

AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM MODERNIZAÇÃO DOS PORTOS POR ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Luiz Octávio Gavião

Escola Superior de Guerra (ESG)
Fortaleza de São João - Av. João Luiz Alves, s/nº - Urca – Rio de Janeiro-RJ - CEP: 22291-090
E-mail: luiz.gaviao67@gmail.com

Lidia Angulo Meza

Universidade Federal Fluminense (UFF)
Rua Passo da Pátria, 156, Bloco D, São Domingos, Niterói-RJ, CEP: 24.220-240
E-mail: lidia.angulo.meza@gmail.com

Gilson Brito Alves Lima

Universidade Federal Fluminense (UFF)
Rua Passo da Pátria, 156, Bloco D, São Domingos, Niterói-RJ, CEP: 24.220-240
E-mail: glima@id.uff.br

Pauli Adriano de Almada Garcia

Universidade Federal Fluminense (UFF)
Rua Des. Ellis Hermydio Figueira, 783 - Aterrado, Volta Redonda - RJ, CEP: 27213-145
E-mail: pauliadriano@gmail.com

Sergio Kostin

Escola Superior de Guerra (ESG)
Fortaleza de São João - Av. João Luiz Alves, s/nº - Urca – Rio de Janeiro-RJ - CEP: 22291-090
E-mail: sfkostin@gmail.com

RESUMO

As rotas marítimas desempenham um papel fundamental no comércio mundial. No Brasil, aproximadamente 95% do comércio externo transita por redes hidroviárias. Os gargalos logísticos impõem um impacto negativo no crescimento nacional e motivam a pesquisa acadêmica e institucional. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) desenvolveram respectivamente projetos de modernização e cenários para o aumento da movimentação de carga nos portos brasileiros até 2023. No entanto, a atual crise econômica impõe austeridade no investimento público. A Análise Envoltória de Dados (DEA) foi aplicada ao problema, a fim de identificar a eficiência do projeto e propor metas tangíveis para o investimento público. Um modelo orientado a *input* DEA BCC identificou nove portos eficientes e possibilidades de redução de gastos em 19 portos.

Palavra-chave: Portos brasileiros; DEA; investimentos públicos.

ABSTRACT

Maritime routes play a key role in world trade. In Brazil, approximately 95% of external trade transits by waterway networks. Logistic bottlenecks impose a negative impact on national growth and have motivated academic and institutional research. The Institute of Applied Economic Research (IPEA) and the National Agency of Waterway Transportation (ANTAQ) respectively developed modernization projects and scenarios for increasing cargo handling in Brazilian ports until 2023. However, the present economic crisis imposes austerity in public investment. Data Envelopment Analysis (DEA) was applied to IPEA and ANTAQ data, in order to identify project efficiency and propose tangible goals for public investment. A DEA BCC input-oriented model identified nine efficient ports and slacks that enable to decrease investment in 19 ports.

Keywords: Brazilian ports; DEA; public investment.

Como Citar:

GAVIÃO, luiz octávio; MEZA, lidia angulo; LIMA, gilson britto alves; GARCIA, pauli adriano de almada; KOSTIN, sergio. Avaliação de investimentos em modernização dos portos por Análise Envoltória de Dados. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA*, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

1. INTRODUÇÃO

A navegação representa o modo mais expressivo do transporte comercial de cargas em âmbito mundial. O transporte marítimo contribui com aproximadamente 80% da carga globalmente movimentada. Especificamente no Brasil, um país geograficamente favorecido por ampla malha hidrográfica de mais de 40 mil quilômetros de rios navegáveis e uma costa oceânica superior a 8 mil quilômetros, o modo marítimo transporta aproximadamente 95% dos produtos do comércio exterior. Esses números traduzem a importância de uma adequada infraestrutura que garanta um eficiente fluxo de mercadorias, onde os portos ocupam papel de protagonistas [1].

Os “gargalos” na infraestrutura portuária se tornaram mais evidentes nas últimas décadas de intenso e crescente comércio marítimo. Filas de caminhões nas estradas que demandam os portos em períodos de safra, insuficiência das redes ferroviárias, limitações portuárias para atracação de navios de grande porte, retardo nas operações de carga e descarga, dentre outros, são alguns dos frequentes problemas. Em comparação com os demais modos rodoviário, ferroviário e aeroportuário, pesquisas comparadas em competitividade mundial apontam a infraestrutura portuária como a pior no país e a 122^a classificada entre 144 países. Países vizinhos e emergentes ocupam posições melhores que o Brasil no ranking do modo aquaviário: Chile (35^a), África do Sul (46^a), Uruguai (48^a), China (53^a), Índia (73^a) e Rússia (81^a). Esses dados revelam a dimensão do desajuste entre a vocação marítima do país e as deficiências de infraestrutura do setor [2].

Este problema logístico de graves proporções para a economia do país tem motivado a busca de soluções ao longo da última década, com destaque aos estudos coordenados no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), denominado Mapeamento IPEA de Obras Portuárias e na Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), denominado Plano Geral de Outorgas (PGO). Esses órgãos desenvolveram trabalhos com foco em duas vertentes diferentes: o primeiro aborda investimentos em 265 projetos para modernizar a infraestrutura em 31 portos brasileiros, que incluem a ampliação dos acessos por outros modais e obras em geral nos portos e nas áreas marítimas adjacentes; a segunda vertente se refere à simulação de cenários de movimentação de carga nos portos, com moldura temporal até o ano de 2023 [3]–[6].

Este artigo assume como premissas que os projetos de investimentos levantados no Mapeamento IPEA de Obras Portuárias são financeiramente exequíveis no prazo estabelecido e que os cenários de movimentação de cargas do PGO apresentam elevada probabilidade de materialização em 2023. Assim, para cada conjunto de projetos previstos para um determinado porto, tem-se um montante de recursos financeiros para obras de construção, ampliação e recuperação da infraestrutura, em paralelo com estimativas de aumento da quantidade de carga a ser movimentada, conforme a previsão dos modelos logísticos. Sob o ponto de vista do conceito de produtividade, aplicado aos portos modernizados até 2023, é possível considerar os investimentos planejados como recursos de entrada (*inputs*) e a capacidade ampliada dos portos como recursos de saída (*output*).

Nesse contexto, os portos contemplados com vultosos recursos, porém com reduzida estimativa de aumento do volume de cargas movimentadas, indicariam uma reduzida produtividade aos órgãos gestores e a consequente possibilidade de reavaliação do portfólio de projetos. Por outro lado, portos com elevada produtividade representariam uma fronteira de eficiência a ser avaliada como referência aos demais, pois apresentam melhor relação entre *inputs* e *outputs*. Dessa forma, verifica-se que a modelagem por Análise Envoltória de Dados (DEA) é adaptável ao problema de pesquisa, no caso a avaliação de

investimentos em modernização dos portos, permitindo identificar o nível de eficiência dos diferentes portfólios, localizar a ineficiência e propor metas tangíveis para a economia de recursos [7].

