevância: quantidade de berços, comprimento de caís e píer e capacidade estática de armazenagem. Por outro lado, como variável de *output* foi escolhida a quantidade movimentada, sendo que a inter-relação destas variáveis se tornam um importante indicador de produtividade dos portos. Com as eficiências calculadas observou-se que os portos de Santos/SP, Itaguaí/RJ, São Francisco do Sul/SC e Vitória/ES são os mais eficientes. Outra constatação foi de que os portos mais eficientes se concentram nas regiões sul e sudeste do país, mostrando a força econômica destes em nível nacional. Os destaques positivos foram os portos de São Francisco do Sul e Vitória que, mesmo sendo portos pequenos e regionalizados, se mostraram eficientes e com alto nível de utilização de seus ativos.

3 BASE DE DADOS

Os dados utilizados no estudo compreendem os anos de 2010 a 2015, onde basicamente as variações ocorreram nas variáveis produto utilizadas na análise DEA. Os dados de insumo necessários para o estudo foram obtidos com base nos planos mestres dos portos utilizados. Como dito os portos utilizados no estudo foram: Suape/PE, Salvador/BA, Pecém/CE, Fortaleza/CE, Natal/RN e Itaquí/MA.

3.1 Seleção de Variáveis

A princípio a ideia do número de variáveis seria bem maior do que o escolhido para o trabalho, porém ao analisar os portos e seus respectivos dados o acesso de tais variáveis foi limitado, e os dados foram refinados. Thanassoulis (1996 *apud* JÚNIOR, 2010) afirma que a alteração do conjunto de variáveis selecionadas poderá ter grande impacto no resultado da obtenção da eficiência das DMU's. Portanto, a etapa de seleção das variáveis é fundamental para o refinamento do método DEA:

Inputs (insumos): Os *inputs* são as variáveis de entrada no qual as mesmas são responsáveis dentro do modelo por influenciar e/ou gerar o produto (*output*). Neste estudo foram usadas, por exemplo, número de berços, comprimento do calado (m) e o número de píeres etc.

Outputs (produto): Os *outputs* são a saída dos insumos utilizados no modelo, ou seja, o produto. No qual no estudo as variáveis usadas como *outputs* foi a movimentação de contêineres em unidades (u), toneladas (t) e TEU's.

A tabela a seguir resume as variáveis que serviram como *inputs* e *outputs* no estudo:

Tabela 1: Variáveis *Inputs* e *Outputs*

<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
Bacias de Evolução (Largura - m)	Movimentação de Contêineres (Unidade)
Bacias de Evolução (Profundidade - m)	Movimentação de Contêineres (Tonelada)
Canal de Acesso (Largura - m)	Movimentação de Contêineres (TEU)
Canal de Acesso (Profundidade - m)	-
Cais Acostável (Extensão - m)	-
Quantidade de Berços	-
Calado Máximo (m)	-
Número de Píeres	-

Fonte: Elaborado pela autora.

4 MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINERES

Segundo Rios, Maçada e Becker (2005), mais de 90% da carga internacional se move através de portos marítimos e 80% desta se move através de contêineres. O gerenciamento das operações em terminais de contêineres é crucial para suprir o tráfego de contêineres eficientemente.

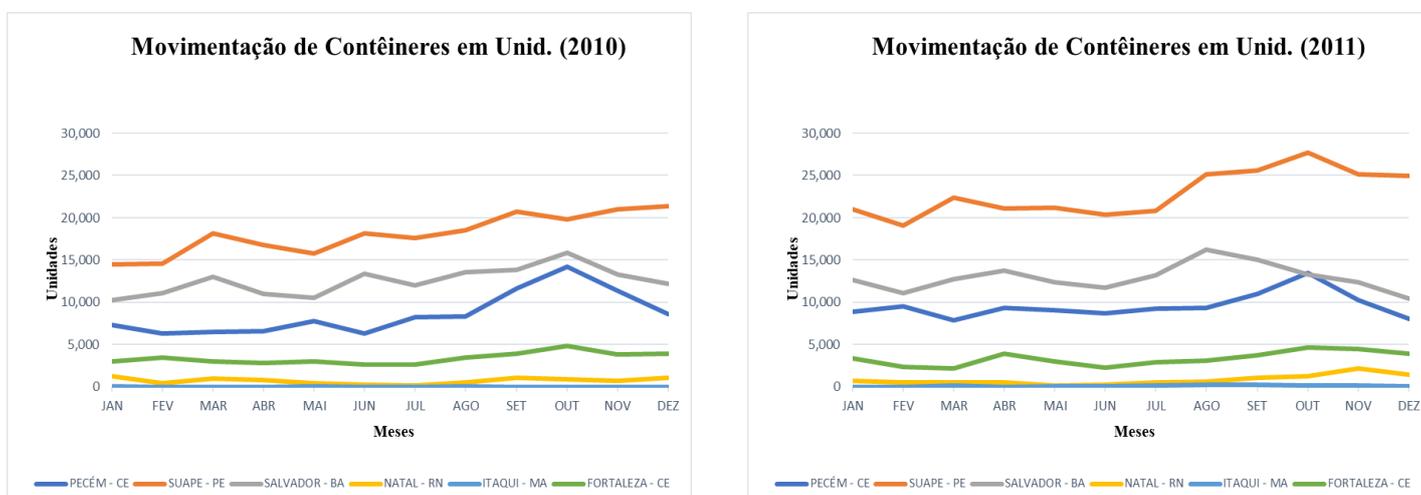
A movimentação de cargas é uma das variáveis responsável por influenciar os níveis de eficiência nos portos, que, por conseguinte, influencia diretamente na economia em que tais portos são operacionalizados.

Para o estudo, foram coletados dados de movimentação de contêineres² em unidade (u), tonelada (t) e TEU's dos principais portos do Nordeste do ano de 2010 a 2015, no qual dentre os avaliados, seis apresentaram números significativos quanto aos níveis de movimentação. Dentre eles estão: Fortaleza (CE), Itaquí (MA), Natal (RN), Pecém (CE), Salvador (BA) e Suape (PE). Tais portos possuem características distintas em suas instalações portuárias e infraestrutura, que influenciam diretamente na operação do porto. Dentre os portos analisados, somente o porto do Pecém é privado, já os demais são portos públicos.

4.1 Movimentação de Contêineres em Unidade

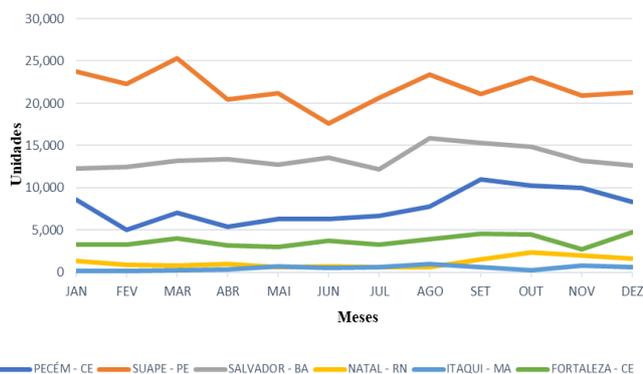
A análise dos dados obtidos dos portos do Nordeste do Brasil de movimentação em unidade foi feita mês a mês dos respectivos anos e obtido um melhor resultado no parâmetro dos dados.

