

# APLICAÇÃO DO MÉTODO DEA PARA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE OPERAÇÕES DE DESCARREGAMENTO EM TERMINAIS PORTUÁRIOS DE MINÉRIO DE FERRO

**João Pedro da Silva Ramos**  
**Orivalde Soares da Silva Junior**

Instituto Militar de Engenharia  
Engenharia de Transportes

**Resumo:** O conjunto de informações e conhecimento aliado ao capital estrutural, tem sido necessário para medir o nível de desempenho dos processos de grandes corporações. O artigo tem como propósito realizar uma avaliação de eficiência de operação de descarregamento de minério de ferro em 3 terminais do Rio de Janeiro. A pesquisa foi desenvolvida mediante entrevistas com líderes e técnicos dos terminais estudados para realizar uma avaliação de eficiência que contribua para a gestão de operações portuárias. O resultado mostra como o método prático e robusto da análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) orientada a *output*, pode ser utilizado para calcular a eficiência relativa de determinadas unidades tomadores de decisão, além de poder destacar qual a unidade apresenta a maior eficiência relativa e quais foram as eficiências das outras unidades comparadas a de melhor eficiência. Este estudo apresenta algumas limitações de pesquisa para reduzir algumas subjetividades na interpretação do conteúdo analisado e os resultados são decorrentes de *inputs* e *outputs* selecionados de informações provenientes de controles operacionais do ano de 2019 a 2021.

**Palavras-Chave:** DEA. Eficiência. Descarregamento. Minério de Ferro.

**Abstract:** The set of information and knowledge combined with structural capital has been necessary to measure the performance level of large corporations' processes. The purpose of this article is to carry out an evaluation of the efficiency of an iron ore unloading operation in 3 terminals in Rio de Janeiro. The research was developed through interviews with leaders and technicians of the studied terminals to carry out an efficiency assessment that contributes to the management of port operations. The result shows how the practical and robust method of output-oriented Data Envelopment Analysis (DEA) can be used to calculate the relative efficiency of certain decision-making units, in addition to being able to highlight which unit has the highest relative efficiency and what were the efficiencies of the other units compared to the one with the best efficiency. This study has some research limitations to reduce some subjectivities in the interpretation of the analyzed content, the results are due to selected inputs and outputs of information from operational controls in the year 2019 to 2021.

**Keywords:** DEA. Efficiency. Unloading. Iron ore.

## 1. Introdução

De acordo com Kweon *et al* (2022) o volume global de demanda por transporte marítimo tem aumentado constantemente. Tang *et al* (2022) informa que a exportação de graneis sólidos representam aproximadamente 30% do volume total de mercadorias comercializadas por via marítima. Para atender tal demanda, Guo e Qin (2022) apresentam que o setor de transporte portuário tem atuado como uma ligação entre os sistemas de produção e os centros de consumo. Nesse sentido, os portos são o principal elo na cadeia logística do comércio exterior, sendo, portanto, vital para o desenvolvimento da economia local na função de garantir o transporte de mercadorias de forma eficaz e eficiente (Menegazzo e Fachinello, 2016).

No Brasil, os graneis sólidos são o principal perfil das cargas movimentadas nos portos (da Costa *et al*, 2021). De acordo com o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2021) o minério de ferro representou o maior percentual (16%) de participação na exportação de produtos no Brasil, gerando um total aproximado de US\$ 44,7 bilhões. Além disso, a USGS (2021) divulgou as reservas mundiais de minério de ferro, evidenciando que o Brasil possui a segunda maior reserva de minério de ferro do mundo, com aproximados 34 bilhões de toneladas de minério bruto, abaixo apenas da Austrália com 50 bilhões de toneladas. Corroborando com os estudos de (Sugrue e Adriaens, 2021), portanto, com o desafio de aumentar a competitividade e a economia nacional, é preciso analisar a eficiência das operações dos terminais movimentadores de graneis minerais de forma a aprimorar a qualidade dos serviços prestados, melhorando o aproveitamento da infraestrutura disponível para ampliar a oferta de produtos frente a competitividade mundial.

Além disso, problemas envolvendo análise de eficiência para apoiar a tomada de decisão, têm grande importância no contexto de organizacional. Lopes e Beuren (2017) informam que a tomada de decisão vem direcionando esforços em busca da maximização dos resultados financeiros devido à necessidade de se adequar ao mercado competitivo. É importante saber até que ponto uma determinada indústria pode melhorar sua produção simplesmente aumentando sua eficiência (Farrel, 1957). Com a utilização correta dos recursos e equipamentos, pode-se obter um melhor desempenho das operações, que é um conceito que buscam exprimir o aspecto da realidade das organizações. As constantes mudanças e a crescente competição por mercados em todas as áreas exigem decisões cada vez mais importantes para problemas complexos de tomadores de decisão, geralmente em um curto tempo, aumentando o valor da própria decisão (Moshkovich *et al.*, 2012). Por conta disso, ferramentas são desenvolvidas para fornecer aos líderes o suporte necessário em suas atividades, além da obtenção dessas informações para apoio a tomada de decisão.

