

ÍNDICE DE DESEMPENHO AMBIENTAL EM PORTOS BRASILEIROS: APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX IN BRAZILIAN PORTS: APPLICATION OF DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

ÍNDICE DE DESEMPEÑO AMBIENTAL EN PUERTOS BRASILEÑOS: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE ENVOLTURA DE DATOS

Gabriel Luciano Borges de Carvalho¹
Denise Helena Lombardo Ferreira²
Cibele Roberta Sugahara³

1

Resumo: O Brasil apresenta um histórico de investimentos precários em infraestruturas portuárias. É de fundamental importância o setor portuário para a economia de um país, contudo esse segmento pode acarretar sérios problemas ambientais. Neste cenário, esta pesquisa, fundamentada na compreensão da estrutura e dinâmica do setor portuário, busca estudar a eficiência de alguns portos brasileiros da Região Nordeste e Sudeste, segundo alguns parâmetros. Para isso, utiliza-se a ferramenta Análise Envoltória de Dados a partir de informações divulgadas pelos Planos de Desenvolvimento e Zoneamento portuários e a pontuação obtida pelo Índice de Desempenho Ambiental (IDA) publicada pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários, tendo como referência o ano de 2015. Foi possível observar que dentre os portos analisados, os portos de Maceió e de Salvador, ambos da região Nordeste, apresentaram baixa eficiência, de acordo com os aspectos selecionados.

Palavras-chave: Portos brasileiros. Movimentação de cargas. Índice de Desempenho Ambiental. Análise Envoltória de Dados.

¹Graduando em Engenharia Química. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. E-mail: gabriel.lbc@live.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4503-1022>

²Doutora em Educação Matemática. Pesquisadora e Professora do Mestrado em Sustentabilidade. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. E-mail: lombardo@puc-campinas.edu.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3138-2406>

³Doutora em Ciência da Informação. Pesquisadora e Professora do Mestrado em Sustentabilidade. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. E-mail: cibelesu@puc-campinas.edu.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3481-8914>

Abstract: Brazil has a history of precarious investments in port infrastructure. The port sector is of fundamental importance to a country's economy, however this segment can cause serious environmental problems. In this scenario, this research, based on understanding the structure and dynamics of the port sector, seeks to study the efficiency of some Brazilian ports in the Northeast and Southeast, according to some parameters. For this, the Data Envelopment Analysis tool is used based on the data released by the Port Development and Zoning Plans and the score obtained by the Environmental Performance Index (IDA) published by the National Waterway Transport Agency, having 2015 as the reference year. It was possible to observe that among the analyzed ports, the ports of Maceió and Salvador, both in the Northeast region, presented low efficiency, according to the selected aspects.

Keywords: Brazilian ports. Cargo handling. Environmental Performance Index. Data Envelopment Analysis.

Resumen: Brasil tiene una historia de inversiones precarias en infraestructura portuaria. El sector portuario es de fundamental importancia para la economía de un país, sin embargo, este segmento puede causar serios problemas ambientales. En este escenario, esta investigación, basada en la comprensión de la estructura y la dinámica del sector portuario, busca estudiar la eficiencia de algunos puertos brasileños en el noreste y sudeste, de acuerdo con algunos parámetros. Para esto, la herramienta de Análisis Envoltante de Datos se utiliza en base a los datos publicados por los Planes de Desarrollo y Zonificación de Puertos y el puntaje obtenido por el Índice de Desempeño Ambiental (IDA) publicado por la Agencia Nacional de Transporte de Vías Navegables, teniendo como referencia el año 2015. Fue posible observar que entre los puertos analizados, los puertos de Maceió y Salvador, ambos en la región noreste, presentaron baja eficiencia, de acuerdo con los aspectos seleccionados.

Palabras clave: Puertos brasileños. Manipulación de la carga. Índice de desempeño ambiental. Análisis Envoltante de Datos.

Submetido 04/08/2020

Aceito 22/03/2021

Publicado 24/03/2021

Introdução

O setor portuário é responsável pela movimentação das riquezas de um país. Conforme Collyer (2008), o porto representa uma fronteira nacional aberta, entreposto dinâmico de mercadorias, em que se realizam atividades aduaneiras, alfandegárias, comerciais, sanitárias, tributárias, imigratórias, entre outras.