A abordagem DEA orientada a *inputs* se torna especialmente oportuna ao problema, pois permite identificar projetos com custos excessivos, se mantidos fixos os cenários de demanda de produtos em 2023. O contexto econômico atual configura um quadro de estagnação, com possível recessão no curto prazo, impõe a necessidade de reavaliação dos custos projetos. O montante de recursos levantados pelo IPEA para a modernização dos portos poderia ser reajustado, com vistas à economia em alguns projetos modelados como ineficientes. Em resumo, a modelagem DEA indica se os investimentos levantados para uma região portuária se justificam, à luz das demandas projetadas para 2023 [7], [8].

Após os parágrafos introdutórios, a Seção 2 apresenta uma breve revisão da literatura, acerca dos estudos de modernização dos portos mencionados e da modelagem DEA, a Seção 3 descreve a metodologia utilizada ao problema, a Seção 4 traz a análise dos resultados e, por fim, a Seção 5 conclui a pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Uma breve revisão da literatura enfoca as pesquisas desencadeadas no IPEA e na ANTAQ, incluindo os principais conceitos da modelagem DEA aplicados ao problema.

2.1. MAPEAMENTO IPEA DE OBRAS PORTUÁRIAS

O Mapeamento IPEA de Obras Portuárias, desenvolvido por [5] e [6], teve por finalidade dimensionar e avaliar demandas, deficiências e “gargalos” dos portos brasileiros. O estudo descreve a deficiência de infraestrutura, que compromete o potencial do setor e provoca um entrave ao crescimento do comércio internacional e de cabotagem no Brasil. O estudo seguiu dois critérios: (1) identificação de projetos documentados em planos e programas do setor público e privado; (2) ponderação destes documentos para selecionar o valor de cada projeto, com prioridade às obras previstas no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), ao Plano Plurianual (PPA) 2008-2012 e ao Plano Nacional de Logística e Transportes-PNLT [9]–[11], nessa ordem.

O estudo quantificou os investimentos necessários no setor, a partir de um levantamento de 265 obras de infraestrutura portuária, de acesso ou de apoio. As diversas obras abrangem 133 projetos de construção, ampliação e recuperação de áreas nos portos (R\$ 20,46 bilhões), 45 projetos nos acessos terrestres aos portos (R\$ 17,29 bilhões), 46 projetos de dragagem e derrocamento (R\$ 2,78 bilhões) e 41 projetos de infraestrutura portuária (R\$ 2,34 bilhões) [5], [6].

Embora o IPEA não tenha publicado uma atualização aos recursos planejados no PAC 2, com vigência entre 2011 e 2014, a diferença entre os “gargalos” identificados e os investimentos orçados no PAC 1 (2007-2010) é significativa. Das 265 obras levantadas no estudo do IPEA, apenas 51 constavam no PAC 1. Isto representava 19,2% do número de obras necessárias, segundo o IPEA, correspondendo a 23% do total orçado. Dentre as obras mais atendidas estão as dragagens, atendendo a 55,3% das deficiências identificadas, e as obras em acessos terrestres aos portos, com 39,2%. Considerando que diversas obras enfrentam problemas com atrasos, somados às necessidades de contingenciamentos decorrentes da atual conjuntura econômica, dentre outros problemas jurídicos que envolvem as maiores empreiteiras do país, não se estima que uma atualização de dados ao PAC 2 alteraria de forma considerável as divergências com o Mapeamento IPEA de Obras Portuárias [12].

2.2. PLANO GERAL DE OUTORGAS PORTUÁRIAS

Em extensão as suas atividades como agência reguladora e fiscalizadora do setor de transportes aquaviários, a ANTAQ elaborou o PGO, com caráter orientador ao planejamento portuário, contribuindo ao fomento do crescimento do setor. O PGO decorreu de uma resolução normativa, no caso a Lei no 10.233/2001 e, posteriormente, do Decreto no 6.620/2008, de forma a garantir que os investimentos e a outorga governamental para projetos portuários se mantivessem alinhados às diretrizes da política de transportes do setor [3], [4].

Com base no PNLT, o PGO incluiu cenários de investimentos até 2023, a partir da identificação de áreas com potencial para receber novos portos ou ampliar os existentes. Essas áreas foram levantadas a partir de análise em três etapas técnicas: primeiro, a projeção das cargas a serem escoadas por cada vetor logístico; segundo, a profundidade mínima dos portos com as cargas esperadas e, por fim, as malhas rodoviária, ferroviária e hidroviária, implantadas ou projetadas, próximas às áreas indicadas para os portos [3], [4].

O processo de modelagem da estimativa de demandas para os portos se iniciou com a definição da área de influência de estudo, seu zoneamento e a preparação da rede de transportes, que representa a infraestrutura existente e os projetos em desenvolvimento. Em seguida, a pesquisa se desenvolveu em quatro etapas distintas: geração de viagens ou da demanda; distribuição de viagens ou da demanda; divisão ou escolha do modo; e alocação das viagens às redes de transportes. A agregação dos produtos de maior expressão movimentados nos portos foi associada a cinco grupos para facilitar a análise: granéis vegetais, granéis líquidos, granéis minerais, carga geral e contêineres.

A Tabela 1 reúne a pesquisa do IPEA e as orientações da ANTAQ, sintetizando os montantes de recursos planejados no Mapeamento IPEA de Obras Portuárias e os totais de cargas movimentadas nos portos, por categorias, levantadas no PGO, com os dados efetivos do momento inicial da pesquisa, em 2007 e os dados projetados por modelagem logística para 2023. A Tabela 1 apresenta a base de dados inicial desta pesquisa.

Tabela 1: síntese dos trabalhos do IPEA e ANTAQ

Portos	UF	Mapa IPEA (R\$ milhões)	Granéis Vegetais		Granéis Minerais		Granéis Líquidos		Carga Geral		Contêineres	
			(mil toneladas)		(mil toneladas)		(mil ton)		(mil toneladas)		(mil TEUs)	
			2007	2023	2007	2023	2007	2023	2007	2023	2007	2023
Angra dos Reis	RJ	255,2	0	0	0	0	448	784	0	0	0	0
Antonina	PR	27,4	0	0	13	24	0	0	0	0	0	0
Aratu	BA	659,59	253	316	2620	4582	6798	11892	175	300	0	0
Belém	PA	35,2	165	206	99	173	354	619	107	200	70	170
Cabedelo	PB	372,2	62	78	214	374	0	0	75	150	0	0
Fortaleza	CE	537,8	788	984	151	265	271	473	409	700	64	180
Ilhéus	BA	2730,56	0	0	11	19	0	0	0	0	0	0
Imbituba	SC	1932,13	107	134	585	1024	110	193	38	50	15	40
Itaguaí	RJ	2211,68	0	0	4350	7610	0	0	1431	2500	227	0
Itajaí	SC	514,49	0	0	0	0	67	117	133	250	682	1700
Itaqui	MA	1473,48	71	89	6026	10541	197	345	4124	7200	0	200
Maceió	AL	569,37	76	95	88	154	1021	1786	404	700	6	20
Manaus	AM	270,2	0	0	48	83	2030	3551	206	350	176	510
Natal	RN	140,5	76	95	25	43	29	51	6	10	8	20

