

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE TERMINAIS DE GRANÉIS SÓLIDOS UTILIZANDO O MÉTODO DEA**

***EFFICIENCY ANALYSIS OF SOLID BULK TERMINALS USING DEA METHOD***

***ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE TERMINALES DE CARCA SÓLIDA A GRANEL  
UTILIZANDO EL MÉTODO DEA***

**Jully Anne Giacomini**

Graduanda em Engenharia Naval pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Endereço: R. Dona Francisca, 8300, Zona Industrial Norte, CEP: 89219-600. Joinville, SC, Brasil  
Telefone: (47) 3461-5900  
E-mail: [jullygiacomini@gmail.com](mailto:jullygiacomini@gmail.com)

**Vanina Macowski Durski Silva**

Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Professora na UFSC  
Endereço: R. Dona Francisca, 8300, Zona Industrial Norte, CEP: 89219-600. Joinville, SC, Brasil  
Telefone: (47) 3461-5900  
E-mail: [vanina.durski@ufsc.br](mailto:vanina.durski@ufsc.br)

Artigo recebido em 20/05/2020. Revisado por pares em 29/06/2020. Reformulado em 17/08/2020.  
Recomendado para publicação em 18/08/2020, por Ademar Dutra (Editor Científico). Publicado em  
14/09/2020. Avaliado pelo Sistema *double blind review*.



## RESUMO

O presente trabalho apresenta o estudo da eficiência relativa de terminais de granéis sólidos brasileiros utilizando o método de análise envoltória de dados (Data Envelopment Analysis – DEA). Para isso foram selecionados 27 terminais, sendo que oito importam carvão, nove exportam minério de ferro e dez exportam soja, e adotados quatro inputs e dois outputs. Os resultados mostraram uma tendência de superioridade de eficiência de terminais exportadores diante dos importadores.

**Palavras-chave:** Eficiência; Terminais de Granéis Sólidos; Análise Envoltória de Dados - DEA.

## ABSTRACT

The current work presents a study of the relative efficiency of Brazilian solid bulk terminals using the Data Envelopment Analysis (DEA) method. For this purpose, 27 terminals were selected, which eight of those import coal, nine export iron ore and ten export soybeans, and adopted four inputs and two outputs. The results showed a trend for higher efficiency of exporting terminals than the importers.

**Keywords:** Efficiency; Solid Bulk Terminals; Data Envelopment Analysis - DEA.

## RESUMEN

Este artículo presenta el estudio de la eficiencia relativa de las terminales de carga sólida a granel brasileñas utilizando el método de análisis por envoltura de datos (Data Envelopment Analysis – DEA). Para este propósito, se seleccionaron 27 terminales, ocho de los cuales importan carbón, nueve exportan mineral de hierro y diez exportan soja, y cuatro inputs y dos outputs. Los resultados mostraron una tendencia de superioridad en la eficiencia de los terminales de exportación sobre los terminales de importación.

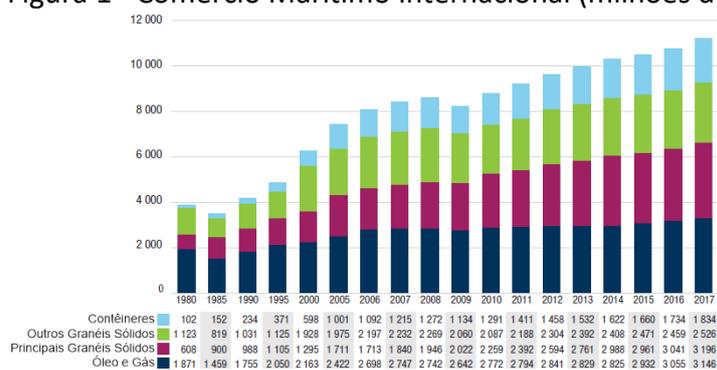
**Palabras clave:** Eficiencia; Terminales de Carga Sólida a Granel; Análisis por Envoltura de Datos - DEA.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria marítima trouxe mudanças significativas no transporte de grandes volumes de carga, possibilitando a integração do comércio global. O avanço da tecnologia marítima implicou na redução de aproximadamente 60% no custo deste transporte comparando a década de 80 com o início do século 20. Entre 1990 e 2015, a taxa de crescimento do transporte marítimo, em volume de carga, aumentou em 151,5%, tendo como forças motrizes as tendências do PIB e do comércio mundial (LUNDGREN, 1996; PROFILLIDIS e BOTZORIS, 2019).

Segundo a United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD, 2018), o volume de tráfego marítimo alcançou 10,7 bilhões de toneladas em 2017. A carga seca foi responsável por 7,6 bilhões de toneladas, sendo que os principais granéis sólidos (carvão, minério de ferro e grãos) atingiram 42,3% deste volume, seguido por cargas em contêineres (24,3%) e outros granéis sólidos (33,4%). De acordo com a Figura 1, percebe-se o crescente aumento de transporte de carga dos principais granéis sólidos; e assim, desperta-se um interesse por maior detalhamento no estudo sobre este tipo de carga, no qual se verifica uma média de crescimento anual de cerca de 5% no volume de toneladas comercializadas.

Figura 1 - Comércio Marítimo Internacional (milhões de toneladas)



Fonte: Adaptado UNCTAD (2018).

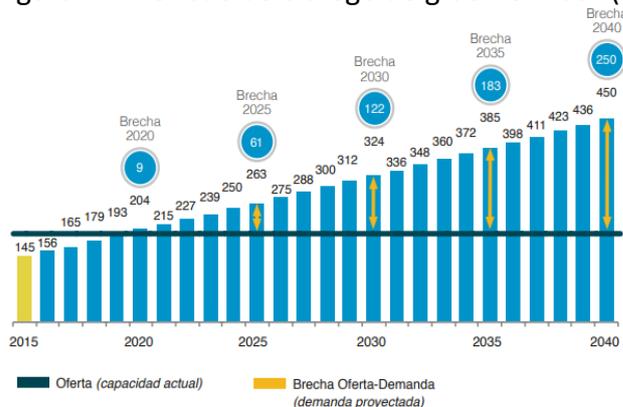
O fluxo da movimentação de carga granel sólido varia de acordo com os diferentes produtos transportados. De acordo com a Mitsui O.S.K. Lines (MOL, 2017), o maior volume do transporte de carvão mineral navega pelo Oceano Pacífico e concentra-se na Ásia e Oceania; quanto às rotas pelo Oceano Atlântico destacam-se os países exportadores Colômbia e África do Sul e os importadores incluem Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha. Tratando-se das rotas marítimas de minério de ferro, as mesmas têm origem em Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.13, Edição Especial 3, 2020.

países produtores como Brasil e Austrália em direção a China, majoritariamente. Já o transporte marítimo de grãos parte dos Estados Unidos, Rússia e Argentina para Ásia e África.

No que diz respeito ao panorama das economias latino-americanas, segundo Wilmsmeier et al. (2012), a América Latina vive um paradoxo entre ser um potencial fornecedor de commodities e deficiente no desenvolvimento de setores portuários, tais como, infraestrutura dos terminais, acessos náuticos e de sistemas multimodais.

No Brasil, ao contrário do que acontece com outros tipos de carga a granel, o granel agroalimentar é movimentado majoritariamente por portos públicos. Em longo prazo, a previsão de um grande crescimento da demanda por grãos, especialmente a soja, implicará em uma lacuna entre a demanda e a atual capacidade portuária brasileira, em milhões de toneladas, como se percebe através da Figura 2.

Figura 2 - Previsão do tráfego de grão no Brasil (milhões de toneladas)



Fonte: CAF - Banco de Desenvolvimento da América Latina (2016)

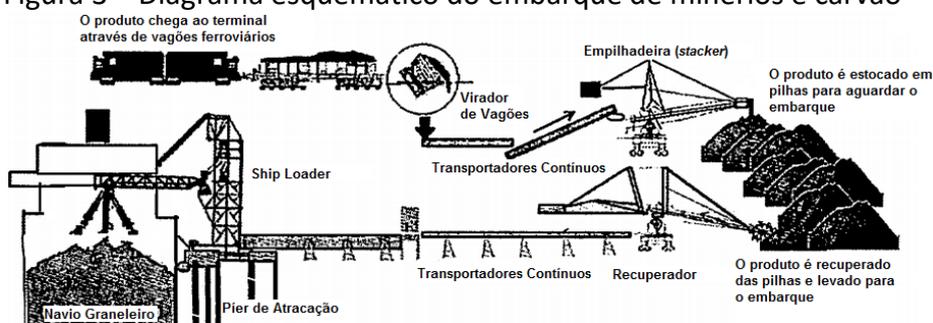
Diante deste contexto, ressalta-se a importância de estudos voltados à eficiência de terminais portuários brasileiros. A fim de alcançar bons resultados e notoriedade no cenário mundial, é necessário identificar e analisar as possíveis variáveis da problemática de eficiência portuária e propor soluções adequadas. Assim, dada à expressividade do volume nacional/mundial movimentado de granel sólido, neste trabalho será enfatizado o estudo da eficiência dos terminais de granéis sólidos do Brasil com o auxílio do Método Análise Envoltória de Dados (DEA).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 GRANEL Sólido

Segundo Magalhães (2011), os granéis sólidos são mercadorias transportadas sem embalagem, lançadas diretamente nos porões dos navios por gravidade através de carregadores mecânicos ou shiploaders. O diagrama esquemático do embarque destas mercadorias está exposto na Figura 3; as operações de descarregamento ocorrem no sentido inverso do diagrama, contudo utilizando equipamentos de descarga do tipo grab, caçambas automáticas ou descarregadores contínuos.