Figura 1: Movimentação de Contêineres em Unidades

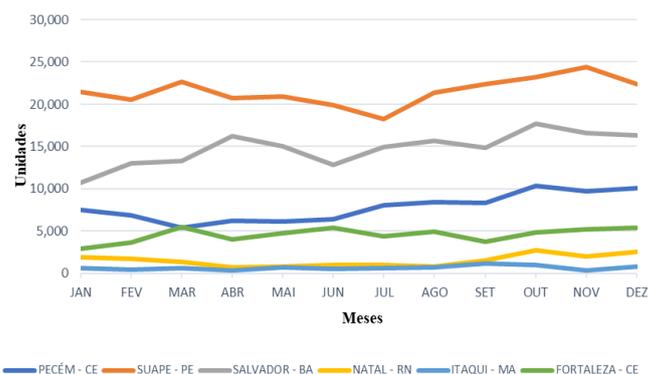


² Os dados coletados são apresentados no Apêndice B juntamente com as variações percentuais anuais.

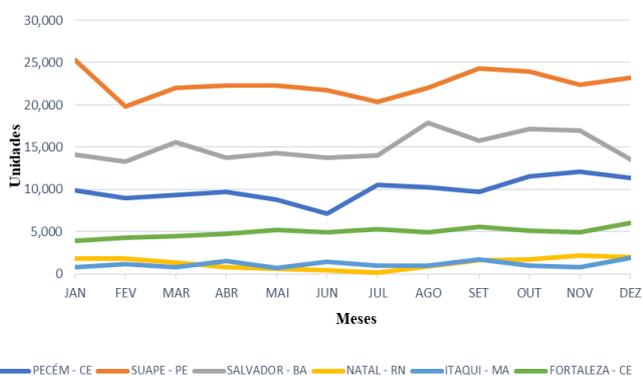
Movimentação de Contêineres em Unid. (2012)



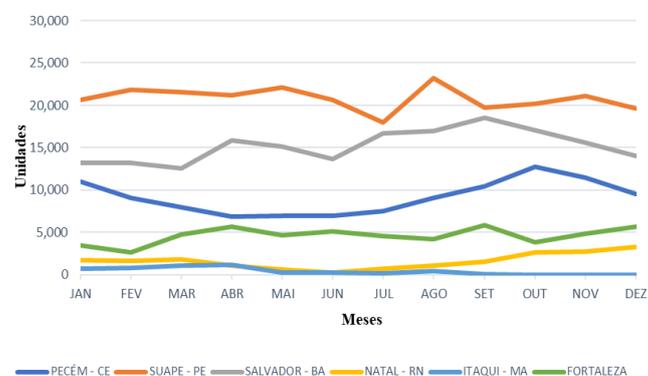
Movimentação de Contêineres em Unid. (2013)



Movimentação de Contêineres em Unid. (2014)



Movimentação de Contêineres em Unid. (2015)



Fonte: a autora.

No ano de 2010 podemos observar que o Porto de Suape apresentou um melhor nível de movimentação de contêineres em unidades, seguido pelo porto de Salvador e o porto do Pecém no qual está logo atrás com um melhor nível de movimentação de contêineres durante o ano de 2010. Como um dos objetivos principais do estudo é avaliar o porto de Suape e o porto do Pecém de uma forma distinta já seria possível perceber que neste ano o porto de Suape foi bem melhor em movimentação de contêineres em unidades do que o porto de Pecém.

No ano de 2011 o porto de Suape apresentou um nível de movimentação bem maior que em 2010, seguido durante bastante tempo pelo porto de Salvador no qual o porto do Pecém só ficou acima durante o mês de outubro, nos demais meses segue abaixo de ambos os portos.

Durante os anos de 2012/14 podemos observar uma oscilação do porto de Suape se comparado ao ano de 2011 quase sempre dentro do intervalo entre 20.000 e 25.000 unidades. Apesar da oscilação dentro do intervalo mencionado, este terminou o ano de 2013 com um nível de produção superior ao do início do ano, e isso está relacionado à primeira movimentação de carga de petróleo bruto realizada pelo mesmo. Já o porto de Salvador teve um crescente em 2013, apesar de algumas quedas sofridas ao longo dos meses. O porto do Pecém no intervalo 2012/13 flutuou em torno do patamar 5.000-10.000 unidades, com algumas oscilações pontuais fora desse intervalo.

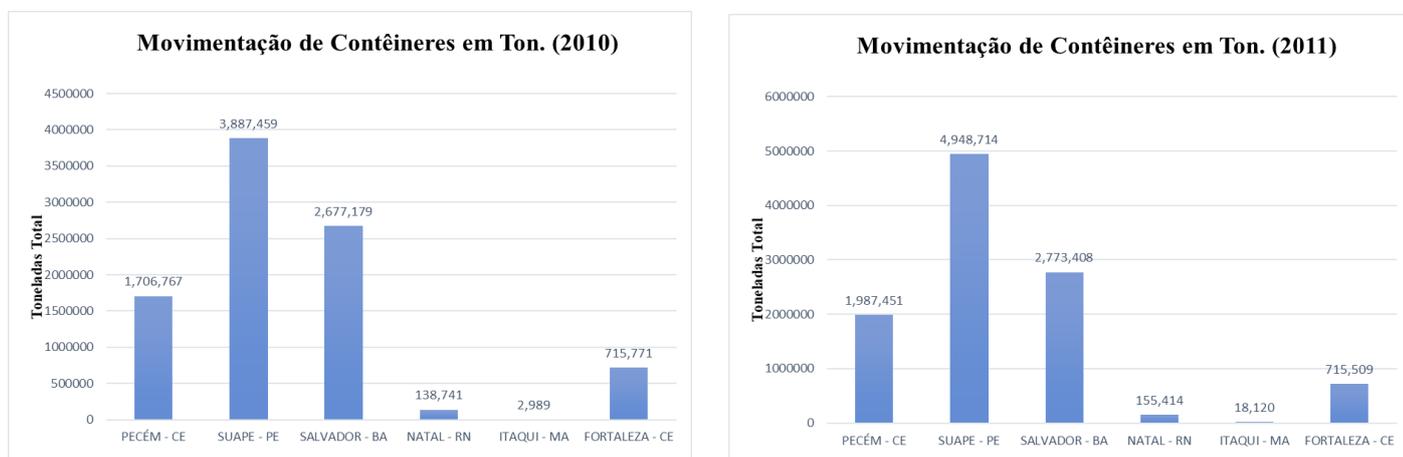
Já no ano de 2015 o porto de Suape manteve uma certa constância até maio, onde se seguiu uma queda, por sua vez seguida de um pico nas movimentações. Entretanto, após esse movimento positivo, o nível de movimentação caiu, encerrando o ano com nível abaixo de 20.000 unidades, inferior ao do início do ano. Já o porto do Pecém apresentou um padrão convexo até outubro e depois declinou terminado abaixo do nível de 10.000 unidades. O porto de Salvador foi o que mais apresentou oscilações, terminando em um nível abaixo de 15.000 unidades, mas superior ao do começo do ano.