Portos	UF	Mapa IPEA (R\$ milhões)	Granéis Vegetais		Granéis Minerais		Granéis Líquidos		Carga Geral		Contêineres	
			(mil toneladas)	(mil toneladas)	(mil toneladas)	(mil ton)	(mil toneladas)	(mil toneladas)	(mil TEUs)	(mil TEUs)		
			2007	2023	2007	2023	2007	2023	2007	2023	2007	2023
Paranaguá	PR	2178	207	259	170	298	1790	3131	669	1150	595	1460
Pecém	CE	2683,065	0	0	0	0	0	0	0	0	144	380
Porto Alegre	RS	100,2	80	99	14	25	3126	5469	26	50	16	50
Recife	PE	68,3	505	631	683	1194			285	500	0	0
Rio de Janeiro	RJ	1893,84	796	994	1070	1890	766	1340	3398	5950	390	980
Rio Grande	RS	1085,6	1762	2912	502	878	2378	4161	1630	5600	575	1810
Salvador	BA	677,04	413	516	9	16	0	0	128	200	230	610
Santarém	PA	60,15	0	0	84	148	0	0	0	0	0	10
Santos	SP	8670,31	1615	2017	6291	11006	7120	12456	6206	13900	2525	8870
São Francisco do Sul	SC	1360,21	285	356	143	250	201	352	117	200	244	610
São Sebastião	SP	156,25	0	0	462	808	2245	3927	25	50	0	0
Suape	PE	2814,765	0	0	182	319	493	862	148	250	195	1070
Vila do Conde	PA	348,2	0	0	5262	9205	1485	2598	0	0	31	90
Vitória	ES	2729,77	404	504	13462	23552	165	289	11958	20900	266	690

Fonte: adaptado de Campos Neto et al. (2009a) e ANTAQ (2009a).

Na Tabela 1, a coluna “Portos” inclui somente as instalações listadas nas pesquisas do IPEA e da ANTAQ. Assim, foram excluídos os portos de Santana-PA e o Terminal Inácio Barbosa-SE, não incluídos no Mapeamento IPEA de Obras Portuárias e os portos que não citados no PGO: Alcântara-MA, Areia Branca-RN, Barra do Riacho-ES, Barra Grande-CE, Centro Amazônico-AM, Espadarte-PA, Itacoatiara-AM, Juazeiro-BA, Laguna-SC, Mercosul-PR, Niterói-RJ, Norte Fluminense-RJ, Novo Rio Grande-RS, Petrolina-PE, Pontal do Sul-PR, Porto Velho-RO, Praia Mole-ES, Santa Vitória do Palmar-RS, São Luís-MA, São Simão-GO, Sotave-PA, Terminal Norte Capixaba-ES, Terminais Hidroviários-AM, Tubarão-ES e Ubu-ES.

A coluna “Mapa IPEA” soma os recursos orçados por [5] e [6] para as diferentes obras de infraestrutura, dragagem, nos acessos terrestres, dentre outras, para cada porto. As colunas de diferentes granéis são mensuradas em unidades de mil toneladas, a partir dos dados do PGO, com medidas efetivas de 2007 e projeções para 2023. A coluna “Contêineres” utiliza a unidade padronizada equivalente ao contêiner de 20 pés de comprimento, denominada *Twenty-foot Equivalent Unit* (TEU), também com medidas efetivas de 2007 e projeções para 2023.

2.3. MODELAGEM DEA

DEA é uma metodologia não paramétrica com base em programação linear, sendo usada para medir a eficiência de unidades produtivas, dentre outras utilidades. Considerando que as unidades produtivas tomam decisões com a finalidade de melhor utilizarem seus recursos no processo de produção, em DEA tais unidades assumem a denominação de Unidades Tomadoras de Decisão (no idioma inglês, *Decision Making Units-DMU*).

Em DEA, eficácia, produtividade e eficiência são conceitos específicos e relevantes. Segundo [7], a eficácia de uma DMU se relaciona à quantidade produzida, sem considerar os recursos utilizados na produção; a produtividade de uma DMU significa a razão entre produtos (*outputs*) e recursos (*inputs*) de cada DMU; e a eficiência é uma medida de comparação da produtividade entre as DMU. Dessa forma, o método compara o que foi

produzido, dado os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos.

DEA também é usada para benchmarking em gestão de operações, onde um conjunto de medidas é selecionado para aferir o desempenho da produção e de serviços, estabelecendo fronteiras de “melhores práticas”. Sob esse ponto de vista, as diferentes características (i.e indicadores, resultados, métricas, outros) componentes do sistema são classificadas como *inputs* e *outputs*, para permitir a aplicação do método DEA [8].

O método DEA pode ser analisado por diferentes modelos, com destaque para as versões consideradas “clássicas”, desenvolvidos por [13], denominado CCR e por [14], denominado BCC. O modelo CCR se baseia no axioma da proporcionalidade em relação aos incrementos em *inputs* e *outputs*, sendo assim caracterizado como um modelo de retornos constantes de escala (CRS). O modelo BCC se baseia no axioma da convexidade, onde incrementos nos *inputs* podem representar retornos decrescentes, proporcionais ou crescentes aos *outputs*, sendo assim também designado como um modelo de retornos variáveis de escala (VRS).

Os modelos CCR e BCC podem ser orientados para a redução dos *inputs* ou ampliação dos *outputs*, dependendo das necessidades do decisor e/ou da natureza do problema. Quando orientados a *inputs*, o modelo matemático torna constantes os produtos e busca reduzir os recursos. Para tal, presume-se que o decisor controla as variáveis de entrada e existe coerência racional para a redução dos *inputs*. Para ilustrar esse aspecto, para um *input* “número de funcionários”, a sua redução poderia significar a demissão de mão-de-obra, gerando uma situação socialmente indesejável ou mesmo uma situação irreal, no caso de impossibilidade de demissão de funcionários. A decisão pela orientação do problema DEA requer minuciosa análise do decisor, segundo [7].

2.4. APLICAÇÕES DEA EM PORTOS

O uso de modelos em DEA para a análise de eficiência em portos tem sido crescente nos últimos anos. O Quadro 1 apresenta os principais artigos entre 2017 e 2019, que trazem aplicações DEA em portos. As pesquisas envolvem portos em diferentes países e o emprego de diversos modelos DEA.