O presente artigo tem como objetivo analisar o processo de descarregamento de minério de ferro para comercialização em terminais localizados na região litorânea do Rio de Janeiro. Com intuito de identificar os principais equipamentos que podem contribuir para aumentar a eficiência do processo produtivo. Neste estudo serão analisados 4 viradores de vagões de minério de ferro que operam com o mesmo tipo de material. Para isso, o estudo aborda questões como unidades tomadoras de decisão e eficiência. A partir de conceitos e práticas propostas por Farrel (1957) e as implementações de Charnes, Cooper e Rhodes (1978), o propósito é trazer uma técnica de programação matemática de construção de fronteiras de produção e indicadores da eficiência produtiva para apoiar a tomada de decisão na gestão dos ativos.

Após introduzido, o artigo possui a seguinte estrutura: a seção 2 apresenta o referencial teórico mediante revisão literária abordando temas de eficiência produtiva e equipamentos estudados (viradores de vagões de minério de ferro), bem como a modelagem matemática. A seção 3, aborda a metodologia aplicada para o desenvolvimento do estudo. A seção 4 apresenta os resultados e discussões, bem como os dados obtidos da aplicação do método. A seção 5 traz as considerações finais do trabalho.

## **2. Revisão da literatura**

Para fundamentar o estudo, buscou-se contextualizar a operação de descarregamento de minério de ferro, bem como, a análise de eficiência DEA. Além disso, ainda são evidenciados os detalhes de formulação matemática para obtenção dos resultados.

## Operação de descarregamento de minério

Falcão *et al* (2019), explicam que as infraestruturas de transporte têm uma grande importância para a promoção do desenvolvimento econômico de um país, pois é através da movimentação de pessoas e de mercadorias que se movimenta a economia. Aliado a isto, Guo e Qin (2022), consideram que o porto, é um importante elo da cadeia logística aquaviária e configura-se como terminal intermodal para exportação e importação de produtos.

Glitz (2016) apresenta o operador portuário como aquela “pessoa jurídica” pré-qualificada para exercícios como atividades de movimentação de funcionários ou movimentação e armazenagem de mercadorias, destinadas ou proveniente de transporte aquaviário, dentro da área do porto organizado. Segundo Arasaki (2013), nas operações dos terminais portuários, no que tange o produto, recai sobre duas atividades específicas: a movimentação de cargas e a armazenagem. As atividades portuárias são, basicamente, aplicadas a todos os portos de maneira igualitária. Entretanto, as etapas e sequências a serem seguidas podem sofrer variações, de acordo com a administração do setor portuário.

No mercado de materiais ferrosos, segundo Silva (2000), as empresas mineradoras buscam obter cada vez mais a qualidade dos produtos oferecidos, bem como a eficiência de estoque e distribuição desses, com o intuito de conquistar clientes, oferecendo-lhes produtos cada vez melhores, com custo baixo e entregues no prazo necessário. Esses resultados são alcançados por meio de tecnologias de gestão, com ferramentas capazes de aperfeiçoar e integrar os recursos e processos produtivos, cuja finalidade é de assegurar a sobrevivência da empresa dentro do mercado em que atua, além de equipamentos capazes de realizar a movimentação de material.

O produto principal das operações é operar as instalações de maneira segura, sustentável e eficiente para satisfazer as exigências do cliente. Em terminais movimentadores de minérios de ferro no sentido de exportação, a atividade de descarregamento mineral é considerada primeira frente de atuação. Para isso, são utilizados equipamentos robustos capazes de realizar a descarga de vagões de altas toneladas, conforme Figura 1.



Figura 1 – Virador de vagões de minério de ferro

Fonte: Vale S.A (2022)

De acordo com Moura (2011), o virador de vagões é um equipamento que tem a capacidade de rotacionar até 180° um ou até dois vagões ao mesmo tempo em cada ciclo. A operação é realizada após o posicionamento do trem, acoplamento de engates móveis que fixam os vagões e permitem o giro até o reposicionamento do vagão no trilho. Após essa etapa, o material é direcionado para pátios de estocagem através de correias transportadoras e posteriormente esse material é alocado no interior de porões de navios.

## Análise envoltória de dados – DEA

Segundo Vilela *et al.* (2007) o marco inicial para as primeiras perspectivas sobre o modelo de Análise Envoltória de Dados (do inglês *Data Envelopment Analysis* – DEA) foi desenvolvido durante a década de cinquenta, a partir dos estudos de Farrel (1957). É um método que usa programação linear para calcular eficiências comparativas de Unidades de Tomada de Decisão (Decision Making Unit – DMU). Chaves e Thomaz (2008) assinalam que o DEA é uma técnica relevante para apoio à tomada de decisões de natureza gerenciais, pois possibilita avaliar cenários alternativos, com base nas melhores práticas identificadas através da modelagem matemática.