Figura 3 – Diagrama esquemático do embarque de minérios e carvão



Fonte: Magalhães (2011)

Quanto ao sentido de movimentação, embarque ou desembarque, existem diferenças significativas quanto à prancha média (ton/hr) e tempo de operação, já que geralmente encontram-se operações de carregamento contínuas e de descarregamento descontínuas.

Vianen, Ottjes e Lodewijks (2013), dividem os terminais de granéis sólidos entre exportadores e importadores, considerando que os países produtores ou com maiores reservas minerais tendem a suprir a demanda de países que necessitam destes produtos base.

A América do Sul é um importante exportador de commodities. Segundo dados do The Observatory of Economic Complexity (OEC) – Observatório da Complexidade Econômica, em 2017, os países sul americanos foram responsáveis por cerca de 54,4% das exportações de soja, 23,5% das exportações de minério de ferro e 6,3% das exportações de carvão no mundo, em bilhões de dólares.

Ao realizar a análise destes dados por país, identifica-se o Brasil como um destaque mundial nas exportações de soja e minério de ferro, sendo o principal representante sul-americano, correspondendo, respectivamente, a 45% e 22% do total em bilhões de dólares exportados; conforme a Tabela 1. Quanto à exportação de carvão mineral, o país apresenta valores mais significativos nas importações.

Tabela 1 – Movimentação brasileira por produto (em bilhões de dólares)

<b>Produto</b>	<b>Total de Exportações (em bilhões)</b>	<b>Total de Importações (em bilhões)</b>	<b>% em relação ao mundo</b>
<b>SOJA</b>	26,15	-	45,00%
<b>MINÉRIO DE FERRO</b>	20,46	-	22,00%
<b>CARVÃO</b>	-	2,93	2,40%

Fonte: Baseado em OEC (2017)

Segundo dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ (2018) o minério de ferro foi responsável por embarcar 67% do total de toneladas de granéis sólidos Brasil, enquanto a soja correspondeu a 15%. Quanto aos produtos desembarcados no país, o carvão correspondeu a 20% dos granéis sólidos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Movimentação de granéis sólidos no Brasil (em toneladas)

<b>Produto</b>	<b>% do Total Embarcado</b>	<b>% do Total Desembarcado</b>
<b>Minério de Ferro</b>	67%	-
<b>Soja</b>	15%	-
<b>Carvão Mineral</b>	-	20%
<b>Outros Granéis</b>	18%	80%

Fonte: Baseado em ANTAQ (2018)

Baseando-se nestes dados, a pesquisa dos terminais brasileiros pôde ser norteada; na qual foram selecionados os principais terminais de granéis sólidos do país a partir das informações do Anuário da ANTAQ de 2018, no tocante ao número de toneladas movimentadas no ano de 2018. As Tabelas 3, 4 e 5 correspondem respectivamente aos principais terminais movimentadores de minério de ferro, soja e carvão mineral.

Tabela 3 - Terminais de Minério de Ferro Selecionados

<b>TERMINAL</b>	<b>ESTADO</b>	<b>CARREGAMENTO (Mton/ano)</b>	<b>ANU</b>
Ponta da Madeira	MA	197,09	
Tubarão	ES	96,73	
Itaguaí	RJ	48,46	
Ilha Guaíba	RJ	41,18	
Porto Sudeste do Brasil	RJ	10,64	
Porto Do Açú	ES	3,22	
Porto Gregório Curvo	MS	2,47	
Granel Química Ladário	MS	0,71	
Terminal Marítimo Ponta Ubu	ES	0,08	

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Tabela 4 – Terminais de Soja Selecionados

<b>TERMINAL</b>	<b>ESTADO</b>	<b>CARREGAMENTO ANUAL (Mton/ano)</b>
Santos	SP	15,57
Paranaguá	PR	15,36
Itaqui	MA	8,54
Rio Grande	RS	6,56
São Francisco Do Sul	SC	5,48
Terminal De Tubarão - TPD	ES	4,08
Terminal Portuário Cotegipe	BA	3,78
Terbian - Terminal Bianchini	RS	3,59
Tiplam	SP	3,30
Terminal Graneleiro Hermasa	AM	2,71

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Tabela 5 – Terminais de Carvão Selecionados

<b>TERMINAL</b>	<b>ESTADO</b>	<b>CARREGAMENTO ANUAL (Mton/ano)</b>
Terminal De Praia Mole	ES	10,40
Terminal Portuário Do Pecém	CE	5,17
Ternium Br	RJ	3,08
Itaguaí (Sepetiba)	RJ	2,44
Itaqui	MA	0,64
Vila Do Conde	PA	0,57
Vitória	ES	0,40
Porto Do Açú Operações S.A.	RJ	0,24
Imbituba	SC	0,10

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

A partir do panorama geral dos granéis sólidos é possível prosseguir para a verificação do conceito de eficiência, bem como analisar as variáveis que exercem influência na problemática do transporte marítimo.

## 2.2 EFICIÊNCIA E EFICIÊNCIA PORTUÁRIA

De acordo com Sobral et al. (2013), eficiência é a capacidade de realizar as operações minimizando a utilização de recursos, desempenhando corretamente as atividades sem que o prejuízo pelo desempenho seja elevado. Eficiência é a relação ótima entre os resultados atingidos e os recursos consumidos.

Farrell (1957) foi um dos pioneiros a compor a fundamentação teórica para estudar e medir a eficiência. O autor divide a eficiência em técnica e alocativa. A primeira mede o desempenho de uma unidade produtiva a partir da capacidade de produção máxima de um determinado conjunto de insumos, já a segunda refere-se à capacidade de uma organização de encontrar as proporções ótimas de input e output adequadas aos atuais preços.

Através da generalização do modelo de Farrell foi possível a criação do método da Análise Envoltória de Dados abordado no presente trabalho e, baseado no mesmo, encontrar as eficiências produtivas e técnicas dos terminais analisados. A Análise Envoltória de Dados decompõe a eficiência produtiva em: eficiência de escala e eficiência técnica. Segundo Belloni (2000), “a eficiência de escala, é aquela associada a variações da produtividade decorrentes de mudanças na escala de produção, e a eficiência técnica, associada à habilidade gerencial da organização”.

A eficiência de produção pode ser medida a partir da comparação dos valores observados e dos valores ótimos de input e output. Sendo assim, é necessário confrontar os valores obtidos de output, a partir dos inputs consumidos, com os valores dos potenciais máximos de outputs, ou observar os valores dos mínimos inputs requeridos e comparar com os inputs que foram utilizados, mantendo os outputs constantes, ou ainda uma combinação dos dois casos (LOVELL et al., 1985).

Em se tratando da eficiência portuária, um porto pode melhorar a sua eficiência à medida que minimiza tempo de permanência de uma embarcação, ou seja, diminui os tempos de espera para atracação, de operação e de liberação do navio. A eficiência portuária também é medida segundo a performance operacional, infraestrutura e segurança das operações (FIGUEIREDO, 2001).

Para Schott e Lodewijks (2007), os fatores operacionais que podem prejudicar a produtividade de um terminal de granel sólido são o layout, as características dos equipamentos utilizados para operações de carga e descarga e capacidade de armazenamento. O trabalho de Vianen, Ottjes e Lodewijks (2013) ressalta a importância do dimensionamento de pátios de estocagem para terminais mineraleiros, pois afirmam que uma pequena capacidade de armazenagem resulta no aumento do tempo de espera de navios, e grandes dimensões de pátio dificultam a recuperação do investimento.

### 2.3 DEA

A Análise Envoltória de Dados é um método matemático fundamentado na lógica de programação linear que possibilita comparar eficiências entre diferentes unidades produtivas (neste estudo, terminais portuários), utilizando critérios de entrada e de saída. A partir deste modelo matemático, pode-se alcançar um percentual de eficiência para cada unidade produtiva e analisar quais delas servem de parâmetros e quais ainda podem ser otimizadas (CHALRÉO, 2015).