Quadro 1 – Aplicações DEA em portos

Ano / Referência	Título	Periódico	Modelo DEA	Comentários
2019 [15]	<i>Benchmarking environmental efficiency of ports using data mining and RDEA: the case of a US container ports</i>	<i>International Journal of Logistics Research and Applications</i>	Mapa de Auto-Organização de Kohonen (KSOM) e DEA Recursivo (RDEA)	O artigo apresenta práticas de benchmarking para a melhoria do desempenho ambiental de portos. Uma amostra de 20 portos de contêineres nos EUA foi selecionada. Para variáveis de entrada foram considerados: número de guindaste de cais, acres, berço e profundidade. Para variáveis de saída foram considerados: número de chamadas, vazão e tonelagem de peso morto e emissões de CO ₂ . Entre as amostras selecionadas, oito portos de contêineres são consideradas ambientalmente ineficientes.
2019 [16]	<i>Measuring West-Africa Ports Efficiency Using Data Envelopment Analysis</i>	<i>Journal of Transportation Technologies</i>	DEA CCR, BCC e Windows I-C	A pesquisa mediu a eficiência relativa de cinco grandes portos comerciais na África Ocidental, usando três modelos DEA (CCR, BCC e Windows I-C), entre 2005-2016. Sete variáveis de entrada e uma variável de saída foram usadas na análise do modelo. Os métodos CCR e BCC foram usados para avaliar a eficiência técnica e de escala, enquanto o método Windows I-C forneceu uma classificação abrangente das portas estudadas. Os resultados mostraram que o escore de eficiência da escala de 89,53% indicou que, em média, a escala de produção dos portos se desviou do tamanho da escala mais produtiva (MPSS) em 10,47%. Esses resultados revelaram que a fonte da ineficiência geral é devida à escala e não à pura ineficiência técnica.
2019 [17]	Avaliação da eficiência da gestão ambiental e eficiência operacional de portos públicos brasileiros que exportam soja	Revista de Administração Pública	DEA CCR e BCC	Sete portos públicos brasileiros que movimentam soja foram avaliados quanto a sua gestão ambiental com DEA. Para a análise, os dados referentes ao gerenciamento de efluentes líquidos, resíduos sólidos, e presença de fauna sinantrópica nesses portos foram utilizados em conjunto com o Índice de Desempenho Ambiental da ANTAQ. Os resultados mostram que a qualidade da gestão ambiental precisa ser abordada para que o sistema seja eficiente como um todo.
2019 [18]	<i>Evaluating the Environmental Performance and Operational Efficiency of Container Ports: An Application to the Maritime Silk Road</i>	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	Modelo Baseado em Folgas (SBM)	O desempenho ambiental de um porto de contêineres é importante para sua competitividade e desenvolvimento sustentável. No entanto, os portos de contêineres ao longo da <i>Maritime Silk Road</i> (MSR) causaram inúmeros problemas com o rápido desenvolvimento, entre os quais a poluição ambiental. Os dez principais portos de contêineres ao longo da MSR, incluindo os portos de Xangai, Hong Kong, Cingapura, Kelang, Laem Chabang, Colombo, Dubai, Barcelona, Antuérpia e Hamburgo foram mensurados em relação ao desempenho operacional e ambiental.
2018 [19]	<i>Efficiency, productivity and returns to scale in ports: a comparison of data envelopment analysis and econometric estimation with application to Caribbean Small Island Developing States</i>	<i>Maritime Economics & Logistics</i>	DEA com método dos mínimos quadrados e Índice de Produtividade de Malmquist	Este trabalho investiga a eficiência técnica evolucionária e a produtividade de portos em Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento (SIDS). O foco é sobre os SIDS caribenhos, comparados em dois grupos: os principais portos e em outros SIDS nos oceanos Pacífico e Índico. Os resultados revelam um nível significativamente mais baixo de eficiência técnica no Caribe, quando avaliado em comparação com os principais portos, porém maior quando comparado a outros SIDS. Os portos caribenhos alcançaram uma taxa mais alta de melhoria de produtividade em comparação com os principais portos e, portanto, fecharam parcialmente a lacuna de eficiência, mas não tanto quanto os portos em outros SIDS.

Ano / Referência	Título	Periódico	Modelo DEA	Comentários
2018 [20]	<i>Benchmarking freight transportation corridors and routes with data envelopment analysis (DEA)</i>	<i>Benchmarking: An International Journal</i>	Análise de Componentes Principais (PCA)	O objetivo da pesquisa é medir e comparar coletivamente a eficiência dos corredores brasileiros e norte-americanos de transporte de soja, desde fazendeiros até portos de exportação, utilizando DEA. Este trabalho utilizou medidas e variáveis baseadas em folga que representam os três pilares da sustentabilidade (econômica, social e ambiental). A escolha das variáveis foi orientada pela revisão da literatura e analisada por meio da análise de componentes principais. Os resultados são coerentes com o transporte de soja nos dois países (Brasil e EUA). Rotas e corredores eficientes tendem a apresentar viagens de caminhão de curta distância e viagens de trem ou barcaças de longa distância. A eficiência das viagens de navegação interior depende de quantas barcaças são usadas na mesma expedição. Rotas com mais de três modos tendem a ser ineficientes, o que sugere que há um limite para a multimodalidade.
2018 [21]	<i>Sustainability and interactivity between cities and ports: a two-stage data envelopment analysis (DEA) approach</i>	<i>Maritime Policy & Management</i>	Modelos DEA SBM	Portos e cidades estão intrinsecamente ligados. A cidade portuária, que serve de elo entre a economia local e global, é uma integração dos sistemas urbano e portuário. Usando DEA em dois estágios, este artigo propõe um novo método para medir o desenvolvimento sustentável de diferentes sistemas de cidades portuárias. Vinte principais cidades portuárias de contêineres são selecionadas para este estudo usando dados contemporâneos. Os resultados mostram suas diferenças relativas nos níveis de desenvolvimento sustentável, que revelam a eficácia das políticas prevalentes neles.
2017 [22]	<i>Analysis of the efficiency of port container terminals with the use of the data envelopment analysis method of relative productivity evaluation</i>	<i>Management Systems in Production Engineering</i>	DEA CCR	O artigo apresenta um método para avaliar a eficiência dos terminais de contêineres portuários. A pesquisa foi realizada para nove terminais europeus que utilizam diferentes tecnologias de manipulação. Os terminais foram divididos devido ao nível de automação de processos de transporte.
2017 [23]	<i>Intermodal terminal planning by petri nets and data envelopment analysis</i>	<i>Control Engineering Practice</i>	DEA e Redes de Petri Temporizadas (TPN)	O planejamento e a gestão de recursos em terminais intermodais é integrado em Redes de Petri Temporizadas (TPN) e DEA e consiste em três etapas: a modelagem do terminal via TPN para modelar o comportamento regular; a avaliação de se a configuração atual pode lidar com o aumento dos fluxos de carga; se não, a análise por eficiência cruzada DEA de soluções alternativas de planejamento. O procedimento fornece ao tomador de decisões número, capacidade e cronograma de recursos para lidar com o aumento dos fluxos. O método é avaliado por um estudo de caso real, mostrando que a integração de NPT e DEA permite tomar decisões de planejamento sob requisitos conflitantes.
2017 [24]	<i>Efficiency of inland waterway container terminals: Stochastic frontier and data envelopment analysis to analyze the capacity design-and throughput efficiency</i>	<i>Transportation Research Part A: Policy and Practice</i>	DEA e Análise de Fronteiras Estocásticas (SFA)	Este trabalho se concentra na análise de eficiência dos terminais de contêineres fluviais. Existem diferenças importantes entre os terminais fluviais e os marítimos em termos de capacidade de projeto e, portanto, também em operações. Diferentes combinações de entradas e saídas foram testadas com as metodologias SFA e DEA. Importantes entradas de terminal são o pátio e o guindaste, mas também as horas de operação do terminal e a área do terminal.