O objetivo de DEA consiste em comparar um certo número de DMU's que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de *inputs* que consomem e de *outputs* que produzem. Neste sentido, parte-se do pressuposto de que DMU's com atividades semelhantes e padrões que podem ser aplicados, conseguem combinar melhor seus insumos. Deste modo utilizam o processo de maneira mais aprimorada e servem como referência para as demais. Na literatura há dois modelos DEA clássicos: o modelo CRS, também conhecido por CCR (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978), que considera retornos de escala constantes, e o modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper, 1984), que considera retornos variáveis de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. O conceito de retorno de escala constante se refere o quanto um aumento proporcional em todos os *inputs* implica em um aumento no *output*. Baseado em Coelli *et al* (1998), esses conceitos em termos algébricos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Retorno de Escala

Retorno de Escala	Definição
Constante	$f(\alpha x_1, \alpha x_2) = \alpha f(x_1; x_2)$
Crescente	$f(\alpha x_1, \alpha x_2) > \alpha f(x_1; x_2)$
Decrescente	$f(\alpha x_1, \alpha x_2) < \alpha f(x_1; x_2)$

Nota: ( $\alpha > 1$ )

Fonte: Coelli *et al* (1998)

Talluri (2000), afirma que o modelo CCR estrutura-se a partir de  $n$  DMU's, que por sua vez utilizam  $i$  *inputs* para produzir  $o$  *outputs*. Ainda assim, para Souza Júnior (2010), deve-se considerar que o modelo pode ser orientado a *input* ou a *output*. Isso permite que para cada DMU sejam determinados os pesos das variáveis conforme for mais utilizado, ressaltando que os pesos aplicados às outras DMU's não podem resultar em uma razão superior a 1 (Mello *et al.*, 2003).

Em sua formulação matemática, considera-se que cada  $DMU_k$ ,  $k = 1, \dots, n$ , é uma unidade de produção que utiliza  $r$  *inputs*  $x_{ik}$ ,  $i = 1, \dots, r$ , para produzir  $s$  *outputs*  $y_{jk}$ ,  $j = 1, \dots, s$ . O modelo CCR, apresentado em (1), maximiza o quociente entre a combinação linear dos *outputs* e a combinação linear dos *inputs*, com a restrição (2) de que, para qualquer DMU, esse quociente não pode ser maior que 1. Assim, para uma DMU  $o$ ,  $E$  é a eficiência;  $x_{i0}$  e  $y_{j0}$  são os *inputs* e *outputs* da  $DMU_0$ ;  $v_i$  e  $u_j$  são os pesos calculados pelo modelo para *inputs* e *outputs*, respectivamente., conforme equação abaixo.

$$\max E = \frac{\sum_{j=1}^S u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}} \quad (1)$$

No qual, ficam sujeitas as seguintes condições:

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

$$v_i, u_j \geq 0, \forall i, j$$

Esta função objetivo proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), para qualquer DMU é obtida como o máximo da razão de saídas ponderadas para entradas ponderadas sujeita a condição de que as razões semelhantes para cada DMU sejam menores ou iguais a 1. Devido ao retorno constante de escala, que caracteriza o modelo CCR, é possível verificar que os dados observados geram uma envoltória linear representativa da razão entre dados de entrada (*inputs*) e de saída (*outputs*), projetando pontos por meio de expansão radial na fronteira de eficiência (Figura 2). Vale destacar que os 08 pontos (T1 à T8) analisados no gráfico seguinte expressam às DMU's examinadas. Além disso, deve-se observar que a T2 se encontra na fronteira de produção e, portanto, é uma DMU eficiente, enquanto as demais (em comparação à T2) são ineficientes. Pereira e Ferreira (2018), afirma que as unidades componentes da fronteira de eficiência e que servem de *benchmark* para as demais.

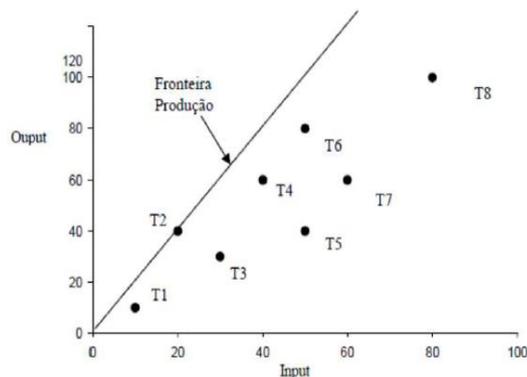


Figura 2 - Fronteira de Produção do Modelo CCR

Fonte: Cullinane *et al* (2004)

A fronteira de produção determina o lugar geométrico das DMU's ditas eficientes. Ao contrário das técnicas paramétricas, cujo objetivo é otimizar um simples plano de regressão, o DEA otimiza sobre cada observação com o propósito de calcular uma fronteira de produção determinada pelas DMU's eficientes. O DEA otimiza o desempenho medido de cada DMU em um sistema de produção o qual transforma múltiplos insumos em múltiplos produtos através do uso de programação linear. Desta forma, a entrada ou retirada de uma ou mais unidade no conjunto de observações pode implicar em mudança no valor da eficiência relativa.