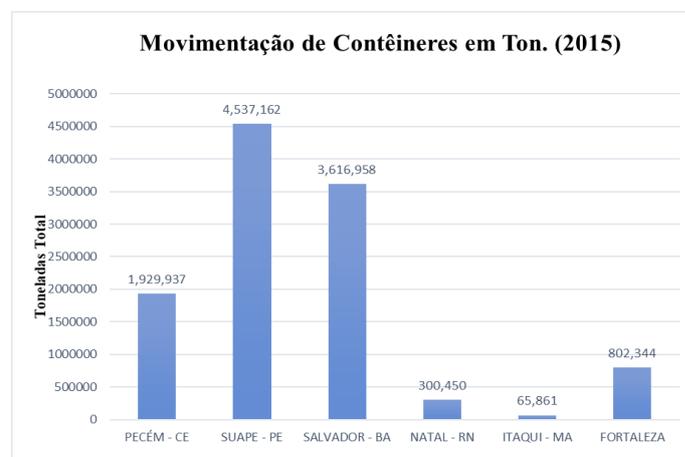
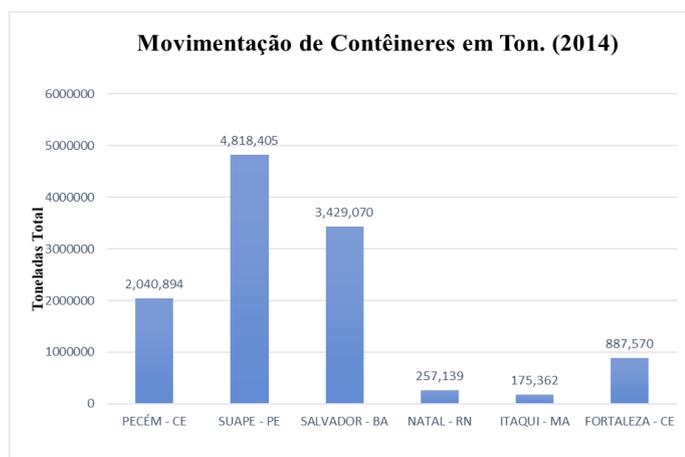
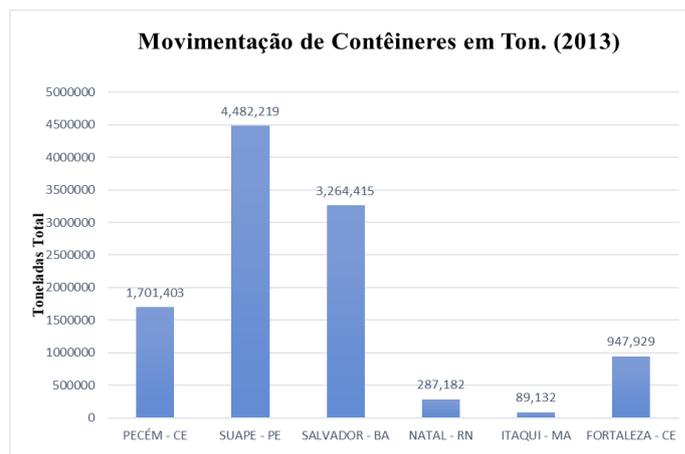
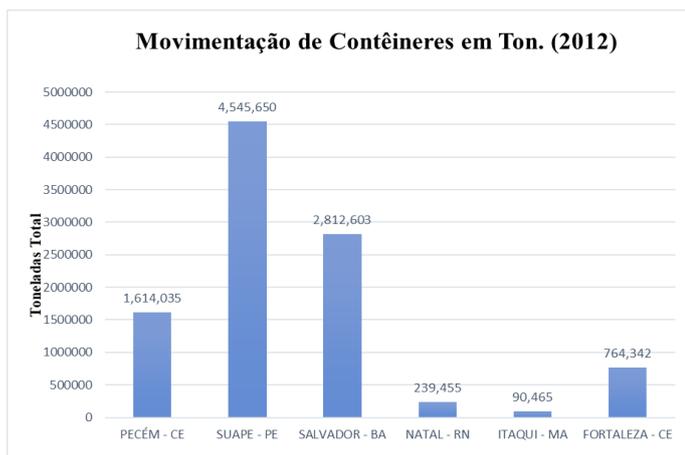
Os três demais portos pouco apresentaram variações, permanecendo dentro do intervalo 0-5.000 unidades, com algumas oscilações acima desse nível devido ao porto de Fortaleza, que apresentou maior grau de variação em relação aos portos de Natal e Itaquí que se mantiveram quase constantes em todos os anos.

4.2 Movimentação de Contêineres em Toneladas

Nesta secção é analisada as movimentações dos portos em toneladas e de forma anual (2010 – 2015).

Figura 2: Movimentação de Contêineres em Toneladas





Fonte: a autora.

Basicamente, os gráficos mostram que não houve mudanças nas posições em termos de movimentação em toneladas, ou seja, houveram mudanças na quantidade movimentada, entretanto, não houve alternância entre os portos. Como era de se esperar, o porto de Suape apresentou um maior nível de movimentação durante todo o período analisado: movimentou, em 2010, 3.887.459 toneladas e encerrou 2015 com uma movimentação de 4.537.162 toneladas. Este variou positivamente sua movimentação em mais de um milhão de toneladas de 2010 a 2011, e após esse ano tendeu a diminuição em relação a 2011, com exceção do ano de 2014 em que apresentou recuperação. Apesar das quedas que ocorreram, o nível de 2015 ainda era superior ao de 2010.

O porto do Pecém apresentou pouca variação de movimentação, em relação ao porto de Suape, tendo seu melhor momento em 2014, onde teve uma movimentação na ordem de 2.040.894 toneladas. O porto de Salvador teve um nível de movimentação crescente no período estudado, onde em 2015 movimentou 3.616.958 toneladas.

O porto de Natal não apresentou muita variação ao longo dos anos, alcançando

seu pico no ano de 2015 com mais de 300.000 toneladas. O porto de Fortaleza o seu melhor ano foi 2013 com mais de 900.000 toneladas. O porto de Itaqui teve o pior desempenho dentre os portos analisados, com níveis de movimentação relativamente inexpressivos.