Ano / Referência	Título	Periódico	Modelo DEA	Comentários
2017 [25]	<i>Assessment of differences in efficiency across strategic groups in the container shipping context: a data envelopment analysis</i>	<i>International Journal of Shipping and Transport Logistics</i>	DEA CCR e BCC	A pesquisa examina as diferenças de eficiência entre os grupos estratégicos no contexto do transporte de contêineres, usando a análise por envoltória de dados secundários coletados de 17 transportadores de contêineres globais. As transportadoras globais de contêineres foram classificadas com base em variáveis estratégicas como capacidade da frota, índice de ativos / dívida, índice de frota própria / fretada, índice de receita não-contêiner e receita. Foram identificados quatro grupos estratégicos: proativo-prudente, proativo, oportunista, conservador-prudente e conservador. Os resultados do modelo DEA indicaram diferenças significativas na eficiência entre os quatro grupos estratégicos.
2017 [26]	<i>Grain intermodal terminals: evaluation of pure technical efficiency by Data Envelopment Analysis</i>	<i>Production</i>	DEA CCR e BCC	Este trabalho teve como objetivo verificar se os terminais com eficiência produtiva também possuem eficiência técnica pura, utilizando a técnica DEA. Os dados foram coletados por meio de entrevista, utilizando questionário estruturado e não probabilístico para amostragem por conveniência. Enquanto o modelo CCR identificou que apenas três das doze DMU analisadas têm eficiência técnica total, através do modelo BCC foi possível observar que esses terminais eram os únicos com eficiência técnica pura.
2017 [27]	<i>Data envelopment analysis of AGV fleet sizing at a port container terminal</i>	<i>International Journal of Production Research</i>	DEA CCR	A pesquisa aplicou DEA para determinar os processos eficientes de movimentação de contêineres (considerando o número de Veículos Guiados Automatizados (AGVs)) em um terminal de contêineres (PCT). O processo de manuseio de contêineres, com um número fixo de guindastes de cais, quando um número diferente de AGVs é usado para transportar contêineres de cais para locais atribuídos dentro da área de armazenamento, representa uma unidade de tomada de decisão (DMU). O modelo CCR usou dois inputs: custos médios de operação e custos operacionais médios dos equipamentos empregados em um PCT e dois outputs: número médio de contêineres de importação por navio e utilização média ponderada taxa de equipamento em um PCT.
2017 [28]	<i>Relative efficiencies of ASEAN container ports based on data envelopment analysis</i>	<i>The Asian Journal of Shipping and Logistics</i>	DEA Supereficiência	Este estudo analisa as eficiências relativas de 50 portos e terminais de contêineres da ASEAN. Estes portos são categorizados de acordo com o seu sistema e localização de movimentação de contêineres. Os portos localizados em uma margem do rio foram designados de "portos interiores" e os portos à beira-mar de "portos marítimos".

3. METODOLOGIA

A modelagem por DEA deve atender basicamente a três etapas para implementar o problema, segundo [29]: a definição e seleção das DMU; a seleção das variáveis; e a escolha e aplicação do modelo. Tendo em vista uma peculiaridade da base de dados ao problema desta pesquisa, referente a valores negativos e nulos em algumas variáveis, incluiu-se uma etapa adicional para o tratamento dos dados para esse caso, conforme descrito em [16] e [17].

3.1. DEFINIÇÃO E SELEÇÃO DE DMU

DEA Em relação à definição das DMU, o conjunto adotado deve utilizar os mesmos *inputs* e *outputs*, variando apenas em intensidade. Deve atender ao requisito de homogeneidade, realizando as mesmas tarefas, com os mesmos objetivos, submeter-se às mesmas condições de mercado e ter autonomia na tomada de decisões, conforme destaca [29].

As 28 instalações portuárias listadas na Tabela 1 atendem às características de DMU, variando em intensidade seus *inputs* e *outputs* e apresentando as condições de homogeneidade listadas, mesmo que operem sob diferentes amplitudes de escala.

3.2. SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

Os recursos previstos pelo IPEA para investimentos nos portos foram associados a *inputs*, enquanto os incrementos na movimentação das diferentes cargas nos portos até 2023 foram associados a *outputs*. Essa abordagem DEA se torna pertinente aos estudos do IPEA e ANTAQ, e oportuna ao momento do país. Uma série de necessidades na infraestrutura de transportes, conforme indicam os PAC 1 e 2, podem requerer uma reavaliação, com vistas à otimização de recursos financeiros.

As diferentes unidades de medida de movimentação de carga descritas na Tabela 1, em “mil toneladas” para cargas e “mil TEU” para contêineres, indicam a necessidade de considerar, ao menos, dois *outputs* diferentes. A opção de reunir as quatro categorias de cargas medidas em “mil toneladas” sob o mesmo *output* reflete melhor a relação entre *input* e *outputs*, pois os investimentos nos portos interferem de forma global sobre as diferentes cargas. Por exemplo, uma obra nos acessos terrestres ao porto beneficia o incremento na movimentação de carga nas diversas categorias. Assim, o problema DEA foi equacionado com 28 DMU, um *input* e dois *outputs*, conforme a Tabela 2. Os valores não-positivos foram posteriormente submetidos a tratamento, por necessidade da modelagem DEA.