### 3. METODOLOGIA

Buscando encontrar o equipamento com a maior eficiência, este trabalho se divide em quatro etapas, de forma a mapear o procedimento metodológico elencado para este trabalho, conforme podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Processo Metodológico

Etapa	Procedimento	Descrição
1	Definir as DMU's	A definição das DMU's é associada a um conjunto de unidades homogêneas, no qual atuam em um mesmo segmento, tendo variações apenas de dimensão, intensidade, e proporção entre suas entradas e saídas.
2	Selecionar os <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	A seleção de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> deve ser realizada de maneira que corresponda a variáveis importantes para cada uma das DMU's selecionadas.
3	Definir a Orientação do DEA	Necessário definição de orientação para maximização ou minimização de <i>inputs</i> ou <i>outputs</i>
4	Utilizar o DEA Spreadsheet Solver	O DEA Spreadsheet Solver é um software solucionador de planilhas de código aberto que desenvolvi usando Excel e VBA.

Fonte: Autor (2022)

A primeira etapa do trabalho consiste na definição das unidades tomadoras de decisão. Segundo Sales (2011) a definição das DMU's deve ser associada a um conjunto de unidades homogêneas, no qual as unidades atuem em um mesmo segmento, tendo variações apenas de dimensão, intensidade, e proporção entre suas entradas e saídas. Muniz *et al* (2021), reafirma a necessidade de as DMU's apresentarem similaridade nos recursos que empregam e as atividades que desenvolvem.

Neste estudo serão analisados 4 viradores de vagões para definir a maior eficiência relativa. Com a finalidade de obter a maior homogeneidade dos dados, optou-se por analisar a quantidade de equipamentos instalados e operacionalmente efetivos com base na capacidade efetiva de cada equipamento e quantidade de trens descarregados nos respectivos anos operados. Além disso, a taxa efetiva de descarregamento e confiabilidade do ativo também foram variáveis decisórias.

Como segunda etapa, foi necessário a seleção de *inputs* e *outputs*. Deve-se selecionar de maneira que corresponda a variáveis importantes para cada uma das DMU's selecionadas. Quanto maior o número de variáveis utilizadas, mais aderente a realidade será o resultado e melhor se expressará as DMU's em análise. Entretanto, segundo Sales (2011), afirma que quando se trabalha com um número alto de DMU's tem de se ter mais cautela para não induzir ao erro na análise de DEA, pois estas podem estar localizadas próximas à fronteira, dificultando a análise sobre quais são as DMU's eficientes e quais as ineficientes. Para tanto, tomando por base Sales (2011), optou-se por utilizar variáveis que representem a operação de descarregamento de um terminal de minério de ferro. Dentro dos terminais estudados, buscou-se levantar as principais variáveis das áreas de operação. Como variáveis de *input* foram selecionadas capacidade nominal de cada equipamento e número de trens descarregados durante o período. Em relação aos *outputs*, foram selecionados no estudo a taxa efetiva realizada em cada equipamento e a confiabilidade (disponibilidade intrínseca).

A definição da orientação do DEA é abordada como terceira etapa. Nesta etapa, será definido a orientação à *outputs* para compor a análise de eficiência a ser analisada. Com isso o objetivo é manter a os *inputs* da etapa anterior e serão maximizados os *outputs*. Finalizando a

metodologia proposta, na quarta etapa foram inseridos no DEA Spreadsheet Solver os dados relativos ao número de DMU's, número de *inputs* e de *outputs*. O software é acessível, gratuito e fornece resultados completos e conta com modelos avançados e fácil de utilizar.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A entrada de dados no DEA *Spreadsheet Solver* apresenta uma janela na qual deve-se atribuir o número de DMU's, assim como os números de *inputs* e *outputs*. Após o preenchimento, foi realizado a inclusão da matriz de dados com as informações das DMU's a serem analisadas, conforme a Tabela 3, com a conotação voltada ao Modelo CCR – *output*.