Segundo Novaes (2006), o DEA é uma abordagem não paramétrica, pois não requer, previamente, a escolha de uma função matemática. As DMUs (Decision Making Unit) são as unidades tomadoras de decisão e representam empresas, organizações ou setores a serem comparados na análise. Para Kassai (2002) a vantagem deste método está no fato dele prescindir a atribuição de pesos e através da programação linear, determinar quais DMUs serão utilizadas para construção da fronteira produtiva e servirão de parâmetro de benchmarking.

Segundo Cullinane (2010) a origem desta técnica encontra-se no trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes (1978), que possibilitou a utilização de múltiplos inputs e outputs, permitindo a construção de fronteira de produção sem uma referência pré-definida, além de resultar no Modelo CCR. Mais tarde, em 1984, Banker, Charnes e Cooper, desenvolveram o Modelo BCC que permitiu retornos variáveis ao Método DEA. Estes dois modelos, CCR e BCC, são os mais clássicos e difundidos. O primeiro fornece valores de retorno com escala constante, ou seja, as variações dos insumos influem em variações proporcionais nos produtos e, obtém-se um indicador de eficiência produtiva avaliando a eficiência global. Já

no segundo modelo, os retornos deixam de ser proporcionais e passam a ser convexos, permitindo que baixos valores de inputs resultem em altos retornos nos outputs. O BCC fornece um indicador de eficiência técnica (KASSAI, 2002).

### 2.3.1 Modelo CCR

O modelo criado por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978 (CCR) também é conhecido como CRS (Constante Retorno de Escala, traduzido da sigla em inglês). Segundo Mello et. al (2005), a eficiência deste modelo pode ser calculada a partir da razão entre a soma ponderada dos outputs e a soma ponderada dos inputs:

$$Eficiência = \frac{\text{Soma ponderada dos produtos}}{\text{Soma ponderada dos recursos}}$$

A formulação matemática é descrita pela função objetivo (1), na qual as variáveis  $u$  e  $v$  correspondem aos pesos atribuídos a cada input e output, respectivamente. O modelo DEA permite que cada DMU determine o valor dos determinados pesos,  $u_j$  e  $v_i$ , no intuito de maximizar o resultado, porém a atribuição é restrita a uma razão menor ou igual a um, conforme a restrição (2), sendo  $u_j$  e  $v_i$  maiores ou iguais à zero (3).

$$Max\ Effo = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}} \quad (1)$$

Sujeito a

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \forall k \quad (2)$$

$$V_i, U_j \geq 0, \forall i, j \quad (3)$$

Onde:

$Effo$  – eficiência da DMU0;

$u_j, v_i$  – pesos de *outputs* e *inputs* respectivamente;

$x_{ik}, y_{jk}$  – *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$  da DMUK ;

$x_{i0}, y_{j0}$  – *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$  da DMU0 ;

Este equacionamento matemático é definido como um problema de programação fracionária, sendo necessário igualar o denominador da função objetivo a uma constante, usualmente igual a um, a fim de solucioná-lo com o uso de programação linear. Deste modo, a nova função objetivo é descrita em 4 (Modelo Multiplicadores), aplicando as restrições de

linearidade (5) e de eficiência menor ou igual a 1 (6), sendo que  $u_j$  e  $v_i$  respeitam a restrição de não negatividade (7).

$$Max\ Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \quad (4)$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \forall k \quad (6)$$

$$V_i, U_j \geq 0, \forall i, j \quad (7)$$

No qual:

$Eff_0$  – eficiência da DMU0;

$u_j, v_i$  – pesos de *outputs* e *inputs* respectivamente;

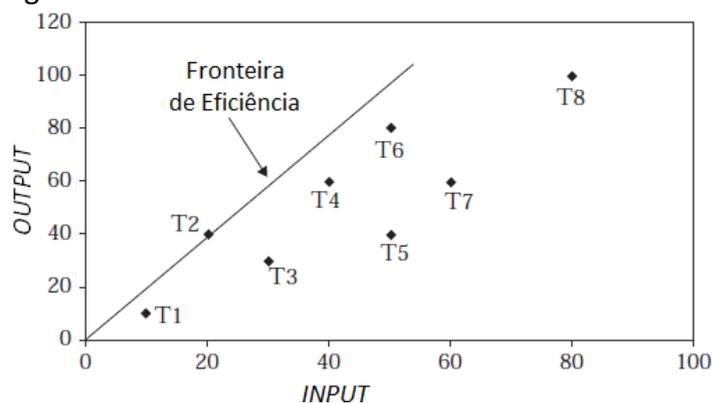
$x_{ik}, y_{jk}$  – *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$  da DMUK ;

$x_{i0}, y_{j0}$  – *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$  da DMU0 ;

$r, s$  – correspondem aos últimos *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$ ;

Portanto, exemplificando graficamente através da Figura 4, para a DMU T3 se tornar eficiente ela precisa reduzir seus recursos ou aumentar seus produtos. Percebe-se também através da figura que a fronteira de eficiência corresponde a uma reta e sendo assim os retornos são proporcionais (constantes).

Figura 4 – Modelo CCR



Fonte: Cullinane (2009)

O modelo apresentado até aqui é denominado, em programação linear, Primal. Para cada modelo Primal associa-se um modelo Dual. O método DEA possui os modelos Multiplicadores e Envelope com orientações a *inputs* e *outputs*, mas as análises presentes neste artigo se concentrarão na orientação por *inputs* dos modelos CCR e BCC.

### 2.3.2 Modelo BCC

O modelo desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984) utiliza a premissa da convexidade para obter retornos de escala variáveis na fronteira de eficiência. Guerreiro (2006) afirma que o modelo BCC “considera que um acréscimo no input poderá promover um acréscimo no output, não necessariamente proporcional, ou até mesmo um decréscimo”.

Considerando a modelagem matemática no Modelo dos Multiplicadores a disparidade com o modelo CCR se dá a partir da presença da variável  $u_*$  (8) que representa o fator variável de escala. Esta variável não atende a restrição de positividade e pode, portanto, apresentar valores negativos (11). A restrição (9) traz a linearidade ao modelo e a (10) faz com que a fronteira de eficiência respeite o limite de 100%.

$$Max\ Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} + u_* \quad (8)$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + u_* \leq 0, \forall k \quad (10)$$

$$v_i, u_j \geq 0, u_* \in \mathfrak{R} \quad (11)$$

No qual:

$Eff_0$  – eficiência da DMU0;

$u_j, v_i$  – pesos de *outputs* e *inputs* respectivamente;

$x_{ik}, y_{jk}$  – *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$  da DMUK ;

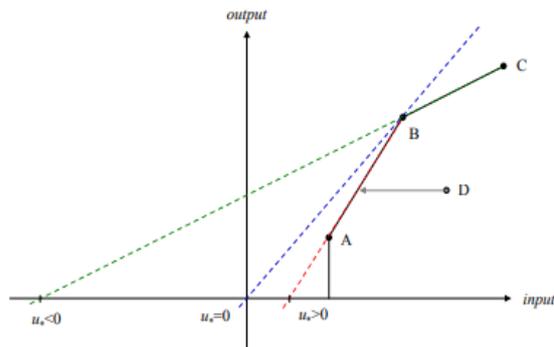
$x_{i0}, y_{j0}$  – *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$  da DMU0 ;

$r, s$  – correspondem aos últimos *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$ ;

$u_*$  – fator variável de escala

A Figura 5 ilustra o modelo orientado a outputs, na qual percebe-se os fatores de escala ( $u_*$ ).

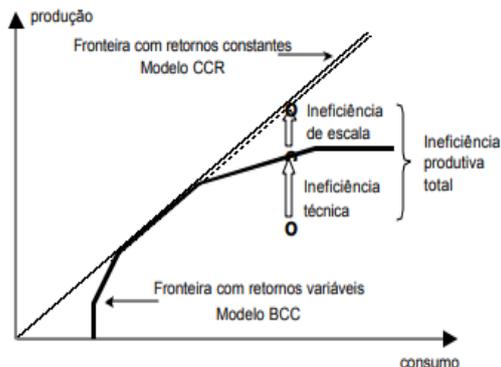
Figura 5 - Modelo BCC orientado a inputs



Fonte: Mello (2005)

A diferença entre os modelos CCR e BCC, de acordo com Belloni (2000), é o que o primeiro obtém um indicador de eficiência produtiva, enquanto o desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper obtém um indicador de eficiência técnica isolando da ineficiência produtiva a componente associada à ineficiência de escala e, portanto, apresenta a ineficiência puramente técnica, conforme a ilustração da Figura 6.