Tabela 2: seleção das variáveis

DMU / VARIÁVEIS		INPUT	OUTPUT 1	OUTPUT 2
3.3. Portos	UF	Mapa IPEA	Incremento de carga até 2023	Incremento de contêineres até 2023
		(R\$ milhões)	(mil toneladas)	(mil TEUs)
Angra dos Reis	RJ	255,2	336	0
Antonina	PR	27,4	11	0
Aratu	BA	659,59	7244	0
Belém	PA	35,2	473	100
Cabedelo	PB	372,2	251	0
Fortaleza	CE	537,8	803	116
Ilhéus	BA	2730,56	8	0
Imbituba	SC	1932,13	561	25
Itaguaí	RJ	2211,68	4329	-227
Itajaí	SC	514,49	167	1018
Itaqui	MA	1473,48	7757	200
Maceió	AL	569,37	1146	14
Manaus	AM	270,2	1700	334
Natal	RN	140,5	63	12
Paranaguá	PR	2178	2002	865
Pecém	CE	2683,065	0	236
Porto Alegre	RS	100,2	2397	34
Recife	PE	68,3	852	0
Rio de Janeiro	RJ	1893,84	4144	590
Rio Grande	RS	1085,6	7279	1235
Salvador	BA	677,04	182	380
Santarém	PA	60,15	64	10
Santos	SP	8670,31	18147	6345
São Francisco do Sul	SC	1360,21	412	366
São Sebastião	SP	156,25	2053	0
Suape	PE	2814,765	608	875
Vila do Conde	PA	348,2	5056	59
Vitória	ES	2729,77	19256	424

TRATAMENTO DOS DADOS EM DEA

Por vezes, o conjunto de dados pode apresentar valores negativos ou nulos, para atendimento da característica de "positividade" em DEA. Um dos métodos mais comuns para eliminar os problemas de valores não-positivos em DEA tem sido através da adição de uma constante positiva, suficientemente grande, para os valores de *input* ou *output* que incluam tais valores indesejados [31].

A Tabela 3 apresenta o tratamento dos dados, a partir do acréscimo de cem mil unidades aos *outputs* 1 e 2. Esse tratamento é denominado "translação", segundo [7].

Tabela 3: tratamento dos dados

DMU	VARIÁVEIS	INPUT	OUTPUT 1	OUTPUT 2
	Portos	UF	Incremento de carga até 2023	Incremento de contêineres até 2023
		(R\$ milhões)	(com translação)	(com translação)

DMU 1	Angra dos Reis	RJ	255,2	100336	100000
DMU 2	Antonina	PR	27,4	100011	100000
DMU 3	Aratu	BA	659,59	107244	100000
DMU 4	Belém	PA	35,2	100473	100100
DMU 5	Cabedelo	PB	372,2	100251	100000
DMU 6	Fortaleza	CE	537,8	100803	100116
DMU 7	Ilhéus	BA	2730,56	100008	100000
DMU 8	Imbituba	SC	1932,13	100561	100025
DMU 9	Itaguaí	RJ	2211,68	104329	99773
DMU10	Itajaí	SC	514,49	100167	101018
DMU 11	Itaqui	MA	1473,48	107757	100200
DMU 12	Maceió	AL	569,37	101146	100014
DMU 13	Manaus	AM	270,2	101700	100334
DMU 14	Natal	RN	140,5	100063	100012
DMU 15	Paranaguá	PR	2178	102002	100865
DMU 16	Pecém	CE	2683,065	100000	100236
DMU 17	Porto Alegre	RS	100,2	102397	100034
DMU 18	Recife	PE	68,3	100852	100000
DMU 19	Rio de Janeiro	RJ	1893,84	104144	100590
DMU 20	Rio Grande	RS	1085,6	107279	101235
DMU 21	Salvador	BA	677,04	100182	100380
DMU 22	Santarém	PA	60,15	100064	100010
DMU 23	Santos	SP	8670,31	118147	106345
DMU 24	São Francisco do Sul	SC	1360,21	100412	100366
DMU 25	São Sebastião	SP	156,25	102053	100000
DMU 26	Suape	PE	2814,765	100608	100875
DMU 27	Vila do Conde	PA	348,2	105056	100059
DMU 28	Vitória	ES	2729,77	119256	100424

3.4. ESCOLHA DO MODELO DEA

DEA Os modelos DEA “clássicos” CCR e BCC são os mais utilizados em modelagem. A escolha por um modelo CCR ou BCC traz, implicitamente, a seleção dos retornos constantes ou variáveis de escala, a geometria da superfície de envelopamento dos dados e as projeções de eficiência [13], [14].

A necessidade de realizar a translação dos dados dos *outputs* 1 e 2, conforme descritos na Tabela 3, implica a escolha do modelo BCC, por ser invariante a translações a *outputs* quando orientado a *inputs* e vice-versa. O modelo CCR não se adequa às translações, sendo assim desconsiderado para a aplicação ao problema de pesquisa.

Em relação à escolha da orientação do modelo BCC, cabe ressaltar o exposto acerca da atual conjuntura econômica do país. Julgou-se coerente orientar a modelagem BCC a *input*, pois permite que os investimentos possam ser reavaliados, com foco em economia de recursos em DMU ineficientes, sendo mantidas as projeções dos cenários de movimentação de cargas nos portos até 2023.

Além disso, o modelo BCC se aplica a escalas com retorno variável, o que se adequa ao problema de pesquisa. Segundo [7], o modelo BCC impõe uma fronteira de eficiência convexa, permite que DMU que operam com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala. A natureza dos portos, que operam em escalas diferentes de movimentação de cargas e envolvem montantes também diferenciados nos estudos do IPEA, também corroboram com a escolha do modelo BCC.

Os resultados do modelo BCC podem ser obtidos por técnica dos multiplicadores ou do envelope, também designadas como modelos primal e dual, respectivamente, produzindo os mesmos resultados para as eficiências. As equações do problema de programação linear ao modelo clássico BCC, no modo primal linearizado, orientado a *input*, correspondem à função objetivo (1) e às restrições (2), (3) e (4):

$$Max\ Eff_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} + u_* \tag{1}$$

sujeito a

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \tag{2}$$

$$-\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} + u_* \leq 0, \forall k \tag{3}$$

$$v_i, u_j \geq 0, u_* \in R \tag{4}$$

- em que
- Effo: eficiência da DMU_o;
 - v_i: peso (multiplicador) de *input*;
 - u_j: peso (multiplicador) de *output*;
 - x_i: *input*;
 - y_j: *output*; e
 - u*: fator de escala.

O Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD), desenvolvido por [32], foi utilizado como ferramenta de cálculo, conforme os dados da Tabela 3. O SIAD permitiu obter os resultados de eficiência das DMU para o modelo DEA-BCC, os pesos das variáveis e os alvos, que correspondem aos montantes de recursos a serem economizados nos projetos de cada porto, cujo conjunto de projetos foi modelado como ineficiente.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fronteira de eficiência foi composta por nove portos: Antonina-PR, Aratu-BA, Belém-PA, Itajaí-SC, Porto Alegre-RS, Rio Grande-RS, Santos-SP, Vila do Conde-PA e Vitória-ES. A coluna “Alvo” indica a economia de recursos financeiros, planejados pelo IPEA para cada porto, em R\$ milhões, de forma a transladar os portos para a fronteira de eficiência. Dessa forma, os portos considerados eficientes apresentam alvos nulos. A Tabela 4 apresenta os resultados da aplicação do modelo BCC, orientado a *input*, onde o resultado 100% indica as DMU que compõem a fronteira de eficiência.