4.3 Movimentação de Contêineres em TEU

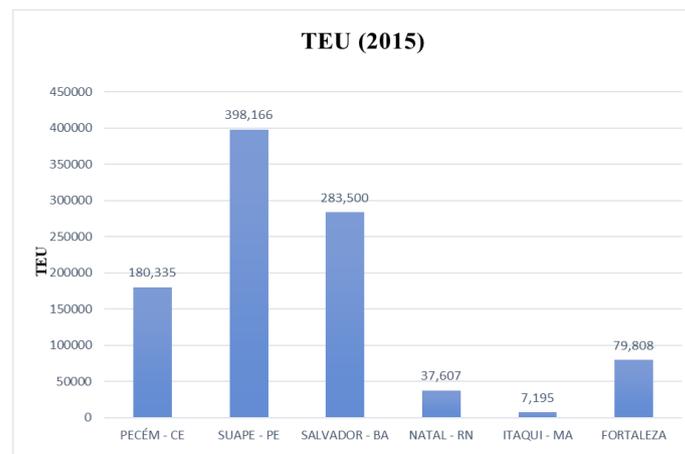
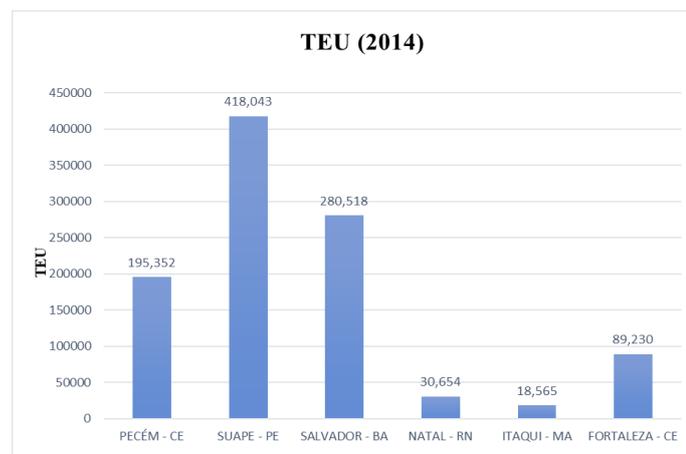
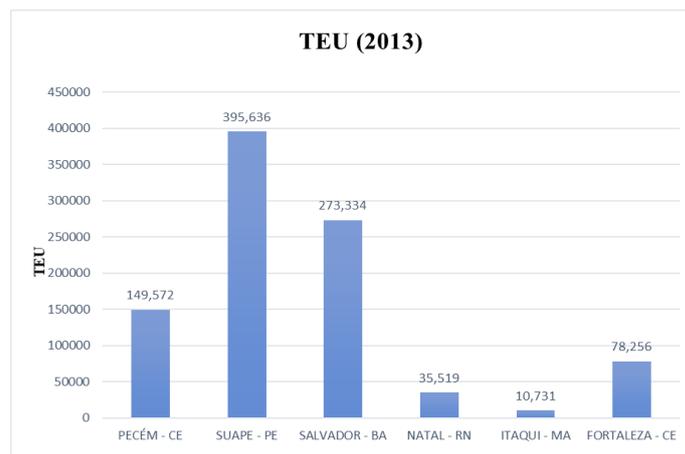
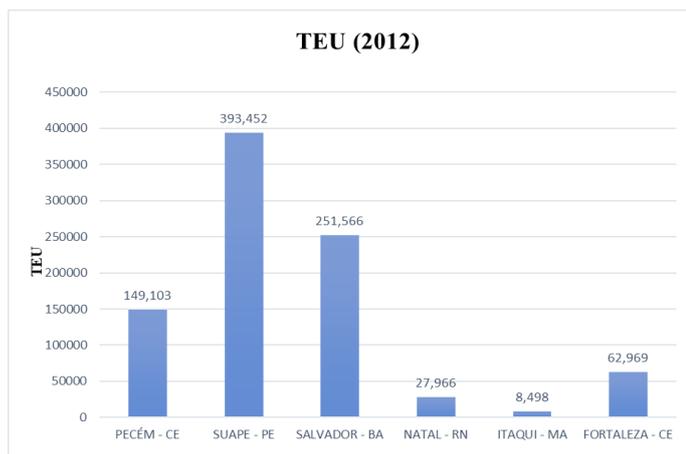
A sigla TEU significa Unidade Equivalente de Transporte (Twenty Foot Equivalent Unit). Sua característica é que o mesmo possui o tamanho padrão de contêiner intermodal de vinte pés. Esta é uma medida padrão para medir capacidade de contêineres em navios, trens, *etc.* Equivale a um contêiner padrão de 6.10m (comprimento) x 2.44m (largura) x 2.59m (altura), ou aproximadamente 39 m³ (metros cúbicos)³.

Assim como os portos foram analisados por movimentações de contêineres em unidades e toneladas, o mesmo também foi feito para a movimentação em TEU's. Os portos nesta categoria foram analisados anualmente.

Figura 3: Movimentação de Contêineres em TEU's



³ Informações obtidas a partir do site Portogente, disponível em: <https://portogente.com.br/>.



Fonte: a autora.

E assim como a movimentação em toneladas, não houve alternância entre os portos para a movimentação em TEU's. O Porto de Suape mais uma vez se mostrou superior aos demais portos. Na sequência tem-se os portos: Salvador, Pecém, Fortaleza, Natal e, por fim, Itaqui com um nível de movimentação bem inexpressivo em relação aos demais.

5 METODOLOGIA

Inicialmente, antes de se apresentar a abordagem do modelo BCC, se faz necessário mostrar o modelo do qual ele deriva, devido a sua simplicidade, que é o modelo CCR⁴. Em seguida, entendida a abordagem no modelo CCR, será apresentado o modelo BCC.

⁴ Modelo proposto por Charnes, Copper e Rhodes.

Os modelos a seguir apresentados são não-paramétricos que propõem mensuração de eficiência da produção dos portos com base nos *inputs* e *outputs*. A ideia do modelo BCC é relacionar eficiência, com base nas variáveis mencionadas, tendo como hipóteses um dos três tipos de retornos de escala da literatura microeconômica: crescentes, decrescentes e constantes⁵.

5.1 Modelo CCR

O primeiro modelo proposto por Charnes, Copper e Rhodes (1978) pressupõe retornos constantes de escala, ou seja, se os insumos são duplicados, a produção também aumenta na mesma proporção. Formalmente,

$$Max_{u,v} \Phi = \frac{\sum_{r=1}^p u_r O_{r0}}{\sum_{i=1}^q v_i I_{i0}}$$

sujeito as restrições:

$$\frac{\sum_{r=1}^p u_r O_{rj}}{\sum_{i=1}^q v_i I_{ij}} \leq 1; \quad j = 1, \dots, n;$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad r = 1, \dots, p; \quad i = 1, \dots, q$$

onde:

- i. O_{r0} e I_{i0} representam respectivamente os *outputs* e *inputs* da DMU mais eficiente (benchmarking);
- ii. O_{rj} e I_{ij} , por sua vez, representam os *outputs* e *inputs* da j-ésima DMU;
- iii. u_r e v_i são os pesos atribuídos a cada uma das variáveis do modelo, obtidas quando a função é otimizada;
- iv. p representa o número total de *outputs*, q representa o total de *inputs* e n o total de observações

⁵ Retornos de Escala: (i) Crescentes: Ao duplicar o insumo, o produto mais que duplica; (ii) Decrescentes: Ao duplicar o insumo, o produto menos que duplica; (iii) Constantes: Ao duplicar o insumo, o produto duplica na mesma proporção.