Tabela 3 - Matriz de Dados

Nome DMU	Capacidade	Nº de trens descarregados	Taxa Efetiva	Confiabilidade
VVC1 2019	4.400	369	3.257	0,73
VVC1 2020	4.400	348	2.546	0,79
VVC1 2021	4.400	718	2.556	0,75
VVS1 2019	7.000	382	4.856	0,83
VVS1 2020	7.000	1.088	5.685	0,87
VVS1 2021	7.000	1.187	5.501	0,78
VVG12 2019	8.000	529	6.782	0,79
VVG12 2020	8.000	615	6.699	0,81
VVG12 2021	8.000	793	6.474	0,80
VVG3 2019	8.000	913	6.859	0,85
VVG3 2020	8.000	1.094	6.785	0,82
VVG3 2021	8.000	1.089	6.699	0,80

Fonte: Autor (2022)

Foi feito o preenchimento da matriz de dados com as informações das DMU's a serem analisadas, com a conotação voltada ao Modelo CCR – *output*. Após isso, o modelo gerou os resultados que estão dispostos na Figura 3.

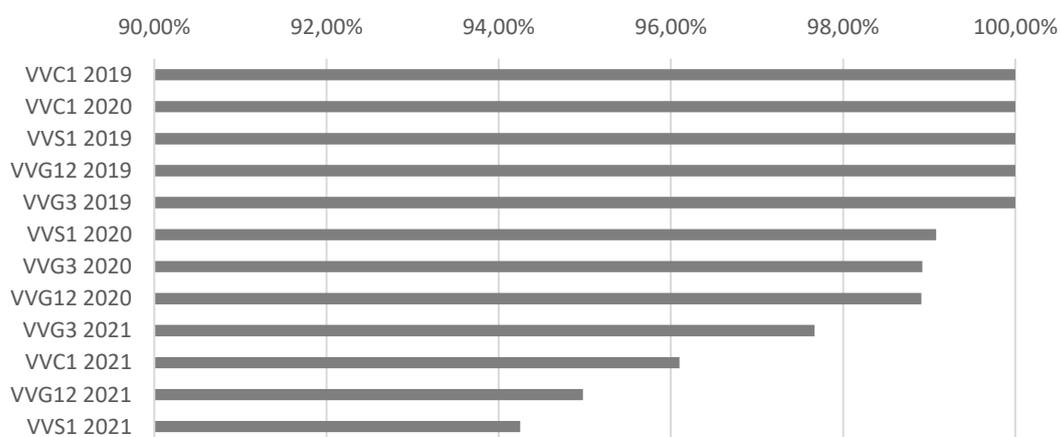


Figura 3 - Resultado da Análise

Fonte: Autor (2022)

Observa-se pela Figura 3 que as DMU's que foram eficientes, segundo o Modelo CCR com orientação a *output*, é destacado com resultado padrão igual a 100%, ou seja, as unidades que fazem parte da fronteira de eficiência para o modelo em estudo são VVC1 2019, VVC1 2020, VVS1 2019, VVG12 2019 e VVG3 2019.

Com isso, o contexto geral de eficiência em DEA para os equipamentos em estudo pode ser analisada pelos pressupostos de o VVC1 2019, VVC1 2020, VVS1 2019, VVG12 2019 e VVG3 2019 formam a fronteira de eficiência e servem de referência para as demais unidades produtivas ineficientes. Além disso, o ano de 2019 foi dito com referência para todo o processo, pois formam a fronteira de produção. A DMU VVS1 obteve perda acentuada de eficiência com base no histórico de 2019 a 2021 e, ainda com base nos dados, pode-se verificar que as DMU's mais distantes da fronteira de produção são as do ano de 2021, ou seja, houve uma perda geral de eficiência nos processos.

A possibilidade de análise de cenários é uma das grandes vantagens do método DEA. Por se tratar de um modelo estratégico, com a análise de cenários no DEA, pode-se observar relações comparativas entre as partes do mesmo estudo e avaliar as alterações entre as DMU's analisadas e identificar a melhor em cada cenário estudado. Segundo Law (2007), essas análises permitem estimar o desempenho a partir dos cenários apresentados. Entretanto, também afirma que cada execução de um modelo de simulação produz apenas estimativas de verdadeiras características de um modelo para um determinado conjunto de parâmetros, logo não se deve tirar conclusões imediatas.

Para realizar a análise de cenários nesse trabalho, foram considerados modificações nos *outputs*, devido a orientação definida anteriormente. Logo, pretende-se melhorar os *outputs* para verificar a possibilidade de melhorar a eficiência das DMU's que não estão presentes na fronteira de produção. Considerando um cenário otimista, simulou-se uma variação positiva nas DMU's, com exceção das DMU's já contidas na fronteira de produção, pois são ditas com a melhor eficiência.

- 1º Cenário Analisado – Aumento da Taxa Efetiva em 5%, 10% e 15%, permanecendo com os mesmos valores de *inputs*.