Figura 6 – Fronteira de Produção dos Modelos CCR e BCC



Fonte: Belloni (2000)

### 2.3.3 Método da supereficiência em DEA

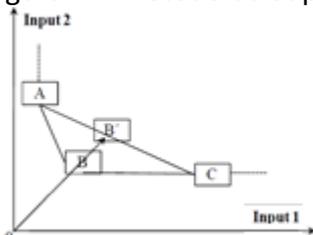
O método da Supereficiência foi desenvolvido pelos autores Adersen e Petersen, em 1993, para promover eventuais desempates entre unidades produtivas eficientes nas análises DEA, sem causar alterações na ordem das DMUs ineficientes (LETA et al., 2005).

A Supereficiência permite identificar dentre as unidades eficientes o quanto pode-se aumentar ou diminuir os inputs e outputs, desde que as mesmas permaneçam eficientes face às demais. Desta forma, efetua-se um ranking entre aquelas “mais eficientes” (100% de eficiência). Uma dada unidade em avaliação passa a ser avaliada sob a ótica de uma nova Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.13, Edição Especial 3, 2020.

fronteira da qual não fazia parte durante a primeira análise de eficiência, comparando-a as outras DMUs eficientes (LOLLI, 2014; VALENTE, 2009).

Por exemplo, a Figura 7 ilustra três DMUs eficientes, A, B e C, de acordo com o modelo CCR orientado a inputs. Se B for retirada da análise, cria-se uma nova fronteira de eficiência conectando A a C e, a supereficiência de B será dada pela razão  $OB'/OB$  maior que um.

Figura 7 – Método da Supereficiência



Fonte: Lovell e Rouse (2003)

A compreensão destas definições permite o desenvolvimento da próxima seção, referente aos procedimentos de seleção de recursos, produtos e DMUs a serem utilizadas neste artigo, bem como seus devidos critérios de escolha.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Seleção dos *inputs* e *outputs*

A seleção dos inputs e outputs a serem utilizados neste trabalho foi determinada a partir de uma pesquisa bibliográfica para averiguar quais os dados de entrada e de saída são usualmente escolhidos neste tipo de estudo.

A técnica de pesquisa bibliográfica utilizada primeiramente foi a de revisão descritiva ou sistemática que é realizada a partir da coleta, compilação e sistematização de dados numéricos que indicam a frequência dos tópicos e métodos encontrados na literatura existente (PARÉ et Al., 2013).

A plataforma de dados utilizada para esta técnica foi a dos Periódicos da Capes. Inicialmente, as palavras-chaves pesquisadas foram: "*data envelopment analysis*" and "*port efficiency*", o que resultou em 978 trabalhos publicados, no entanto, majoritariamente, as publicações estavam voltadas a terminais de contêineres. Assim, no intuito de direcionar a Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.13, Edição Especial 3, 2020.

pesquisas para a área de granéis, inseriram-se as seguintes palavras-chave: "data envelopment analysis" and "bulk port efficiency". A seleção dos artigos foi determinada visando análises de eficiência operacional dos portos, excluindo trabalhos que utilizassem DEA para fins não relacionados ao setor portuário e trabalhos que fossem exclusivos de outras cargas. Portanto, a seleção final contou com 11 publicações, conforme a Tabela 6, que utilizaram entre suas DMUs terminais de granéis sólidos, exclusivamente ou não.

Tabela 6 – Pesquisa Sistemática

<b>Pesquisa</b>	<b>Filtro</b>	<b>Resultados</b>	<b>Seleção</b>
<i>"data envelopment analysis" and "port efficiency"</i>	Idiomas: Inglês, Espanhol e Português	978	<b>11</b>
<i>"data envelopment analysis" and "bulk port efficiency"</i>	Idiomas: Inglês, Espanhol e Português	234	

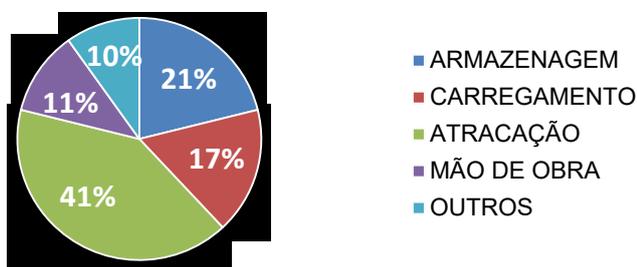
Fonte: Elaborada pela Elaborado pelas autoras (2019).

Posteriormente, reconhecendo a dificuldade de encontrar trabalhos que selecionassem, exclusivamente, terminais de granéis sólidos realizou-se a técnica de pesquisa arbitrária que é definida por Alves (2019) como “[...] uma busca arbitrária, não sendo pré-determinada e específica, e que não busca a generalização ou compilação de publicações acerca do tema”. A seleção final através das duas técnicas de pesquisa resultou na avaliação de dezessete trabalhos, dentre os quais apenas seis pesquisas foram realizadas exclusivamente em portos de granéis sólidos.

As informações de dados de entrada e saída encontradas foram analisadas e divididas em áreas. Os dados de inputs foram separados em relação à atracação das embarcações, capacidade de armazenagem dos terminais, capacidade de carregamento, mão de obra disponível e outros. As parcelas mais significativas foram atracação, armazenagem e carregamento, sequencialmente, e as porcentagens estão dispostas no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Frequência de inputs adotados em outros estudos

### INPUTS

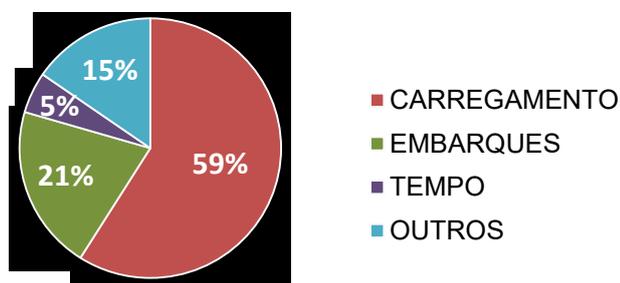


Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Em relação aos *outputs*, seguindo a mesma lógica de agrupamento, os dados mais relevantes estão associados, predominantemente, ao carregamento (59%) seguido de embarques, outros e tempo. As informações estão dispostas no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Frequência de outputs adotados em outros estudos

### OUTPUTS



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

A seleção dos *inputs* e *outputs* a serem utilizados no presente estudo foi determinada a partir desses subgrupos de recursos e produtos. Optou-se por selecionar quatro *inputs*, dois referentes à parcela de maior importância, atracação (número de berços e comprimento de berço), e dois referentes, respectivamente, à armazenagem (capacidade de armazenagem) e carregamento (prancha média). Quanto aos *outputs* selecionou-se, primeiramente, o carregamento anual, que correspondeu a 54% dentre os 59% do subconjunto de carregamento e, no intuito de trazer alguma singularidade a este trabalho, diferenciando-o do que é usualmente utilizado, inclui-se um segundo *output* relativo ao tempo operacional. A Figura 8 ilustra o fluxograma das variáveis a serem utilizadas.

Figura 8– Inputs e Outputs selecionados



Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

### 3.2 SELEÇÕES das DMUs e do *Software* de análise da eficiência

A seleção das DMUs (terminais de granéis sólidos) foi apresentada na seção 2, conforme as Tabelas 3, 4 e 5, segundo as informações fornecidas pela ANTAQ (2018) dos principais terminais movimentadores de granéis sólidos. Realizou-se então, uma pesquisa de dados a partir dos *sites* dos terminais, da ANTAQ, do Laboratório de Transporte e Logística da UFSC (LabTrans) e/ou através do contato com os operadores logísticos responsáveis pelos portos. A única ausência foi em relação ao *Terminal Ternium Br*, responsável pelo terceiro maior número de toneladas de carvão desembarcadas no Brasil, para o qual não obteve-se retorno quanto ao fornecimento de dados, portanto não foi possível incluí-lo a este estudo. As Tabelas 7, 8 e 9 correspondem aos dados coletados.