Deve-se notar que, maximizada a função, o nível de eficiência máximo que pode ser atingido é 1, ou seja, a DMU é 100% eficiente. O problema de otimização acima é conhecido como programação fracional; entretanto este pode ser facilmente linearizado. A seguir o modelo é apresentado em sua forma linear:

$$\text{Max}_{u,v} \phi = \sum_{r=1}^p u_r O_{r0}$$

sujeito as restrições:

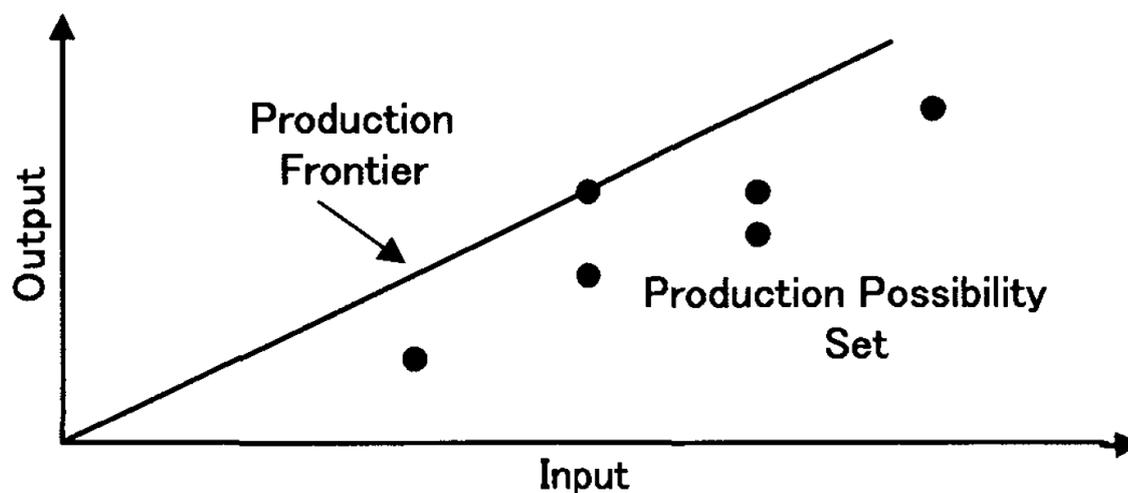
$$\sum_{i=1}^q v_i I_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^p u_r O_{rj} - \sum_{i=1}^q v_i I_{ij} \leq 0; \quad j = 1, \dots, n;$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

O modelo acima é a formulação DEA-CCR orientada a *inputs*, ou seja, o objetivo é maximizar o somatório dos *outputs* ponderados pelos seus pesos sujeito a restrição no somatório dos *inputs* ponderados. Basicamente, o modelo assume que uma função de produção representa o máximo de produto que pode ser gerado dado um nível de insumos, onde o ponto tido como benchmarking será utilizado como um “envelope” das demais DMU’s, formando a fronteira de eficiência relativa (BANKER, CHARNES e COPPER, 1984). Já no modelo orientado a *outputs*, a função objetivo passa a ser minimizar os *inputs* dado a restrição dos *outputs*, ou seja, o objetivo passa a ser reduzir o uso de insumos necessários para manter o mesmo nível de produto. O gráfico a seguir representa a ideia de a fronteira de produção (eficiente) funcionar como um envelope das demais DMU’s:

Figura 4: Fronteira de Possibilidade de Produção: Modelo CCR



Fonte: Cooper, Seiford e Tone (2007).

Deve se atentar ao fato de que, considerando o modelo DEA orientado a *inputs*, o escore obtido deve ser tal que quanto maior melhor. Já considerando a orientação a *outputs*, o escore dessa deve ser o menor possível. A tabela a seguir resume a intuição para os resultados a serem obtidos:

Tabela 2: Escore do modelo BCC

Orientação do Modelo	Classificação do Escore de Eficiência
<i>Inputs</i>	Quanto maior, melhor
<i>Outputs</i>	Quanto menor, melhor

Fonte: a autora

5.2 Modelo BCC

O modelo proposto por Banker, Charnes e Copper (1984) pressupõe que os três tipos de retornos de escala são possíveis, sendo, portanto, uma generalização do modelo CCR. Formalmente⁶,

⁶ A derivação dos cálculos não é o foco desse trabalho. Para mais detalhes consultar Banker, Charnes e Copper (1984).

$$\text{Max}_{u,v} \sum_{r=1}^p u_r O_{r0} - u_0$$

sujeito as restrições:

$$\sum_{i=1}^q v_i I_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^p u_r O_{rj} - \sum_{i=1}^q v_i I_{ij} - u_0 \leq 0; \quad j = 1, \dots, n;$$

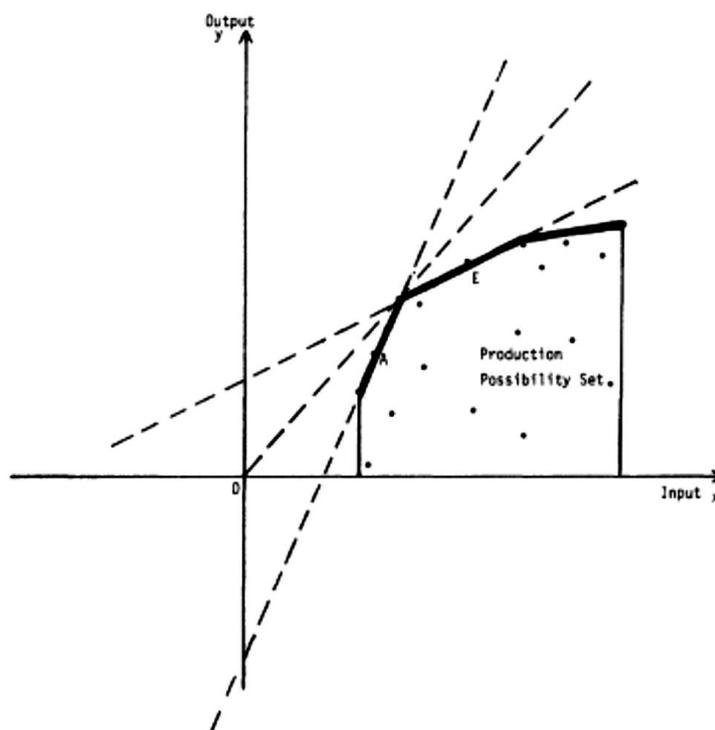
$$u_r, v_i \geq 0$$

onde u_0 não possui restrição quanto a sinal.

A diferença entre os dois modelos está na presença ou não de u_0 ; esta variável é que indica em que situação de retornos de escala se está. Se $u_0 = 0$, então é assumido que os retornos de escala são constantes, e, portanto, volta-se ao modelo CCR. Caso ocorra $u_0 < 0$, assume-se retornos de escala crescentes, e se $u_0 > 0$ então é assumido retornos de escala decrescentes.

A figura a seguir apresentada reflete a ideia de fronteira de possibilidade de produção eficiente considerando diferentes tipos de retornos de escala. Na região onde A se encontra, o cenário é de retornos crescentes de escala. Na região próxima à E se tem uma fase de transição dos retornos de escala, já apresentando um padrão de decrescimento. Finalmente, na região mais à direita de E se tem o cenário em que os retornos de escala são decrescentes.

Figura 5: Fronteira de Possibilidade de Produção: Modelo BCC



Fonte: Banker, Charnes e Cooper. (1984).