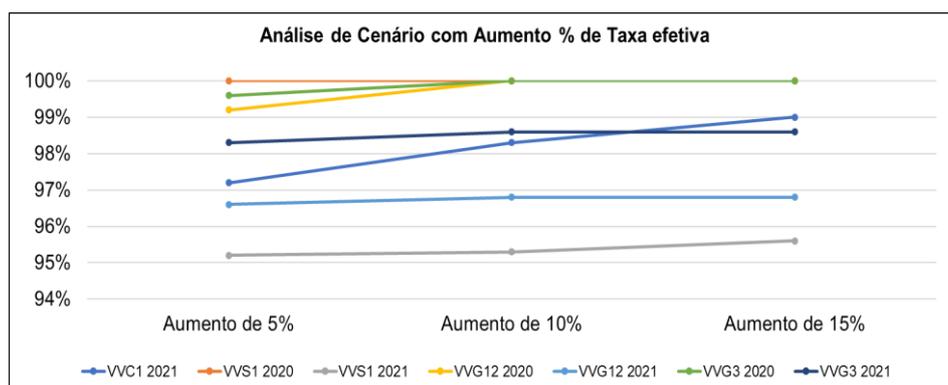


Figura 4 - Resultado da Análise Cenário 1

Fonte: Autor (2022)

VVS1 2020 já alcançou a fronteira de eficiência com o aumento de 5% de Taxa efetiva, assim como VVG3 2020 e VVG12 2020 alcançaram a fronteira com aumento de 10% de Taxa Efetiva. Além disso, VVC1 2021 teve a maior alavancagem com aumento % da Taxa Efetiva. VVS1 2021, VVG12 2021 e VVG3 2021 comparados com as demais DMU's, não obtiveram resultado

significativo. Pela Figura 4, também é possível verificar que algumas DMU's não tiveram mudanças em suas eficiências. Por isso é preciso salientar que nesses equipamentos houve uma possível folga de capacidade ainda a ser explorada, ou seja, são viradores que não operam com a capacidade máxima. Os resultados alcançados mostram, ainda, que a produtividade dos terminais é de extrema importância para a sua eficiência, pois, em alguns casos, equipamentos que se destacam pelos números movimentados mostraram-se mais eficientes. Fica comprovado, portanto, que quanto maior a dedicação da taxa efetiva, maior a sua eficiência.

- 2º Cenário Analisado – Aumento da Confiabilidade em 5%, 10% e 15%, permanecendo com os mesmos valores de *inputs*.

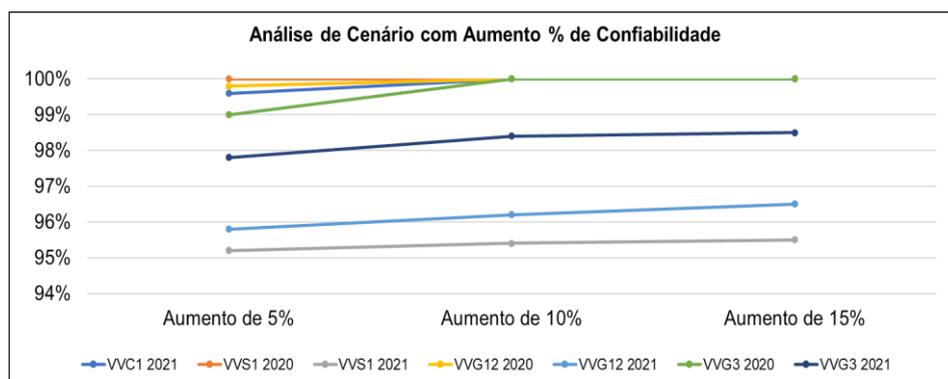


Figura 5 - Resultado da Análise Cenário 2

Fonte: Autor (2022)

VVS1 2020 já alcançou a fronteira de eficiência com o aumento de 5% de Confiabilidade, assim como VVG12 2020, VVG12 2020 e VVG3 2020 alcançaram a fronteira com aumento de 10% de Confiabilidade. Além disso, VVS1 2021, VVG12 2021 e VVG3 2021 não obtiveram resultado significativo. Conforme Figura 5, embora alguns dos equipamentos obtenham um aumento da eficiência, outros também não obtiveram um aumento proporcionalmente equivalente as demais DMU's. Cabe ressaltar que para esse estudo não foi comparado aumento simultâneo de Taxa Efetiva e Confiabilidade devido apresentarem comportamento inversamente proporcionais.

Devido a verificação de possível alcance de eficiência máxima em algumas DMU's com aumento dos *outputs*, há a necessidade de propor possíveis intervenções operacionais e de manutenção para melhorar a performance dos equipamentos. Com isso, foi realizado um *brainstorming* com *stakeholders* do processo para buscar melhoras no processo de descarregamento. As propostas levantadas compreendem os aspectos gerais de equipamentos, procedimento e pessoas para alavancagem da performance, conforme procedimentos interno dos terminais. Para equipamentos (*hardware*) foram mapeadas propostas como manutenção preventiva priorizando componentes críticos, implantação de melhoria com projetos de engenharia e aproveitamento de ociosidade para atuação em oportunidade. Em relação a procedimentos (*software*), foram mapeadas atividades como aplicação de ferramentas *lean*, desenvolvimento de projeto de *sixsigma*, elaboração de *kaizen*, análise pelo ciclo PDCA e aplicação de *poka yoke*. Além disso, percebeu-se que havia necessidade de melhorias voltadas a pessoas (*humanware*). Com isso foi identificado oportunidades como reciclagem de operadores, capacitação de pessoal, realização do *gemba* e estruturação do FMDS.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como objetivo apresentar um levantamento teórico acerca do sistema de operações portuárias com foco nas operações de descarregamento de minério de ferro. Além disso, buscou-se também descrever o método de análise de eficiência utilizado para, posteriormente, diante do estudo de caso proposto, auxiliar nas tomadas de decisão tanto no nível operacional quanto no nível estratégico. Uma vez definido os métodos de análise, foi realizado um levantamento a respeito dos terminais de minério de ferro selecionados para o estudo, possibilitando então a tabulação dos dados usados.