Tabela 7 - Dados de Terminais de Minério de Ferro

TERMINAL	Nº BERÇOS	COMP. BERÇO (m)	PRANCHA MÉDIA (ton/hr)	ARMAZENAGEM (ton)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Hr)	CARREGAMENTO (Mton/ano)
Ponta da Madeira	5	520	7.916	7.200.000	28,6	197,09
Tubarão	3	365	5.299	2.261.850	29,7	96,73
Itaguaí (Sepetiba)	3	320	3.788	3.200.000	45,4	48,46
Ilha Guaíba	2	340	3.607	1.778.000	58,3	41,18
Porto Sudeste do Brasil	2	383	5.406	2.500.000	30,3	10,64
Porto Do Açú	2	300	5.179	1.218.000	32,7	3,22
Porto Gregório Curvo	3	120	627	250.000	3,4	2,47
Granel Química Ladário	3	60	525	700.000	4,7	0,71
Terminal Ponta Ubu	3	308	699	1.800.000	53,7	0,08

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Tabela 8 - Dados de Terminais de Soja

TERMINAL	Nº BERÇOS	COMP. BERÇO (m)	PRANCHA MÉDIA (ton/hr)	ARMAZENAGEM (ton)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Hr)	CARREGAMENTO (Mton/ano)
Santos	8	276	868	585.000	68,6	15,57
Paranaguá	13	245	1.037	1.550.000	57,0	15,36
Itaqui	1	280	1.115	255.000	56,3	8,54
Rio Grande	6	350	1.038	905.000	52,9	6,56
São Francisco Do Sul	2	276	852	364.000	77,6	5,48
Terminal De Tubarão	2	280	1.258	442.000	47,0	4,08
Terminal Cotegipe	2	260	801	396.000	81,4	3,78
Terminal Bianchini	3	280	1.364	980.000	43,8	3,59
Tiplam	1	280	729	342.500	82,2	3,30
Terminal Hermasa	2	86	632	327.000	106,1	2,71

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Tabela 9- Dados de Terminais de Carvão Mineral

TERMINAL	Nº BERÇOS	COMP. BERÇO (m)	PRANCHA MÉDIA (ton/hr)	ARMAZENAGEM (ton)	TEMPO DE OPERAÇÃO (Hr)	CARREGAMENTO (Mton/ano)
Terminal Praia Mole	2	400	796	920.000	96,8	10,40
Terminal Do Pecém	2	310	544	0	131,5	5,17
Itaguaí	2	270	619	550.000	100,7	2,44
Itaqui	2	251,5	415	108.000	118,5	0,64
Vila Do Conde	2	292	445	28.400	106,3	0,57
Vitória	2	201,2	361	18.000	64,7	0,40
Porto Do Açú	1	340	805	200.000	49,5	0,24
Imbituba	2	410	255	90.000	77,2	0,10

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Ao analisar as tabelas, notam-se algumas discrepâncias de dados que podem influenciar nos resultados. A primeira observação é quanto ao Terminal Marítimo Ponta Ubu, na Tabela 7, que possui uma capacidade de armazenamento de 1.800.000 toneladas que é relativamente alta; na qual esperava-se encontrar um número menor, pois é o terminal de menor movimentação anual. Esta informação procede do LabTrans da UFSC que auxilia na elaboração de diversos Planos de Desenvolvimento e Zoneamentos de terminais brasileiros. A Samarco, responsável pelo terminal, foi comunicada a respeito dos dados e foi solicitado a confirmação dos mesmos, porém até o presente momento, não se obteve retorno.

A segunda observação é referente à Tabela 8, quanto ao Terminal Portuário do Pecém que possui uma capacidade de armazenamento de carvão igual à zero, isto é devido à característica de descarregamento e transporte do terminal. Segundo informações contidas no Plano Mestre (2015) do mesmo, o descarregamento é realizado de maneira contínua por

uma correia transportadora com extensão de aproximadamente 14 km para as usinas termoelétricas da região.

A fim de analisar a eficiência dos terminais graneleiros selecionados, optou-se por utilizar um software comercial devido à praticidade de uso e, o fato de já haver uma licença adquirida pelo projeto aprovado, CNPq Universal, sob o número 441515/2014-2, sob coordenação da professora Vanina M. Durski Silva da UFSC - Joinville, sem gerar ônus adicional ao desenvolvimento deste estudo. O software selecionado para resolução da problemática utilizando o Método de Análise Envoltória de Dados (DEA) foi o Frontier Analyst versão 4.3.0. A partir da definição das DMUs, variáveis de entrada e saída e do software pode-se prosseguir para as análises de resultados.

## **4 RESULTADOS**

A partir da seleção das DMUs e do software foi possível realizar a análise de resultados, a qual foi elaborada conforme os modelos DEA para dois diferentes cenários. O primeiro (Cenário A) referente aos terminais de cada produto separadamente e o segundo (Cenário B), avaliando todos os terminais no intuito de verificar se há disparidade entre terminais que embarcam e desembarcam granéis sólidos.

### **4.1 CENÁRIO A**

#### **4.1.1 Terminais de Minério**

Este primeiro cenário contempla as análises realizadas entre os terminais de cada produto separadamente. A Tabela 10 expõe os resultados encontrados para os terminais de minério de ferro, na qual verifica-se que quatro terminais obtiveram eficiências máximas em ambos modelos e orientações, ou seja, tais terminais têm melhor aproveitamento de recursos e produtos. Sendo que o terminal de Gregório Curvo (MS) foi mais vezes utilizado como referência nas análises de benchmarking (15 vezes), contabilizando os quatro campos de dados – dos dois modelos e duas orientações.

Tabela 10 – Resultados para terminais de minério de ferro

TERMINAIS DE MINÉRIO DE FERRO	CCR		BCC		Benchmarking
	IN	OUT	IN	OUT	
Granel Química Ladário	100%	100%	100%	100%	7
Ilha Guaíba	63%	63%	100%	100%	5
Itaguaí	54%	54%	87%	72%	0
Ponta da Madeira	100%	100%	100%	100%	14
Porto Do Açú	19%	19%	100%	100%	2
Porto Gregório Curvo	100%	100%	100%	100%	15
Porto Sudeste do Brasil	29%	29%	100%	100%	2
Terminal Ponta Ubu	6%	6%	98%	6%	0
Tubarão	100%	100%	100%	100%	9

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

O software fornece as contribuições dos input/output sobre os resultados de cada terminal, variando de 0 a 100, sendo que valores positivos representam interdependências com os resultados e nulos equivalem a quais dados foram ignorados.

Considerando os terminais de maior eficiência (Granel Química Ladário, Ponta da Madeira, Gregório Curvo e Tubarão), os índices de correlação, fornecidos pelo software, estão dispostos na Tabela 11. A respeito destes índices, o software não fornece os valores dos pesos de cada variável utilizados no cálculo de eficiência, o que o mesmo fornece é uma correlação, em porcentagem, dos inputs e outputs sobre os resultados encontrados.

Nota-se, Tabela 11, que o output carregamento anual foi utilizado por todas as quatro DMUs. Tubarão e Ponta da Madeira apresentam preponderância nos dados de carregamento anual (Tabela 7) o que explica a valorização desta saída para o cálculo de eficiência das mesmas. Já Gregório Curvo e Granel Química Ladário, apresentam os menores tempos operacionais conforme a Tabela 7, por isso obtém-se altos valores de correlação. Vale salientar que para o output de tempo de operação, a eficiência é calculada de maneira inversa, pois quanto menor for este valor, mais eficiente será um terminal.

Tabela 11 – Índices de correlação para terminais mineraleiros

Terminais	Gregório Curvo	Tubarão	Granel Química Ladário	Ponta da Madeira
<b>Inputs</b>	Nº de Berço	0	81,6	0
	Comp. Berço	91,7	0	99,9
	Prancha-média	0	0	0
	Armazenagem	8,2	18,3	0
<b>Outputs</b>	Tempo de Operação	92,1	9,3	96,9
	Carregamento Anual	7,8	90,6	3

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

No intuito de se obter um *ranking* entre as unidades tomadoras de decisão e diferenciar as que atingiram  $Eff_0=1$ , utilizou-se o conceito de supereficiência, que segundo Valente (2009), “consiste na análise individual de cada DMU quando excluída do conjunto de observações de referência da DEA”. Deste modo, caso seja orientada por inputs, a DMU poderá aumentar os recursos alocados e ainda assim se manter eficiente; a disposição deste *ranking* está na Tabela 12.

Tabela 12 – Ranking de terminais de minério

<b>Ranking</b>	<b>Terminais</b>	<b>Supereficiência</b>
1	Porto Gregório Curvo	400,30%
2	Tubarão	156,60%
3	Granel Química Ladário	144,70%
4	Ponta da Madeira	143,00%
5	Ilha Guaíba	63,00%
6	Itaguaí	53,70%
7	Porto Sudeste do Brasil	29,10%
8	Porto Do Açú	19,10%
9	Terminal Ponta Ubu	6,30%

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

A respeito destes resultados é interessante averiguar que dois portos fluviais, Gregório Curvo e Granel Química Ladário, estão dentre as quatro primeiras colocações. Os dois terminais estão localizadas na Hidrovia Paraguai-Paraná no estado do Mato Grosso do Sul e são abastecidos por cargas provenientes do transporte ferroviário. As principais variáveis que contribuíram para os altos resultados de eficiência foram o comprimento de berço e tempo de operação, apresentando valores inferiores em relação aos demais terminais (Tabela 7).

As quatro DMUs de pior desempenho (Itaguaí, Porto Sudeste do Brasil, Porto do Açú e Terminal Ponta Ubu) foram analisadas de forma individual quanto aos possíveis potenciais de melhorias, tal informação também é fornecida pelo software. A Tabela 13 expõe os potenciais de melhoria para o Terminal Marítimo Ponta Ubu.