6. ANÁLISE DA MODELAGEM DEA PELO MODELO BCC

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos da análise da modelagem DEA pelo modelo BCC. Foram propostas duas análises orientadas tanto a *inputs* quanto a *outputs*. Estas são descritas a seguir:

- i. Primeiramente, são criados dois grupos de portos, o primeiro composto pelos portos Pecém e Suape, e o segundo grupo composto pelos portos restantes; estes serão chamados, respectivamente, de Grupo I e Grupo II. Inicialmente, a análise feita não considera a presença do *input* quantidade de píeres na análise; e em um segundo momento, este é incluído no estudo. A justificativa que se dá para a composição do primeiro grupo pelos portos do Pecém e Suape está no fato destes despontarem como os mais relevantes no Nordeste: estes não competem entre si e procuram atuar de maneira eficiente (o porto do Pecém apresenta um perfil exportador, enquanto Suape apresenta o perfil importador). O objetivo da análise é avaliar se há diferencial de eficiência entre os grupos mencionados.

- ii. Em seguida, novamente é avaliado se há um diferencial de eficiência, mas agora a análise se limita aos portos componentes do Grupo I: por um lado tem-se um porto totalmente privado, Pecém, e por outro tem-se o porto mais eficiente da região Nordeste, de caráter público, Suape.

Vale mencionar que na análise por grupo, os valores de eficiência foram calculados com base na média de eficiência dos portos componentes dos mesmos. Além disso, para dar robustez aos resultados obtidos em ambas abordagens foi utilizada a estatística t^7 .

6.1 Análise DEA: Grupo I x Grupo II

A primeira investigação será feita de modo a investigar se há diferenças entre dois grupos de portos. Como dito, o Grupo I será composto pelo porto do Pecém e Suape, e o Grupo II será formado pelos portos restantes da amostra. A eficiência de cada grupo, será dada pela média das eficiências de cada porto. Vale lembrar mais uma vez que o modelo DEA foi trabalhado tanto com orientação aos *inputs* quanto aos *outputs*, além de que foram feitas duas verificações: a primeira excluía o número de píeres do estudo, enquanto a segunda levava essa variável em consideração no qual nos dois cenários foram utilizadas como variáveis de saída (*outputs*) a movimentação de contêineres em unidade, tonelada e TEU e que o modelo foi executado utilizando as três variáveis de movimentação de forma agregada.

Vale frisar que o uso da estatística t serve para dar robustez a comparação entre os grupos considerados. A hipótese nula considerada é de que ambos grupos apresentam o mesmo nível de eficiência, estatisticamente. Formalmente:

H_0 : *Eficiência Grupo I = Eficiência Grupo II*

H_1 : *Eficiência Grupo I \neq Eficiência Grupo II*

As tabelas a seguir resumem os resultados obtidos no período de 2010 a 2015:

⁷ Para verificar se, estatisticamente, havia ou não diferenças de eficiência, foi adotada a regra de bolso proposta por Gujarati (2011).

Tabela 3: Eficiências dos grupos desconsiderando a variável número de píeres

		Grupo I	Grupo II	Estatística - t	Eficiente
2010	BCC (<i>Inputs</i>)	0,501	0,508	0,012	Grupo II
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,240	1,228	-0,042	Grupo II
2011	BCC (<i>Inputs</i>)	0,396	0,287	-0,238	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,240	1,229	-0,038	Grupo II
2012	BCC (<i>Inputs</i>)	0,417	0,246	-0,375	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,240	1,235	-0,018	Grupo II
2013	BCC (<i>Inputs</i>)	0,421	0,223	-0,476	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,240	1,249	0,031	Grupo I
2014	BCC (<i>Inputs</i>)	0,403	0,217	-0,453	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,240	1,254	0,048	Grupo I
2015	BCC (<i>Inputs</i>)	0,435	0,221	-0,534	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,240	1,251	0,038	Grupo I

Fonte: Elaborado pela autora.

Pelos resultados mostrados na tabela 1 nota-se, pela estatística t, que não há diferencial de eficiência entre os dois grupos, tanto na análise orientada a *inputs* quanto na orientada a *outputs*, para o modelo BCC que não leva em consideração o *input* número de píeres.

Tabela 4: Eficiências dos grupos considerando todos os *inputs*

		Grupo I	Grupo II	Estatística - t	Eficiente
2010	BCC (<i>Inputs</i>)	0,950	0,753	-0,407	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,032	1,154	0,404	Grupo I
2011	BCC (<i>Inputs</i>)	0,799	0,535	-0,506	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,067	1,154	0,288	Grupo I
2012	BCC (<i>Inputs</i>)	0,916	0,471	-0,864	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,000	1,168	0,570	Grupo I
2013	BCC (<i>Inputs</i>)	0,917	0,405	-1,146	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,002	1,203	0,716	Grupo I
2014	BCC (<i>Inputs</i>)	0,791	0,384	-0,945	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,081	1,217	0,491	Grupo I
2015	BCC (<i>Inputs</i>)	0,858	0,401	-1,057	Grupo I
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,051	1,206	0,557	Grupo I

Fonte: Elaborado pela autora.

Novamente, não há mudanças nos resultados: estatisticamente, não há diferenças de eficiência entre os grupos I e II após a inclusão do *input* quantidade de píeres no modelo.

Comparando resultados obtidos pelo modelo DEA-BCC, apesar de não ter sido possível comprovar a significância do diferencial das eficiências em nenhum dos casos, nos resultados apresentados nas tabelas anteriores, no primeiro cenário o grupo I se mostrou eficiente em 8 vezes de um total de 12 em relação ao grupo II, e no segundo cenário os resultados foram unânimes: o grupo I se mostrou melhor tanto no modelo BCC orientado a *inputs* quanto no orientado a *outputs*.

6.2 Análise DEA: Pecém x Suape

No comparativo entre os portos Pecém e Suape, as hipóteses levadas em consideração são semelhantes à da subseção anterior: a hipótese nula é de que não existe diferencial de eficiência entre os portos do grupo I. Formalmente:

$$H_0: \text{Eficiência Pecém} = \text{Eficiência Suape}$$

$$H_1: \text{Eficiência Pecém} \neq \text{Eficiência Suape}$$

Diferentemente do comparativo feito na seção anterior, em que a análise era feita ano a ano, dessa vez, foi tomada a média de eficiência nos anos utilizados na amostra de ambos portos, de modo que se pudesse obter as estatísticas t e assim dar robustez aos resultados. Nas análises orientadas a *outputs* tanto no caso em que um dos *inputs* (número de píeres) não é considerado e no caso em que este é considerado, não foi possível calcular a estatística t devido ao valor do desvio padrão necessário para o cálculo da estatística ser nulo. A seguir são apresentados os resultados para ambos cenários:

Tabela 5: Eficiências desconsiderando a variável número de píeres: Pecém x Suape

		Pecém	Suape	Estatística - t
2010 – 2015	BCC (<i>Inputs</i>)	0,002	0,856	-11,249
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,480	1,000	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando a análise orientada a *inputs*, os resultados indicam existir um diferencial de eficiência significativa entre os dois portos. O alto valor da estatística t indica uma diferença de eficiência a favor do porto de Suape em relação ao Pecém. Tratando do modelo orientado a *outputs*, novamente há um diferencial de eficiência a favor do porto do Suape, entretanto, sem a estatística t não se pode inferir nada a respeito deste ser significativo.