Definidas as premissas necessárias, e com auxílio de um software específico, foi possível chegar aos resultados do estudo de caso. Diante dos resultados alcançados, pode-se dizer que o objetivo geral desse estudo foi atingido, visto que por meio da modelagem DEA foi possível visualizar as DMU's referência para as demais unidades de forma que a ferramenta pudesse servir de apoio à tomada de decisão estratégica. Visto que foram identificadas as unidades produtivas que formam a fronteira de eficiência em DEA, sendo elas as DMU's VVC1 2019, VVC1 2020, VVS1 2019, VVG12 2019 e VVG3 2019, com destaque para o ano de 2019 o qual apresentou resultados ótimos quanto a utilização dos seus recursos, comportamento este que serve de referência para o período de 2019 a 2021.

Por outro lado, o ano de 2021 teve ineficiência produtiva que resulta em ineficiência de escala, traduzindo assim a ineficiência dos equipamentos de produzir mais *outputs* usando um dado montante de *inputs* e na inadequação da razão entre a quantidade de *inputs* mais apropriada para a escala de produção e a quantidade de *inputs* efetivamente usada pela unidade sob dado nível de produção. Vale ressaltar que na modelagem DEA abordada, foi utilizado um conjunto limitado de variáveis (insumos e produtos), e com isso os resultados são considerados parciais. Além disso, um dos destaques da DEA é que ela permite utilizar vários *inputs* e *outputs* para análise de eficiência relativa entre unidades que produzem os mesmos insumos e produtos, só diferenciando quanto a magnitude dos fatores utilizados, e assim foi possível propor uma intervenção para um problema recorrente: estabelecer métodos eficiente para avaliação de desempenho de unidades produtivas, determinar as unidades relativamente eficientes, e as metas a serem adotadas para alcance dos objetivos empresariais determinados. Assim foi possível fornecer aos gestores da empresa em estudo uma nova ferramenta de auxílio na tomada de decisão e tendo bem fundamentado os conceitos e limitações da DEA, é possível estabelecer um plano de ação para as DMU's não-eficientes e obter melhorias no processo.

Findo este trabalho, algumas sugestões e recomendações para trabalhos e pesquisas futuras podem ser levantadas como aplicação do método escolhido para diferentes *inputs* e *outputs*, com intenção de provocar nova comparação entre as DMU's, aplicação o método para terminais movimentadores de outras cargas específicas, ou ainda, para terminais portuários de cargas distintas, aplicação do método de análise de eficiência com foco em consumo energético dos terminais ou equipamentos portuários, aplicação do método de análise de eficiência com foco em custo de utilização dos terminais ou equipamentos portuários e realizar análise mais detalhadas para verifica se as eficiências estão convergindo nos cenários estratégico e operacional para os objetivos das organizações e quais as ações e tomadas de decisões devem ser feitas para buscar melhorar a eficiência nos próximos anos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARASAKI, Emilia; ALFREDINI, Paolo. **Engenharia Portuária**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

BANKER, R. D., CHARNES, A., e COOPER, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management science**, 30(9), 1078-1092.

CHARNES, A. COOPER, W. W. e RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, vol. 2, 1978.

CHAVES, A.C; THOMAZ, A. C. F. Gestão pública e pesquisa Operacional: avaliação de desempenho em Agências da Previdência Social. **Revista do Serviço Público**, Brasília, DF, v. 59, n. 2, p. 221-236, 2008.

COELLI, T.; PRAZADA RAO D. S.; BATTESE G. E. An introduction to efficiency and Productivity analysis. **Massachusets Kluwer Academic Pulishers**, 1998.

CULLINANE, K., SONG, D. W., JI, P., e WANG, T. F. (2004). An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. **Review of network Economics**, 3(2).

DA COSTA, D. S., DE ASSIS, C. M. V. G. S., DE FIGUEIREDO, N. M., DE MORAES, H. B. e FERREIRA, R. C. B. (2021). The efficiency of container terminals in the northern region of Brazil. *Utilities Policy*, **Elsevier**, vol. 72(C).