Tabela 4: resultados

DMU	PORTO	UF	INPUT (R\$ milhões)	EFICIÊNCIA	ALVO (R\$ milhões)
DMU 1	Angra dos Reis	RJ	255,2	12,9%	32,89
DMU 2	Antonina	PR	27,4	100,0%	0
DMU 3	Aratu	BA	659,59	100,0%	0
DMU 4	Belém	PA	35,2	100,0%	0
DMU 5	Cabedelo	PB	372,2	8,5%	31,45
DMU 6	Fortaleza	CE	537,8	11,4%	61,09
DMU 7	Ilhéus	BA	2730,56	1,0%	27,4
DMU 8	Imbituba	SC	1932,13	2,0%	38,17
DMU 9	Itaguaí	RJ	2211,68	12,7%	280,39
DMU 10	Itajaí	SC	514,49	100,0%	0
DMU 11	Itaquí	MA	1473,48	55,0%	809,92
DMU 12	Maceió	AL	569,37	10,2%	57,94
DMU 13	Manaus	AM	270,2	83,5%	225,61

DMU	PORTO	UF	INPUT (R\$ milhões)	EFICIÊNCIA	ALVO (R\$ milhões)
DMU 14	Natal	RN	140,5	20,2%	28,34
DMU 15	Paranaguá	PR	2178	25,0%	543,97
DMU 16	Pecém	CE	2683,065	4,0%	106,21
DMU 17	Porto Alegre	RS	100,2	100,0%	0
DMU 18	Recife	PE	68,3	70,3%	48
DMU 19	Rio de Janeiro	RJ	1893,84	27,7%	524
DMU 20	Rio Grande	RS	1085,6	100,0%	0
DMU 21	Salvador	BA	677,04	26,8%	181,39
DMU 22	Santarém	PA	60,15	47,0%	28,3
DMU 23	Santos	SP	8670,31	100,0%	0
DMU 24	São Francisco do Sul	SC	1360,21	12,9%	175,53
DMU 25	São Sebastião	SP	156,25	56,7%	88,58
DMU 26	Suape	PE	2814,765	16,4%	461,66
DMU 27	Vila do Conde	PA	348,2	100,0%	0
DMU 28	Vitória	ES	2729,77	100,0%	0

A ineficiência calculada para 19 dos 28 portos sugere uma oportunidade para a reavaliação do montante de recursos financeiros destinados às obras de infraestrutura nos portos, desde que mantidos os cenários de aumento na movimentação de carga até 2023. Em termos práticos, os resultados ineficientes significam gastos elevados do *input* para o esperado retorno da produção dos *outputs*. Por outro lado, os nove portos eficientes apresentam volumes de investimentos compatíveis com o aumento da movimentação de cargas.

O modelo BCC é considerado “benevolente”, em decorrência da “convexidade” aplicada à fronteira de eficiência. Essa característica garante que alguns portos com reduzidos volumes de investimentos sejam eficientes, como Antonina-PA (R\$ 27,4 milhões) e Belém-PA (R\$ 35,2 milhões), quando comparados a outros portos também eficientes, porém com investimentos mais vultosos, como Santos-SP (R\$ 8,67 bilhões) e Vitória-ES (R\$ 2,73 bilhões).

Por outro lado, a convexidade da fronteira de eficiência reduz consideravelmente os alvos para os portos com eficiência inferior a 10%. Para o porto de Ilhéus-BA, que apresentou a menor eficiência (i.e. 1%), bastaria a redução de R\$ 27,4 milhões do montante planejado em R\$ 2730,56 para atingir a fronteira de eficiência. Certamente o cálculo desse alvo em um modelo de retorno constante de escala (i.e. CCR) indicaria um valor superior, embora deva-se ressaltar o exposto sobre a inadequação do método CCR ao problema de pesquisa.

De qualquer forma, ínfimos índices de eficiência trazem à luz a necessidade de uma reavaliação dos gestores públicos e analistas dos órgãos e agências envolvidos, em relação aos investimentos em infraestrutura e as expectativas de retorno para os portos ineficientes. Em resumo, os resultados da modelagem DEA trazem questionamentos sobre o investimento de significativos recursos de infraestrutura para um conjunto ineficiente e apresenta o quanto em economia seria possível atingir em tais conjuntos.

5. CONCLUSÃO

O transporte marítimo representa o principal modo de transporte ao comércio mundial e para o Brasil. Ao país, aproximadamente 95% de sua produção ao comércio exterior escoam a partir dos portos. Não obstante a relevância desse modo, o desempenho da atividade portuária apresenta resultados incompatíveis com a necessidade do país, conforme os dados expostos [2].

Diferentes programas voltados para a infraestrutura dos transportes em geral planejam a recuperação da infraestrutura aquaviária. Em paralelo, órgãos e agências especializadas estudam investimentos no setor e prospectam cenários de oferta e demanda que permitam assessorar gestores na tomada de decisão em investimentos. Nesse contexto, esta pesquisa apresentou os trabalhos do IPEA e da ANTAQ [3]–[6].

O Mapeamento IPEA apresentou investimentos em 265 projetos para modernizar a infraestrutura em 31 portos brasileiros, abrangendo a ampliação dos acessos por outros modais e obras em geral nos portos e nas áreas marítimas adjacentes. O PGO desenvolvido pela ANTAQ simulou cenários de movimentação de carga nos portos, com moldura temporal até o ano de 2023. Esses resultados foram utilizados como premissas desta pesquisa.

A modelagem DEA se mostrou adequada para a avaliação de investimentos em modernização dos portos, permitindo identificar o nível de eficiência dos diferentes projetos, localizar a ineficiência e propor metas tangíveis para a economia de recursos. Os investimentos planejados compuseram os recursos de entrada (*inputs*) e a capacidade ampliada dos portos os recursos de saída (*output*) da modelagem DEA.