Tabela 13 – Potenciais de melhoria para o Terminal Marítimo Ponta Ubu

<b>Terminal Ponta Ubu</b>	<b>Encontrado</b>	<b>Proposto</b>
<b>CARREGAMENTO (Mton/ano)</b>	0,08	0,16
<b>Nº BERÇOS (unid)</b>	3,00	0,19
<b>TEMPO DE OPERAÇÃO (hr)</b>	53,70	53,7
<b>COMP. BERÇO (m)</b>	308,00	7,60

<b>Terminal Ponta Ubu</b>	<b>Encontrado</b>	<b>Proposto</b>
<b>PRANCHA MÉDIA (ton/hr)</b>	699,00	39,70
<b>ARMAZENAGEM (ton)</b>	1.800.000,00	15.829,00

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

A correta interpretação dos dados exige uma comparação com a realidade enfrentada pelos portos, como por exemplo: não é possível tornar a quantidade de berços em um número não inteiro ou, a diminuição drástica do comprimento de berço, impossibilitaria a atracação de navios. Portanto, a proposta mais adequada aos terminais seria reduzir a capacidade de armazenagem, o que também poderia causar um impacto positivo sobre o tempo operacional. De acordo com uma conversa via telefone com o especialista responsável pela área operacional do Porto de Vitória, geralmente o pátio de estocagem é utilizado por muitos operadores logísticos, o que ocasiona atrasos nos processos de carregamento e aumenta a demurrage sobre os navios; diminuir a capacidade de armazenagem ou realocá-la em uma área externa ao terminal pode contribuir para redução do tempo de carregamento.

Conforme os resultados calculados pelo método, as proposições quanto à redução das capacidades de armazenamento dos quatro terminais de pior desempenho (Itaguaí, Porto Sudeste do Brasil, Porto do Açú e Terminal Ponta Ubu) estão dispostas na Tabela 14.

Tabela 14 – Potenciais de melhoria para terminais pouco eficientes

<b>Terminais</b>	<b>Encontrado (ton)</b>	<b>Proposto (ton)</b>
Terminal Marítimo Ponta Ubu	1.800.000	15.829
Porto Do Açú	3.200.000	1.718.555
Porto Sudeste do Brasil	2.500.000	405.623
Itaguaí	3.200.000	1.718.555

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

No entanto, apenas com o Método DEA não é possível investigar estas informações a fundo; sendo necessário um estudo direcionado para avaliar a situação de cada terminal. Algumas ponderações podem ser feitas, por exemplo, como já mencionado na seção 2, uma pequena capacidade de armazenagem pode resultar no aumento do tempo de espera de navios, e grandes dimensões de pátio dificultam a recuperação do investimento, por isso cada terminal deve buscar um tamanho de pátio de armazenagem ótimo que atenda a suas necessidades, evitando o super ou subdimensionamento.

#### 4.1.2 Terminais de soja

Em seguida foi realizada a análise dos terminais de soja, ver Tabela 15, os quais apresentaram menores discrepâncias de eficiência e maiores quantidades de DMUs com eficiências ótimas, totalizando 8 entre as 10 listadas.

Tabela 15 – Resultados para terminais de soja

TERMINAIS DE SOJA	CCR		BCC		Benchmarking
	IN	OUT	IN	OUT	
Itaqui	100%	100%	100%	100%	10
Paranaguá	100%	100%	100%	100%	4
Rio Grande	100%	100%	100%	100%	10
Santos	100%	100%	100%	100%	8
São Francisco Do Sul	91%	91%	94%	92%	0
Terbian - Terminal Bianchini	100%	100%	100%	100%	4
Terminal De Tubarão - TPD	100%	100%	100%	100%	11
Terminal Hermasa	100%	100%	100%	100%	8
Terminal Cotegipe	90%	90%	93%	92%	0
Tiplam	100%	100%	100%	100%	12

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Realizando a análise com orientação para *inputs* no modelo de retorno constante para os terminais de Cotegipe e São Francisco do Sul (SFS), verifica-se, Tabela 16, que as variáveis que exercem maiores influências sobre os resultados destes terminais são prancha média e tempo de operação.

Tabela 16 – Correções de variáveis para Cotegipe e SFS

Terminais	SFS	Cotegipe
<b>Inputs</b>		
Nº de Berço	4,8	5,1
Comp. Berço	0	0
Prancha-média	94,3	93,4
Armazenagem	1	1,2
<b>Outputs</b>		
Tempo de Operação	93,2	95,2
Carregamento	6,1	4,4

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

A sugestão de potencial melhoria considera realizar um incremento no volume embarcado de 10,88% e 10,01% para Cotegipe e SFS, respectivamente, e uma redução de aproximadamente 10% no tempo de operação dos dois terminais, conforme a Tabela 17.

Tabela 17 – Proposta de Melhorias

Potencial de Melhoria Para Carregamento Anual			
Terminais	Encontrado (Mton)	Proposto (Mton)	% de Melhoria
Terminal Cotegipe	3,78	4,19	10,88%
São Francisco Do Sul	5,48	6,03	10,01%
Potencial de Melhoria Para Tempo de Operação			
Terminais	Encontrado (Hr)	Proposto (Hr)	% de Melhoria
Terminal Cotegipe	77,6	70,616	-9,00%
São Francisco Do Sul	81,4	73,26	-10,00%

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Percebe-se que quanto à capacidade de armazenamento, não são necessárias melhorias visto que todos os terminais de soja considerados estão bem dimensionados, mesmo havendo uma condicionante a mais para terminais de grãos que é o efeito da sazonalidade, provocando maiores movimentações nos terminais em determinados períodos do ano.

Novamente, utilizando o conceito de supereficiência para a primeira coluna de eficiência, obteve-se o ranking das melhores DMUs, conforme a Tabela 18, na qual o Porto de Itaquí apresentou a maior folga quanto a aumentar seus *inputs* e mesmo assim, permanecer eficiente.

Tabela 18 – Ranking de terminais de soja

Ranking	Terminais	Supereficiência
1	Itaquí	285%
2	Santos	176%
3	Terminal Hermasa	139%
4	Paranaguá	118%
5	Rio Grande	108%
6	Terminal De Tubarão - TPD	107%
7	Terbian - Bianchini	101%
8	Tiplam	101%
9	São Francisco Do Sul	91%
10	Terminal Cotegipe	90%

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

#### 4.1.3 Terminais de carvão

Na sequência, o estudo de portos de carvão foi realizado e partir das correlações input/output é possível perceber uma preponderância dos dados de prancha média e carregamento anual sobre os cálculos de eficiência (tabela 19), mesmo existindo diferenças

significativas como entre os terminais de imbituba (255 ton/hr) e porto do aço (805 ton/hr), (tabela 9).

Tabela 19 – Índices de interdependência para terminais de carvão

	Terminais	Imbituba	Aço	Praia Mole	Pecém	Vitória
<b>Inputs</b>	Nº de Berço	0	0	0	0	0
	Comp. Berço	0	0	0	0	99,9
	Prancha-média	99,9	99,9	99,9	99,9	0
	Armazenagem	0	0	0	0	0
<b>Outputs</b>	Tempo de Operação	99,9	98,6	0	0	0
	Carregamento	0	1,1	99,9	99,9	99,9

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Nota-se na Tabela 20, que cinco terminais obtiveram eficiências iguais a um e que os terminais Porto do Aço e Vitória foram as maiores referências na análise de benchmarking, ou seja, é possível que na construção da fronteira de eficiência as DMUs ineficientes estavam localizadas abaixo da fronteira, mas próximas a estes terminais, por isso foram mais vezes utilizados na análise comparativa.

Tabela 20 – Resultados para terminais de carvão

TERMINAIS DE CARVÃO	CCR		BCC		Benchmarking
	IN	OUT	IN	OUT	
Imbituba	100%	100%	100%	100%	5
Itaguaí	70%	70%	95%	70%	0
Itaqui	55%	55%	96%	55%	0
Porto Do Aço	100%	100%	100%	100%	16
Terminal Praia Mole	100%	100%	100%	100%	11
Terminal Do Pecém	100%	100%	100%	100%	9
Vila Do Conde	61%	61%	96%	63%	0
Vitória	100%	100%	100%	100%	16

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

A análise da supereficiência indicou que a DMU mais eficiente foi o Terminal Portuário do Pecém (Tabela 21), que poderia incrementar em 1.000% seus inputs e continuar eficiente. Obviamente, não é de interesse de nenhum porto aumentar seus recursos sem necessidade, contudo, o cálculo de supereficiência é baseado na folga que os terminais teriam para aumentar variáveis de entrada, caso o modelo seja orientado a *inputs* ou de diminuir saídas, caso seja orientado a *outputs*. A intenção é encontrar uma maneira de ordenar os terminais em um *ranking* e não, de promover sugestões de melhorias baseada nestas informações.