Tabela 6: Eficiências considerando todos os *inputs*: Pecém x Suape

		Pecém	Suape	Estatística - t
2010 - 2015	BCC (<i>Inputs</i>)	0,888	0,856	0,426
	BCC (<i>Outputs</i>)	1,077	1,000	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Neste outro cenário, também não foi possível obter estatísticas significantes para os resultados do modelo DEA orientado a *inputs*, onde nesse caso o porto do Pecém se mostrou mais eficiente em relação de Suape. Os resultados foram favoráveis ao porto de Suape considerando a análise orientada a *outputs*.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo mensurar a eficiência dos principais portos do Nordeste do Brasil utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA), por meio do modelo BCC de Banker, Charnes e Cooper (1984), que pressupõe os três tipos de retornos de escala: constantes, crescentes e decrescentes. O período utilizado no estudo vai de 2010 a 2015, sendo que os portos utilizados no estudo foram: Suape, Pecém, Salvador, Fortaleza, Natal e Itaqui. As variáveis insumo trabalhadas foram: Bacias de Evolução (Largura e Profundidade), Canal de Acesso (Largura e Profundidade), Cais Acostável (Extensão - m), Quantidade de Berços, Calado Máximo (m) e Número de Píeres, vale ressaltar que devido as limitações na obtenção das variáveis de insumo propostas os dados foram refinados em que se utilizou somente do número de berços, calado máximo e número de píeres na mensuração do modelo. As variáveis produto, por sua vez, foram movimentação de contêineres mensuradas em unidades, toneladas e TEU's, sendo estas coletadas mensalmente.

No estudo foram propostas duas análises:

- i. Inicialmente dividir os portos em dois grupos: um composto pelos portos Pecém e Suape, chamado de grupo I, e outro composto com os demais, chamado de grupo II. O objetivo seria avaliar se havia diferencial de eficiência entre os grupos criados.
- ii. Avaliar se havia diferença de eficiência entre os portos componentes do grupo I. Por um lado o porto do Pecém que possui a característica de ser um porto privado, bem

como um perfil exportador, e por outro o porto de Suape que possui característica de um porto público e um perfil importador, além de ser o maior do Nordeste.

As duas análises ainda foram divididas em dois cenários: a princípio não se considerou o insumo número de píeres, porém, posteriormente este foi incluído. A eficiência de cada grupo foi dada pela média das eficiências dos portos componentes.

Ao analisar a estatística t para cada grupo verificou-se não haver diferença de eficiência entre os dois grupos, tanto na análise orientada a *inputs* quanto na orientada a *outputs*, levando ou não em consideração o *input* número de píeres. Apesar de não ter sido possível comprovar a significância dos resultados obtidos, de acordo com os resultados das tabelas, no primeiro cenário o grupo I se mostrou eficiente em 8 vezes de um total de 12 em relação ao grupo II, e no segundo cenário os resultados apontaram total superioridade do primeiro grupo relativamente ao segundo.

Comparando os portos de Pecém e Suape, no cenário em que a análise é orientada a *inputs*, e se desconsidera o *input* número de píeres, os resultados indicaram existir um diferencial de eficiência significativa entre os dois portos, em que este favorece ao porto de Suape. Considerando todos os insumos, os encontrados indicam que o Pecém foi mais eficiente que Suape, porém novamente não foi possível inferir algo estatisticamente. Já no caso em que o modelo é orientado a *outputs*, não foi possível obter a estatística t devido ao desvio padrão necessário para o cálculo da estatística ser nulo, tanto no caso com e sem o número de píeres. Ainda assim, os resultados favoreceram o porto de Suape em detrimento do Pecém.

7.1 Limitações do Estudo e Sugestões

A princípio a ideia do estudo seria considerar o máximo de *inputs* (insumos) possíveis na mensuração do modelo para se obter com maior precisão o nível de eficiência dos portos, bem como uma melhor análise entre os mesmos para comparar melhor os grupos avaliados e uma comparação mais precisa entre o porto do Pecém e Suape. Porém pelo fato de determinados dados, principalmente, os dados do porto do Pecém terem sido tão limitados, esta análise foi restrita a somente os *inputs* usados. Vale ressaltar que a maioria dos dados dos portos foram obtidos através dos Planos Mestres dos mesmos e pelo fato de o porto do Pecém ser um *offshore*, determinadas instalações que são encontradas em outros portos não são encontradas no mesmo, daí o fato de determinados dados não serem obtidos.

Em um trabalho no qual requer uma certa precisão nos dados trabalhados é necessário haver um estudo mais profundo e de forma detalhada pois o modelo DEA tem como objetivo coletar a maior amostra possível para que o mesmo apresente uma maior precisão em seus resultados, porém existe as limitações quanto a coleta de dados em que na maioria das vezes impossibilita algo mais fiel, buscando solucionar tais dificuldades quando tratamos a respeito de instalações se faz necessário uma pesquisa de campo independente no qual seja possível e acessível ao autor para a realização do mesmo. A pesquisa de campo possibilitaria uma maior dinâmica ao estudo e uma maior absorção do conhecimento encontrado no ambiente da pesquisa.

Para trabalhos na mesma linha de pesquisa seria interessante apresentar de forma agregada como desagregada os resultados de eficiência dos portos em que se está utilizando no trabalho, para que seja possível construir uma fronteira de eficiência para os portos analisados. Sendo assim possível verificar se os portos referências do estudo como o porto de Suape e Pecém estão ou não nessa fronteira de eficiência.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, C. M. M.; LIMA, M. L. P. D.; SILVA, A. M. V. D. A. D. Análise de Eficiência dos Portos Brasileiros Utilizando a Técnica de análise Envoltória de Dados (DEA), 2006.
- ACOSTA, C. M. M.; SILVA, A. M. V. D. A. D.; LIMA, M. L. P. D. Aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) para Medir Eficiência em Portos Brasileiros. **Revista de Literatura dos Transportes**, v. 5, p. 88-102, 2011.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, p. 1078-1092, 1984.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; E. RHODES. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429 - 444, 1978.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with models, Applications, References and DEA-Solver Software**. 2º edição. ed. [S.l.]: Springer, 2007.
- FALCÃO, V. A.; CORREIA, A. R. Eficiência Portuária: Análise das Principais Metodologias para o Caso dos Portos Brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 6, p. 133-146, 2012.
- FONTES, O. H. P. M.; MELLO, J. C. C. B. S. D. Avaliação da Eficiência Portuária Através de uma Modelagem DEA. **Simpósio de Pesquisa Operacional da Marinha**, Rio de Janeiro, Agosto 2006. 358-369.
- GONZÁLES, M. M.; TRUJILLO, L. Reforms and Infrastructure Efficiency in Spain's Container Ports. **Policy Research Working Paper**, p. 243-257, 2008.
- GUJARATI, Damodar; PORTER, Dawn. **Econometria Básica**. 5. ed. New York: McGraw Hill, 2011.
- JUNIOR, G. S. G. **Avaliação da Eficiência Técnica dos Portos Portugueses Através da análise Envoltória de Dados**. 2016. 100 f. Dissertação - Escola de Ciências Econômicas e das Organizações, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2016.

JUNIOR, H. A. **Mensuramento da Eficiência da Gestão Portuária Brasileira Utilizando a Análise Envoltória de Dados**. 2016. 69 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

JÚNIOR, J. N. C. S. **Avaliação da Eficiência dos Portos Utilizando Análise Envoltória de Dados: Estudo de Caso dos Portos da Região Nordeste do Brasil**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

JÚNIOR, J. N. C. S. et al. Análise da Eficiência da Infraestrutura Portuária do Nordeste Brasileiro Baseada em Análise de Envoltória de Dados. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Rio de Janeiro, 2008.