Dadas as características do problema de pesquisa, julgou-se adequado aplicar o modelo BCC, tendo em vista a necessidade de translação dos dados dos *outputs* 1 e 2, devido à existência de valores não-positivos, além da variação em escala das DMU consideradas. A orientação do modelo a *input* permitiu identificar os montantes de recursos financeiros passíveis de uma redução, em decorrência da atual conjuntura econômica do país. Dos 28 portos incluídos nos estudos do IPEA e da ANTAQ, nove ocuparam a fronteira de eficiência. Aos 19 portos avaliados como ineficientes, foram calculados os alvos, indicando aos gestores metas tangíveis capazes de transladar os portos para a fronteira de eficiência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IPEA, “Portos Brasileiros: Diagnóstico, Políticas e Perspectivas. Comunicados do IPEA Nr 48. Instituto de Política Econômica Aplicada. Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro,” Brasília-DF, 2010.
- [2] WEF, “The Global Competitiveness Report 2014-2015. Fórum Econômico Mundial,” 2015. [Online]. Available: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2014-2015>. [Accessed: 17-Jun-2017].
- [3] ANTAQ, “Subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de Terminais de Uso Privativo em apoio ao Plano Geral de Outorgas. Anexos. Tomos 2.,” Brasília-DF, 2009.
- [4] ANTAQ, “Subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de Terminais de Uso Privativo em apoio ao Plano Geral de Outorgas. Relatório Final. Tomo 1,” Brasília-DF, 2009.
- [5] C. A. da S. Campos Neto, B. Pêgo Filho, A. E. Romminger, I. M. Ferreira, and L. F. S. Vasconcelos, “Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do PAC. Nota Técnica, n 2. Diretoria de Estudos Setoriais/IPEA,” Brasília-DF, 2009.
- [6] C. A. da S. Campos Neto, B. Pêgo Filho, A. E. Romminger, I. M. Ferreira, and L. F. S. Vasconcelos, “Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do PAC: mapeamento Ipea de obras portuárias”. Texto para Discussão, n. 1423.,” Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), Brasília-DF, 2009.

- [7] L. A. Meza, E. G. Gomes, and L. B. Neto, "Curso de análise de envoltória de dados," in *XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2005, pp. 20520–22547.
- [8] J. Zhu, *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets*, vol. 213. Springer, 2014.
- [9] BRASIL, "Programa de Aceleração do Crescimento," 2015. [Online]. Available: <http://www.pac.gov.br/transportes/portos>. [Accessed: 17-May-2017].
- [10] BRASIL, "Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT)." Ministério dos Transportes, Brasília-DF, 2009.
- [11] MPOG, "Plano Plurianual (PPA). Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão." Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão, Brasília-DF, 2008.
- [12] D. Amora, "Dilma quer lançar PAC3 antes de terminar as obras do PAC 1," *Folha de São Paulo*, São Paulo, 19-May-2015.
- [13] A. Charnes, W. W. Cooper, and E. Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 2, no. 6, pp. 429–444, 1978.
- [14] R. D. Banker, A. Charnes, and W. W. Cooper, "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis," *Manage. Sci.*, vol. 30, no. 9, pp. 1078–1092, 1984.
- [15] Y. S. Park, N. M. A. Mohamed Abdul Ghani, F. Gebremikael, and G. Egilmez, "Benchmarking environmental efficiency of ports using data mining and RDEA: the case of a US container ports," *Int. J. Logist. Res. Appl.*, vol. 22, no. 2, pp. 172–187, 2019.
- [16] B. Kalgora, S. Y. Goli, B. Damigou, H. T. Abdoukarim, and K. K. Amponsem, "Measuring West-Africa Ports Efficiency Using Data Envelopment Analysis," *J. Transp. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 287–308, 2019.
- [17] D. M. E. de Paiva, M. A. V. Freitas, M. C. Barbosa, and N. D. Pizzolato, "Assessing the environmental management and operational efficiency of Brazilian public ports that export soybeans," *Rev. Adm. Pública*, vol. 53, no. 2, pp. 492–504, 2019.
- [18] G. Dong, J. Zhu, J. Li, H. Wang, and Y. Gajpal, "Evaluating the Environmental Performance and Operational Efficiency of Container Ports: An Application to the Maritime Silk Road," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 12, p. 2226, 2019.
- [19] S.-A. Julien, J. Cowie, and J. Monios, "Efficiency, productivity and returns to scale in ports: a comparison of data envelopment analysis and econometric estimation with application to Caribbean Small Island Developing States," *Marit. Econ. Logist.*, pp. 1–26, 2018.
- [20] I. C. Melo, P. N. A. Junior, A. E. Perico, M. G. S. Guzman, and D. A. do N. Rebelatto, "Benchmarking freight transportation corridors and routes with data envelopment analysis (DEA)," *Benchmarking An Int. J.*, vol. 25, no. 2, pp. 713–742, 2018.
- [21] C. Chen and J. S. L. Lam, "Sustainability and interactivity between cities and ports: a two-stage data envelopment analysis (DEA) approach," *Marit. Policy Manag.*, vol. 45, no. 7, pp. 944–961, 2018.
- [22] B. Wiśnicki, L. Chybowski, and M. Czarnecki, "Analysis of the efficiency of port container terminals with the use of the data envelopment analysis method of relative productivity evaluation," *Manag. Syst. Prod. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 9–15, 2017.
- [23] G. Cavone, M. Dotoli, N. Epicoco, and C. Seatzu, "Intermodal terminal planning by petri nets and data envelopment analysis," *Control Eng. Pract.*, vol. 69, pp. 9–22, 2017.
- [24] B. Wiegmans and P. Witte, "Efficiency of inland waterway container terminals: Stochastic frontier and data envelopment analysis to analyze the capacity design-and throughput efficiency," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 106, pp. 12–21, 2017.
- [25] W.-H. Huang, S.-L. Chao, and C.-C. Chang, "Assessment of differences in efficiency across strategic groups in the container shipping context: a data envelopment analysis," *Int. J. Shipp. Transp. Logist.*, vol. 9, no. 6, pp. 651–672, 2017.
- [26] M. G. M. Peixoto, M. C. A. Mendonça, M. A. Musetti, M. O. Batalha, and R. L. Sproesser, "Grain intermodal terminals: evaluation of pure technical efficiency by Data Envelopment Analysis," *Production*, vol. 27, 2017.
- [27] D. Pjevecvic, M. Nikolic, N. Vidic, and K. Vukadinovic, "Data envelopment analysis of AGV fleet sizing at a port container terminal," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 55, no. 14, pp. 4021–4034, 2017.

- [28] N. Kutin, T. T. Nguyen, and T. Vallée, “Relative efficiencies of ASEAN container ports based on data envelopment analysis,” *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 33, no. 2, pp. 67–77, 2017.
- [29] L. A. Meza, “Data envelopment analysis na determinação da eficiência dos programas de pós-graduação da COPPE/UFRJ,” Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 1998.
- [30] J. T. Pastor and J. L. Ruiz, “Variables with negative values in DEA,” in *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis*, Springer, 2007, pp. 63–84.
- [31] J. Sarkis, “Preparing your data for DEA,” in *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis*, Springer, 2007, pp. 305–320.
- [32] L. A. Meza, L. Biondi Neto, J. C. C. B. S. Mello, and E. G. Gomes, “ISYDS-Integrated System for Decision Support (SIAD-Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model,” *Pesqui. Operacional*, vol. 25, no. 3, pp. 493–503, 2005.