Tabela 21 – Ranking de terminais de carvão

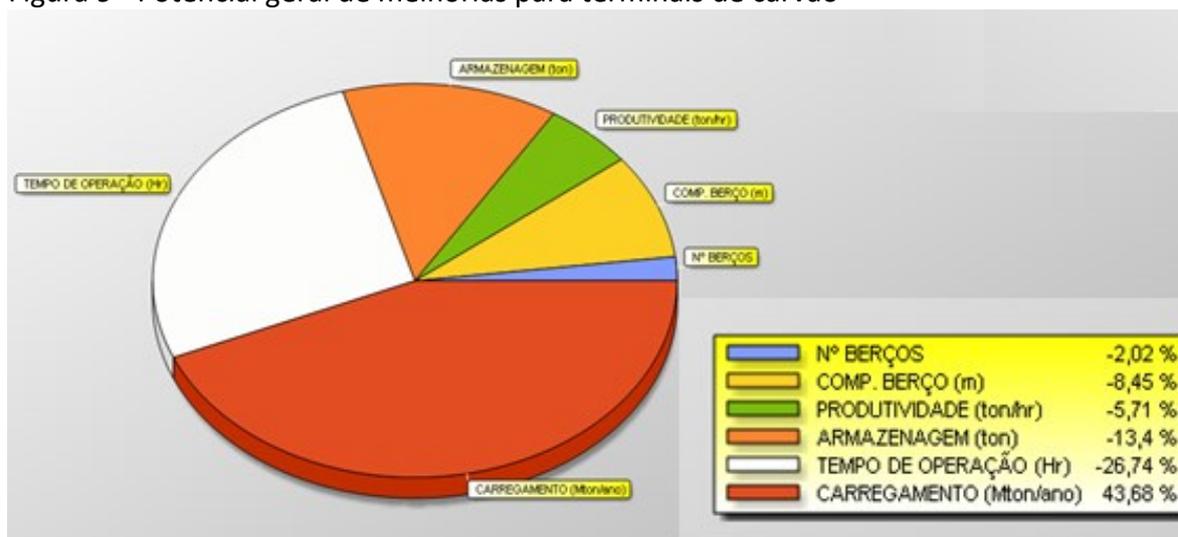
Ranking	Terminais	Supereficiência
1	Terminal Do Pecém	1000%
2	Porto Do Açú	261%
3	Vitória	260%
4	Terminal Praia Mole	201%
5	Imbituba	119%
6	Itaguaí	70%
7	Vila Do Conde	61%
8	Itaqui	55%

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Ainda quanto ao terminal do Pecém, era esperado que a armazenagem tivesse forte interdependência com os resultados (Tabela 19), visto que o valor desta entrada é nulo e um diferencial comparado aos demais, porém este item não foi contabilizado na análise de eficiência e sim, de forma expressiva, na de supereficiência.

As melhorias propostas foram baseadas no gráfico da Figura 9, que expõe o potencial geral de melhorias em cada variável (input e output). Segundo o mesmo, os outputs de maior significância para aumentar o percentual de eficiência são tempo de operação e carregamento anual, que poderiam ter uma redução e incremento médio de -26,74% e 43,68%, respectivamente.

Figura 9 - Potencial geral de melhorias para terminais de carvão



Fonte: Software Frontier Analyst (2019)

## 4.2 CENÁRIO B

Os autores Oliveira e Cariou (2011) afirmaram que existem diferenças significativas entre portos de carga e descarga (importam/exportam mercadorias), principalmente em taxas de carregamento. Baseando-se nesta afirmação, propõe-se o cenário B, criado para avaliar a influência a cerca dos processos de carregamento/d Descarregamento de navios na eficiência de terminais.

Como já mencionado, geralmente a descarga é realizada por equipamentos tipo Grab (descontínuo) o que provoca menores números de prancha média. Esta informação pode ser comprovada analisando os dados de entrada de cada terminal quanto ao carregamento/d Descarregamento (ton/hr) na Tabela 22. Ordenando os valores encontrados em ordem crescente, sem identificar os terminais (linhas), e utilizando uma escala de cores (na qual, verde representa maiores valores de prancha média e vermelho, menores) nota-se que os terminais de carvão não apresentaram valores acima de 900 ton/hr.

Tabela 22 – Prancha média (ton/hr) dos terminais

Minério	Soja	Carvão
525	632	255
627	729	361
699	801	415
3.607	852	445
3.788	868	544
5.179	1.037	619
5.299	1.038	796
5.406	1.115	805
7.916	1.258	
	1.364	

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

A construção do *ranking*, Tabela 23, foi realizada a partir do modelo de eficiência produtiva com orientação a *inputs*, da análise de supereficiência e de *bechmarking*. A unidade produtiva mais supereficiente foi o Terminal do Pecém responsável pela importação de carvão; dado os relativos baixos valores de prancha média para terminais que importam mercadorias, este primeiro lugar no *ranking* com todas as DMUs (carvão, minério e soja) poderia gerar certa estranheza. Mas, com o auxílio da observação realizada na seção 3, este resultado pode ser justificado.

O descarregamento realizado no Terminal Portuário do Pecém é de modo contínuo através de um equipamento de capacidade de 2.400 ton/hr, segundo dado da VLI (empresa responsável pelas operações logística do porto). Além disso, a capacidade de armazenamento do terminal é nula, pelo fato de haver correias transportadoras com extensão de 13,7 km que conduzem o carvão até usinas termoelétricas da região que irão consumir este produto, justificando a não necessidade de se manter armazenagem no terminal. Acredita-se que estas informações de entradas exerçam forte influência sobre os resultados encontrados.

Tabela 23 - Ranking de todos os terminais

<b>Ranking</b>	<b>Produto</b>	<b>Terminais</b>	<b>Supereficiência</b>	<b>CCR</b>	<b>Benchmarking</b>
1	Carvão	Terminal Do Pecém	1000%	100%	7
2	Minério	Porto Gregório Curvo	365%	100%	23
3	Minério	Tubarão	149%	100%	12
4	Minério	Granel Química Ladário	145%	100%	1
5	Minério	Ponta da Madeira	143%	100%	16
6	Soja	Santos	85%	85%	-
7	Soja	Itaqui	73%	14%	-
8	Minério	Ilha Guaíba	63%	63%	-
9	Soja	Paranaguá	62%	62%	-
<b>Ranking</b>	<b>Produto</b>	<b>Terminais</b>	<b>Supereficiência</b>	<b>CCR</b>	<b>Benchmarking</b>
10	Carvão	Vitória	60%	60%	-
11	Carvão	Terminal Praia Mole	54%	54%	-
12	Minério	Itaguaí	54%	54%	-
13	Soja	São Francisco Do Sul	37%	37%	-
14	Minério	Porto Sudeste do Brasil	29%	29%	-
15	Soja	Rio Grande	29%	29%	-
16	Soja	Terminal Cotegipe	27%	27%	-
17	Soja	Tiplam	26%	26%	-
18	Carvão	Vila Do Conde	24%	24%	-
19	Soja	Terminal Hermasa	24%	24%	-
20	Soja	Terminal Tubarão	23%	23%	-
21	Soja	Porto Do Açú	21%	21%	-
22	Minério	Porto Do Açú	19%	19%	-
23	Carvão	Itaguaí	19%	19%	-
24	Carvão	Itaqui	14%	14%	-
25	Soja	Terbian Bianchini	14%	14%	-
26	Carvão	Imbituba	12%	12%	-
27	Minério	Terminal Ponta Ubu	6%	6%	-

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

Embora o Terminal do Pecém tenha obtido uma supereficiência notória (1.000%), o porto que teve maior frequência no benchmarking geral foi o Porto Gregório Curvo responsável pelo embarque de minério de ferro, seguido pelo Terminal de Ponta da Madeira e de Tubarão, também mineraleiros. A respeito dos dados de eficiência, nota-se ao avaliar os dez primeiros colocados, que os terminais que exportam minério foram preponderantes e quanto aos vinte primeiros, os terminais de soja obtiveram uma maior quantidade de portos desta seleção (Tabela 24).

Tabela 24 – Quantidade de terminais melhores colocados por mercadoria

<b>Terminais</b>	<b>Entre os 10 primeiros</b>	<b>Entre os 20 primeiros</b>
Carvão	2	4
Minério	5	7
Soja	3	9

Fonte: Elaborado pelas autoras (2019).

De certa forma, identifica-se uma sensível superioridade de eficiência de terminais exportadores diante dos importadores, porém é necessário um estudo com um maior número de DMUs para de fato verificar esta tendência. Outra observação a respeito disto, é que em números de movimentação destes granéis, o Brasil mais exporta do que importa, por isso é compreensível que os terminais de minério de ferro e soja tenham valores superiores de entrada e saída, sugerindo-se que terminais importadores não têm como objetivo primário o foco em operações de descarga, justificando a baixa eficiência operacional. A exemplo disto, têm-se os terminais de Itaqui (movimentador de carvão e soja) e Itaguaí (movimentador de carvão e minério de ferro), que apresentaram eficiência relativamente superiores nas mercadorias soja e minério de ferro em relação ao carvão, conforme a Tabela 23.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste artigo, foram estimados os índices de eficiência dos principais terminais de granéis sólidos brasileiros e avaliadas as possíveis variáveis que exercem influência sobre a eficiência dos mesmos. A utilização da Análise Envoltória de Dados foi escolhida por ser um método de simples aplicação e uma boa ferramenta de auxílio para o cálculo de eficiências técnica e produtiva.