O Brasil possui uma costa navegável de 8,5 mil quilômetros, o que favorece o setor portuário, de forma a movimentar cerca de 700 milhões de diversas mercadorias por ano, sendo 97% destinado às exportações e 86% às importações de mercadorias (UNDERMAN *et al.*, 2012; ANTAQ, 2017).

O intenso crescimento da atividade portuária no Brasil ao longo dos anos tem implicado no desenvolvimento do setor, principalmente no âmbito internacional, tornando-se um setor estratégico e competitivo. Por outro lado, a movimentação de cargas gerada devido a esse crescimento, sobretudo em ambientes costeiros, tem provocado prejuízo ao meio ambiente (SILVA, 2014). Silva, Rosa e Lunkes (2018) mencionam alguns desses impactos ambientais: erosão e assoreamento marítimos, contaminação de ambientes aquáticos, desequilíbrio ecológico de espécies marinhas, poluição sonora, poluição atmosférica.

Os principais impactos causados pelas atividades portuárias segundo levantamento da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2018), referem-se às alterações do padrão hidrológico e da dinâmica sedimentar; destruição e/ou alteração de áreas naturais costeiras como *habitats* ou ecossistemas; supressão de vegetação; modificação no regime e alteração no fundo dos corpos d'água; poluição da água, do solo, do subsolo e do ar; alteração da paisagem; geração de ruídos em ambientes urbanos; distúrbios na fauna e na flora; atração de vetores de doenças, entre outros. Muitos desses impactos são causados pela geração de resíduos sólidos, de efluentes e de emissões atmosféricas dos navios que circulam pelo porto, acrescidos pelos acidentes, movimentação e armazenagem que ocorrem nos portos. Como destacam Silva e Gomes (2012), a dificuldade não está em diagnosticar as causas da poluição nos portos, mas sim as suas consequências.

Tendo em vista os questionamentos e preocupações de ordem ambiental, percebe-se que a Lei de Modernização dos Portos, promulgada com o intuito de promover a competitividade do setor, configurou-se como um processo de reestruturação incompleto, já que não contemplou de forma decisiva a questão ambiental (BRASIL, 1993; KITZMANN; ASMUS, 2006).

Para que os tomadores de decisão continuem a apoiar as operações portuárias, Pprism (2010) ressalta a importância da implantação de uma efetiva gestão ambiental. Nesse contexto, os indicadores de desempenho ambiental constituem importantes instrumentos para essa gestão, já que funcionam como uma espécie de alarme para determinada situação ou condição que está sob análise. Adicionalmente, os indicadores podem ser utilizados para mostrar como determinada organização se comporta em termos de eficiência ambiental e promover uma base sólida para futuras metas e desenvolvimento (HAMMOND *et al.*, 1995). Além disso, podem expressar de forma resumida e quantitativa ou qualitativa um cenário complexo, revelando tendências e indicando previsões, quando observados por certo período de tempo (BAKKES *et al.*, 1994).

A eficiência dos portos está diretamente relacionada com a sua competitividade frente aos demais, tanto no âmbito nacional quanto no internacional (MILANI *et al.*, 2015). O Brasil apresenta um histórico de investimentos atrasados em suas infraestruturas impedindo-o de acompanhar o desenvolvimento do país (CARMO, 2015). O setor portuário traz benefícios que se estendem além do volume movimentado, também contribui para a economia na medida em que gera mais empregos, cria valor agregado (MILANI *et al.*, 2015) e estimula o crescimento urbano na região no qual está inserido (CARMO, 2015).

Entretanto, para que todas essas vantagens surtam efeito, as atividades portuárias devem superar uma série de desafios, como controlar o fluxo e o trânsito das cargas, reduzir os atrasos no processo de carga e descarga dos navios, aumentar a capacidade de armazenamento e melhorar a conexão com o transporte terrestre. Vale ressaltar que a falta de transparência sobre os dados operacionais dificulta o planejamento das atividades do setor, impactando toda a cadeia produtiva (GOBBI, 2015).