FALCÃO, V. A., CAMIOTO, F. C., SILVA, F. G. F., e CAMARGO, M. P. (2019). Avaliação da eficiência do sistema de transporte brasileiro no cenário internacional utilizando análise envoltória de dados (DEA). In **33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**. Balneários Camboriu-SC. Brasil.

FARRELL, M. J.; The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of Royal Statistical Society Series A**. Vol. 120, n. 3, p. 253-281, 1957.

GLITZ, F. E. (2016). A nova legislação portuária brasileira e a responsabilidade civil do operador portuário: a jurisprudência estadual do Paraná. **Boletín mexicano de derecho comparado**, 49(147), 337-346.

GUO, J., e QIN, Y. (2022). Coupling characteristics of coastal ports and urban network systems based on flow space theory: Empirical evidence from China. **Habitat International**, 126, 102624.

KWEON, SJ., HWANG, SW., LEE, S., e JO, MJ., (2022) Demurrage pattern analysis using logical analysis of data: a case study of the Ulsan Port Authority, **Expert Systems with Applications**

LAW, A. M. **Simulation Modeling and Analysis**. McGrawHill. 4 ed. 2007.

LOPES, Iago França; BEUREN, Ilse Maria. Comportamento dos custos e sua relação com medidas de eficiência operacional em companhias aéreas. **Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos** 14(1): 30-46, janeiro/março 2017.

MELLO, J. C. C. B. S.; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; SERAPIÃO, B. P.; LINS, M. P. E. **Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras**. Pesquisa Operacional. Vol.23, n.2, Rio de Janeiro, RJ Agosto/2003.

MENEGAZZO, L. R., e FACHINELLO, A. L. (2016). Análise de nível de eficiência dos portos brasileiros. **Revista de Economia**, 40(3).

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMERCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. Visão Geral dos Produtos Exportados. 2021. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/en/comex-vis>. Acesso em 15 ago. 2022.

MOSHKOVICH, Helen M.; GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro; MECHITOV, Alexandre I. e RANGEL, Luís Alberto Duncan. **Influência de modelos e escalas no ranking de alternativas multiatributos**. Pesqui. Operar. [conectados]. 2012, vol.32, n.3

MOURA, J. P., Operação Portuária: **Operação de Carregador de Navio**. Apostila elaborada para o curso de Especialização em Engenharia Portuária, UFMA-VALE. 2011.

MUNIZ, R. D. F., ANDRIOLA, W. B., Muniz, S. M., & Thomaz, A. C. F. (2021). **Emprego do Data Envelopment Analysis (DEA) para estimar a eficiência escolar**. Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação.

PEREIRA, J. N. e FERREIRA, F. U. Análise de eficiência relativa utilizando o modelo dea - ccr orientado a output para determinação de benchmarking em uma rede de lojas. **Xxxviii encontro nacional de engenharia de produção** (2018).

SALES, G. M. A. **Proposta de um modelo utilizando Análise Envoltória de Dados – DEA na definição das metas dos indicadores da qualidade comercial das distribuidoras de energia elétrica – DER e FER**. Dissertação (Mestrado Profissional em Regulação e Gestão de Negócios). Universidade de Brasília (UnB). Brasília/DF, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/9494>. Acesso em 08 abr. 2022.

SILVA, C. F. **Transportes, seguros e a distribuição física internacional de mercadorias**. São Paulo: Aduaneiras, 2000.

SOUZA JÚNIOR, R, J. N. C. **Avaliação da eficiência dos portos utilizando análise envoltória de dados: estudo de caso dos portos da região nordeste do Brasil**. Dissertação (mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/4883/1/2010\\_dis\\_jncsousajunior.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/4883/1/2010_dis_jncsousajunior.pdf). Acesso em 15 abr. 2022.

SUGRUE, D., e ADRIAENS, P. (2021). A data fusion approach to predict shipping efficiency for bulk carriers. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 149, 102326.

TALLURI, S. Data Envelopment Analysis: Models and Extensions. **Decision Line**, p. 8-11. 2000.

TANG, X., JIN, J. G., e SHI, X. (2022). **Stockyard storage space allocation in large iron ore terminals**. Computers & Industrial Engineering, 164, 107911.

USGS (United States Geological Survey). Iron Ore Statistics and Information. 2021. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-iron-ore.pdf>. Acesso em 10 ago. 2022.

VILELA, D. L.; NAGANO, M. S.; MERLO, E. M. Aplicação da análise envoltória de dados em cooperativas de crédito rural. **Revista de Administração Contemporânea**. Vol. 11, n. Spe2, 2007. Curitiba, PR.

---

João Pedro da Silva Ramos (joao.pedro.engprod@ime.eb.br)

Orivalde Soares da Silva Junior (orivalde@ime.eb.br)

Instituto Militar de Engenharia

Praça Gal Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Urca, CEP 22290-270, Rio de Janeiro - RJ