O estudo foi realizado em sete etapas: a primeira consistiu-se em uma pesquisa sistemática para encontrar, a partir de trabalhos existentes, as variáveis frequentemente utilizadas no estudo de terminais portuários. Na etapa seguinte, selecionou-se tais variáveis e optou-se por adicionar mais um output relacionado ao tempo operacional dos terminais. As etapas três e quatro contemplam busca de dados e seleção de software para realização da análise da eficiência e puderam ser realizadas de maneira simultânea; já as etapas finais foram respectivamente, a criação de cenários, o processamento dos dados e análise de resultados.

Os resultados foram gerados a partir dos diferentes modelos e orientações, conforme encontrado na literatura e no intuito de diferenciar as DMUs com eficiências ótimas utilizou-se o conceito de supereficiência, propiciando a criação de rankings de eficiência entre os terminais. Através dos dados gerados pelo software durante a análise, também foi possível encontrar as correlações input/output e os potenciais de melhorias para as DMUs de menor eficiência. Vale salientar que a respeito das sugestões de melhorias o método DEA oferece uma visão geral e relativa no sentido de comparação entre as unidades tomadoras de decisão; para melhores proposições é recomendado um estudo específico para cada terminal.

A análise realizada entre todos os terminais catalogados no estudo indicou o Terminal Portuário do Pecém, que tem como mercadoria movimentada o carvão, como sendo o mais supereficiente, e dado que as pranchas médias de terminais que descarregam granéis são relativamente baixas em comparação aos que embarcam, esperava-se que algum dos terminais exportadores alcançasse a primeira colocação. Contudo, o fato do mesmo não possuir armazéns ou pátios de estocagem, favoreceu os resultados, já que a análise de supereficiência verifica o quanto uma DMU pode aumentar seus recursos e permanecer eficiente. Neste caso, o Terminal do Pecém tem uma folga significativa para o aumento da variável de capacidade de armazenamento.

Em relação ao comparativo de eficiência entre terminais exportadores versus importadores foi possível identificar uma tendência a favor dos terminais que exportam mercadorias, porém esta informação poderia ser melhor verificada a partir do estudo de

mais DMUs. Posto que o Brasil mais exporta que importa granéis sólidos, é interessante avaliá-lo com outros terminais que são importantes consumidores destes produtos.

À luz dos resultados obtidos e informações expostas, pôde-se verificar que o modelo proposto apresentou resultados coerentes e satisfatórios. As análises de potenciais de melhorias podem auxiliar em processos de tomada de decisão por parte de operadores logísticos e autoridades portuárias, quanto melhor alocação/distribuição de inputs e outputs.

Conclui-se que os objetivos propostos foram atingidos e que os resultados encontrados pelo método DEA constituem uma boa ferramenta para verificar os terminais de granéis sólidos mais eficientes do Brasil, analisar quais DMUs servem de parâmetro e quais podem incrementar melhorias.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Carlos Frederico. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TERMINAIS DE CONTÊINERES: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO DEA COM A INCLUSÃO DE UM INSUMO INTANGÍVEL**. 2019. 246 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Cap. 106.

ANTAQ. **ANUÁRIO 2018**. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/ANUARIO/>. Acesso em: 05 jun. 2019.

BELLONI, José Angelo. **Uma Metodologia de Avaliação da Eficiência Produtiva de Universidades Federais Brasileiras**. 2000. 246 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/78457/153160.pdf?seq%20uence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 abr. 2019.

COOPER, W.W., Park, K.S., Yu, G., 1999. **IDEA and ARIDEA: Models for dealing with imprecise data in DEA**. *Management Science* 45, 597–607.

DEVELOPMENT, United Nations Conference On Trade And. **REVIEW OF MARITIME TRANSPORT**. 2017. Disponível em: [https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2017\\_en.pdf?user=46](https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2017_en.pdf?user=46). Acesso em: 02 nov. 2018.

FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal Of The Royal Statistical Society**. Cambridge, v. 3, n. 120, p.1-38, 1957. Disponível em: [https://www.jstor.org/stable/2343100?read-now=1&seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/2343100?read-now=1&seq=1#page_scan_tab_contents).  
Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.13, Edição Especial 3, 2020.

Acesso em: 02 nov. 2018.

FIGUEIREDO, G. S. O Papel dos Portos Concentradores na Cadeia Logística Global. Anais do XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção Bahia, 2001. FORUM, World Economic. Disponível em:

[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2001\\_TR11\\_0464.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2001_TR11_0464.pdf). Acesso em: 03 jun. 2019

LOVELL, C. A. Knox; FRIED, Harold O.; SCHMIDT, Shelton. S. **THE MEASUREMENT OF PRODUCTIVE EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY GROWTH**. New York: Oxford University Press, 2008. 638 p. Disponível em:

<http://pages.stern.nyu.edu/~wgreene/FrontierModeling/SurveyPapers/Lovell-Fried-Schmidt.pdf>. Acesso em: 15 out. 2018.

LETA, Fabiana Rodrigues; MELLO, João Carlos C. B. Soares de; GOMES, Eliane Gonçalves. **Métodos de Melhora de Ordenação em DEA Aplicados à Avaliação Estática de Tornos Mecânicos**. Disponível em:

<http://www.scielo.mec.pt/pdf/iop/v25n2/v25n2a04.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2019

LINES, Mitsui O.s.k. **Annual Report 2017**. Disponível em:

<https://www.mol.co.jp/en/ir/data/annual/pdf/ar-e2017.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2019.

LOLLI, Paola Lemos. UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA) COMO MODELO PARA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA FINANCEIRA. 2014.

Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/158376/001022066.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 jun. 2019.

MAGALHÃES, Petrônio Sá Benevides. **Transporte Marítimo - Cargas, Navios, Portos e Terminais**. São Paulo: Aduaneiras, 2010.

MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de; MEZA, Lidia Angulo; GOMES, Eliane Gonçalves. **CURSO DE ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS**. 2005.

Disponível em:

[https://www.researchgate.net/profile/Joao\\_Mello/publication/237473886\\_CURSO\\_DE\\_ANALISE\\_DE\\_ENVOLTORIA\\_DE\\_DADOS/links/0deec5226afdc4f679000000/CURSO-DE-ANALISE-DE-ENVOLTORIA-DE-DADOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Joao_Mello/publication/237473886_CURSO_DE_ANALISE_DE_ENVOLTORIA_DE_DADOS/links/0deec5226afdc4f679000000/CURSO-DE-ANALISE-DE-ENVOLTORIA-DE-DADOS.pdf). Acesso em: 15 maio 2019.

OLIVEIRA, Gabriel Figueiredo de; CARIOU, Pierre. A DEA study of the efficiency of 122 iron ore and coal ports and of 15/17 countries in 2005. **Maritime Policy & Management: The Flagship Journal Of International Shipping And Port Research**. Londres, p. 727-743. nov. 2011. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/03088839.2011.625989?needAccess=true>. Acesso em: 22 abr. 2019.

PARÉ, Guy; TRUDEL, Marie-claude; JAANA, Mirou. Synthesizing information systems

Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.13, Edição Especial 3, 2020.

knowledge: A typology of literature reviews. **Elsevier**. Quebec, p. 183-199. jul. 2014.

Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4126344/mod\\_resource/content/2/2.4.Pare%20et%20al.%202015%20-%20literature%20review.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4126344/mod_resource/content/2/2.4.Pare%20et%20al.%202015%20-%20literature%20review.pdf). Acesso em: 22 maio 2019.

PROFILLIDIS, V. A.; BOTZORIS, G. N. **Evolution and Trends of Transport Demand**. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/topics/social-sciences/maritime-transport>. Acesso em: 10 maio 2019.

SOBRAL, Filipe; PECCI, Alketa. **Administração: teoria e prática no contexto brasileiro**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2013.

THE Observatory of Economic Complexity. Disponível em: <https://atlas.media.mit.edu/en/>. Acesso em: 30 maio 2019.

WILMSMEIER, Gordon; CULLINANE, Kevin P.b.; NOTTEBOOM, Theo. IAME 2012 – Contemporary studies on maritime transport in Latin America. **The Flagship Journal Of International Shipping And Port Research**. Londres, p. 1-7. maio 2012. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/03088839.2012.729700?needAccess=true>. Acesso em: 18 abr. 2019.