A revisão da bibliografia relacionada a estudos de gestão portuária permitiu identificar quais variáveis poderiam representar a eficiência dos portos, de forma a auxiliar na tomada de decisão dos gestores. Desta forma, foi possível identificar os seguintes parâmetros: Extensão do Cais, Capacidade de Armazenamento e Profundidade do Canal, Movimentação de Cargas e Índice de Desempenho Ambiental, a partir da ferramenta Análise Envoltória de Dados. Vale salientar que a escolha desses parâmetros ocorreu pelo fato da disponibilidade de tais informações nos Planos de Desenvolvimento e Zoneamento dos portos selecionados para a

análise, com exceção do IDA, cuja informação se encontra em ANTAQ (2020b). A seguir apresenta-se uma breve descrição desses parâmetros.

Extensão de Cais: o cais é destinado à atracação de embarcações (cargueiros e de transporte de pessoas). A influência deste parâmetro é devido à capacidade de recepção de novas cargas, influenciando a produtividade no terminal (FONTES; MELLO, 2006).

Movimentação de Cargas: principal variável que permite avaliar o desempenho portuário, visto que este tem como fim exatamente a movimentação e alocações de forma ótima/adequada de cargas recebidas. Normalmente utilizada em trabalhos acadêmicos para avaliar a eficiência operacional dos portos (ALMAWSHEKI; SHAH, 2015).

Capacidade de Armazenamento: relacionado às possíveis áreas de alocação e manuseio de cargas. Esta variável representa as características físicas e operacionais dos portos (PIRES, 2016).

Profundidade de Canal: profundidade do canal que dá acesso às instalações portuárias.

Índice de Desempenho Ambiental (IDA): índice elaborado pela ANTAQ pela resolução nº 2.650/2012. Esse índice gera um número que representa a conformidade do porto com as legislações ambientais. Segundo a ANTAQ (2020b), o IDA mede o grau de atendimento às conformidades ambientais e é um fator que permite compreensão da dinâmica (gestão) ambiental portuária. Algumas oportunidades proporcionadas pelo IDA: funciona como elemento de comparação entre processos de gestão em instalações portuárias; permite também a comparação entre processos de licenciamento de instalações portuárias; institui um fluxo de informações técnicas substancial para o conhecimento e compreensão da gestão ambiental; pode ensejar obrigações e recompensas/reconhecimento ao administrador portuário.

Sendo assim, acredita-se que as variáveis descritas acima podem ser utilizadas para verificar a eficiência dos portos. Os resultados apresentados contribuem para subsidiar a tomada de decisão na gestão portuária, podendo servir de base para novos estudos sobre os demais portos brasileiros.

A partir desta introdução; na segunda seção do artigo apresenta-se uma breve descrição sobre o setor portuário brasileiro; na terceira seção destaca-se a metodologia utilizada, na quarta seção mostra-se os resultados; e, por fim, apresenta-se as considerações finais.

Setor portuário brasileiro

A história do sistema portuário brasileiro iniciou-se em 1808 com a abertura dos portos às nações amigas ainda no período do império brasileiro. Isso ocorreu devido à necessidade da exportação de madeira, ouro e outras riquezas exploradas no Brasil, além da importação dos produtos manufaturados, especiarias e escravos africanos para a nobreza (GOBBI, 2015). Decorridos os anos, na Proclamação da República, os portos foram privatizados, sendo o primeiro deles, o Porto de Santos. Nessa época, o porto de Santos era considerado de fundamental importância para o desenvolvimento econômico do país. A partir de 1934, no Estado Novo, a administração retorna ao poder público, porém, com a instalação do regime militar o foco se voltou à segurança nacional, o que gerou diminuição do transporte de mercadorias e pouca atenção à atualização do setor portuário (GOBBI, 2015).

Nessa época, criou-se estatais com o intuito de administrar os portos, foram instituídas as Companhias das Docas, o Ministério dos Transportes e a Empresa de Portos do Brasil S/A (PORTOBRAS) (CARMO, 2015). Até que em 1993 foi estabelecida a Lei 8.630/1993 conhecida como a Lei de Modernização dos Portos, permitindo a administração dos portos pelo setor privado (BRASIL, 1993).