JÚNIOR, J. N. C. S.; JÚNIOR, E. F. N.; PRATA, N. A.; MELLO, J. C. B. S. Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil. **Journal of Transportat Literature**, v. 7, n. 4, p 75-106, 2013.

PIRES, G. C.; SILVA, V. M. D. Análise da Eficiência Portuária Usando a Metodologia da Análise Envoltória de Dados (DEA). **III Congresso Internacional de Desempenho Portuário**, Santa Catarina - Brasil, 2016.

RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. G.; BECKER, J. L. Medindo a Eficiência das Operações dos Terminais de *Containers* Brasileiros. In: CONCURSO GAÚCHO DE ARTIGOS SOBRE COMÉRCIO EXTERIOR, 2., 2004, São Leopoldo. **Anais...** CGACE, 2004.

SILVA, F. G. F.; MARTINS, F. G. D.; ROCHA, C. H.; ARAÚJO, C. E. F. Análise exploratória da eficiência produtiva dos portos brasileiros. **Transportes**, v. 19, n. 1, p. 5-12, 2011.

VIEIRA, G. B. B.; GONÇALVEZ, R. B.; MILAN, G. S.; ROSA, A. Q. Avaliação da Eficiência Portuária Utilizando a Análise Envoltória de Dados: Um estudo dos Terminais de Contêineres dos Portos da Região Sul do Brasil. **Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v.10, n. 4, p. 793-809, 2014.

APÊNDICE A – Termos Técnicos

Os termos técnicos a seguir apresentados foram obtidos nos seguintes sites:

- <http://antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Portuario2009/termos.htm>
- <https://portogente.com.br/>

Bacia de Evolução: É um local no espaço aquático nas proximidades do cais, dotado de dimensão e profundidade adequadas, para manobrar as embarcações.

Berço de atracação: É um espaço no cais, entre cabeços de amarração, em que o navio pode atracar para operar, embarcar e desembarcar, cargas em segurança.

Cais do porto: É uma parte contínua de um porto que tem contato direto com o mar onde se localizam os berços de atracação e que podem ser especializados (terminais) ou não (cais comercial).

Calado Máximo: Medida do calado da embarcação em condições de deslocamento a plena carga. O calado máximo com o qual uma embarcação pode operar com segurança depende das condições de densidade da água e do clima da região onde navega. Verifica-se o calado máximo das embarcações através de marcas dispostas no casco, chamadas 'marca de borda livre' (ou disco de Plimsoll), que indicam os calados máximos permitidos em diversas condições de salinidade da água e do clima.

Canal de Acesso: Canal que liga o alto mar com as instalações portuárias, podendo ser natural ou artificial, dotado de profundidade e largura adequadas, com a devida sinalização, com o objetivo de dar acesso das embarcações ao porto.

Contêiner: Também chamado contentor e cofre de carga, é qualquer caixa metálica principalmente na medida de 20´ou 40´pés que tenha estrutura para engate automático pelos equipamentos de movimentação, seja horizontal ou vertical.

Off-shore: É a navegação próxima à costa que entre outras, atende as plataformas de petróleo.

Pier: Se refere à parte do cais que avança sobre o mar em linha reta ou em “L”.

TEU (Twenty-foot Equivalent Units – Unidades equivalentes a 20 pés): Unidade utilizada para conversão da capacidade de contêineres de diversos tamanhos ao tipo padrão ISO de 20 pés.

APÊNDICE B – Movimentação de Contêineres

Portos	UF		Movimentação de Contêineres			Variações Percentuais ($\Delta\%$)		
			Unidade (u)	Tonelada (t)	TEU	Unidade (u)	Tonelada (t)	TEU
Fortaleza	CE	2010	40.669	715.771	59.050	-	-	-
Itaqui	MA		221	2.989	416	-	-	-
Natal	RN		8.699	138.741	16.494	-	-	-
Pecém	CE		103.252	1.706.767	163.909	-	-	-
Salvador	BA		150.158	2.677.179	233.537	-	-	-
Suape	PE		216.866	3.887.459	323.940	-	-	-
Fortaleza	CE	2011	40.071	715.509	57.014	-1,4704%	-0,0366%	-3,4479%
Itaqui	MA		1.476	18.190	1.482	567,8733%	508,5647%	256,2500%
Natal	RN		10.061	155.414	19.405	15,6570%	12,0174%	17,6488%
Pecém	CE		114.933	1.987.451	190.656	11,3131%	16,4454%	16,3182%
Salvador	BA		154.914	2.773.408	242.758	3,1673%	3,5944%	3,9484%
Suape	PE		274.396	4.948.714	417.666	26,5279%	27,2995%	28,9331%
Fortaleza	CE	2012	44.283	764.342	62.969	10,5113%	6,8249%	10,4448%
Itaqui	MA		6.254	90.465	8.498	323,7127%	397,3337%	473,4143%
Natal	RN		14.383	239.455	27.966	42,9580%	54,0756%	44,1175%
Pecém	CE		92.904	1.614.035	149.103	-19,1668%	-18,7887%	-21,7948%
Salvador	BA		161.778	2.812.603	251.566	4,4308%	1,4132%	3,6283%
Suape	PE		260.955	4.545.650	393.452	-4,8984%	-8,1448%	-5,7975%
Fortaleza	CE	2013	54.802	947.929	78.256	23,7540%	24,0190%	24,2770%
Itaqui	MA		7.974	89.132	10.731	27,5024%	-1,4735%	26,2768%
Natal	RN		18.315	287.182	35.519	27,3378%	19,9315%	27,0078%
Pecém	CE		93.485	1.701.403	149.572	0,6254%	5,4130%	0,3145%
Salvador	BA		177.120	3.264.415	273.334	9,4834%	16,0638%	8,6530%
Suape	PE		258.240	4.482.219	395.636	-1,0404%	-1,3954%	0,5551%
Fortaleza	CE	2014	59.678	887.570	89.230	8,8975%	-6,3675%	14,0232%
Itaqui	MA		13.814	175.362	18.565	73,2380%	96,7442%	73,0034%
Natal	RN		15.692	257.139	30.654	-14,3216%	-10,4613%	-13,6969%
Pecém	CE		119.395	2.040.894	195.352	27,7157%	19,9536%	30,6073%
Salvador	BA		180.141	3.429.070	280.518	1,7056%	5,0439%	2,6283%
Suape	PE		269.707	4.818.405	418.043	4,4404%	7,5004%	5,6635%
Fortaleza	CE	2015	55.271	802.344	79.808	-7,3846%	-9,6022%	-10,5592%
Itaqui	MA		4.945	65.861	7.195	-64,2030%	-62,4428%	-61,2443%
Natal	RN		19.179	300.450	37.607	22,2215%	16,8434%	22,6822%
Pecém	CE		109.582	1.929.937	180.335	-8,2189%	-5,4367%	-7,6871%
Salvador	BA		182.573	3.616.958	283.500	1,3501%	5,4793%	1,0630%
Suape	PE		249.782	4.537.162	398.166	-7,3876%	-5,8368%	-4,7548%