Essas medidas impulsionaram a competitividade entre os portos instalados no Brasil ao aumentar os investimentos nas instalações com o foco em atrair mais clientes e, ao mesmo tempo, reduzir os preços dos serviços (CARMO, 2015). Anos mais tarde, em 2007, foi criada a Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP/PR) com o objetivo de reorganizar o setor portuário a partir da identificação das dificuldades enfrentadas e das necessidades de investimentos, garantindo sua eficiência e mantendo-o competitivo. Até que em 2013 publicou-se a Lei 12.815/2013, a qual demonstrou a importância dos investimentos no setor ao considerar a necessidade de investimentos pela iniciativa privada para melhorar a gestão e a eficiência das instalações (GOBBI, 2015).

Esse direcionamento para investimentos no setor portuário também faz parte do Plano de Gestão da Agência Nacional de Transportes Aquaviários para o ano de 2020. Dentre os valores preceituados pela ANTAQ tem-se: “promover a eficiência e qualidade da gestão ambiental no transporte aquaviário; prover infraestrutura e eficiência no transporte aquaviário, e produzir subsídios para aperfeiçoamento do setor aquaviário” (ANTAQ, 2020a, p. 2).

Propósitos orientados a resultados para a sociedade também estão previstos no Plano de Gestão da ANTAQ (2020a, p. 4), em decorrência dos valores expostos, um dos objetivos estratégicos é “promover o desenvolvimento do setor regulado com sustentabilidade ambiental”.

Estrutura dos portos

Os portos em geral, podem ser classificados de acordo com sua localização geográfica, função desempenhada e seu regime de exploração. Quanto à sua localização geográfica, um porto pode ser classificado como marítimo (quando localizado em baías, estuários ou no litoral), fluvial (quando estiver à margem de rios) ou lacustre (quando em lagoas ou à margem de rios sem acesso a outras bacias). E por fim, quanto ao seu regime de exploração, pode ser público ou privado, sendo classificado como Portos Organizados e Instalações Portuárias Públicas de Pequeno Porte, para portos públicos; e Terminais de uso privado (TUP) e Estações de Transbordo de Cargas (ETC), para portos privados, de acordo com a Lei 8.630/1993 (BRASIL, 1993).

O Porto Organizado pode ser definido, resumidamente, como bem público construído para atender às demandas de movimentação de carga, passageiros, necessidade de navegação, sob gestão de autoridades portuárias (BRASIL, 2015). Já os Terminais de Uso Privativo (TUP) estão sob jurisdição de pessoas jurídicas fora da área do porto organizado. Por fim, as Estações de Transbordo de Carga (ETC) são instalações portuárias fora de domínios do porto organizado, cuja instalação portuária é explorada pela autorização, operada exclusivamente para operação de transbordo de mercadorias em embarcações (BRASIL, 2015). Atualmente, o Brasil conta com 37 Portos Públicos Organizados espalhados entre os estados do país. Dentre eles, 18 são portos públicos delegados e 19 são administrados pelas Companhias dos Docas de cada estado (BRASIL, 2015). As principais autoridades responsáveis pela regulamentação da atividade portuária são: SEP/PR (Secretaria de Portos da Presidência da República), Ministério do Transporte através da Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Porém, diversas outras entidades da esfera federal normatizam e fiscalizam o setor portuário.

Uso de Indicadores no setor portuário

Um desafio do setor portuário consiste em selecionar indicadores que auxiliem na eficiência da gestão desse complexo e relevante processo, tendo em vista os aspectos econômico-sociais, sociológico-culturais, físico-químicos e biológico-ecológicos.

Outra problemática observada no setor portuário é a gestão ambiental no que diz respeito à geração e disposição de resíduos. Por lidar com o transporte de produtos intercontinentais, os riscos de contaminação dos ecossistemas típicos do Brasil devido ao descarte inadequado dos resíduos são muito elevados (SILVA, 2014). Por isso, a ANTAQ exige a realização de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, o qual obriga os portos a descreverem como é realizado o manejo dos resíduos desde sua geração até seu descarte final.

A definição dos aspectos mais importantes para melhorar a eficiência de um porto permite o acompanhamento de seu desenvolvimento facilitando a tomada de decisão. Rumo a essa tendência, a ANTAQ instituiu por meio da Resolução nº 2.650/2012, o Índice de Desempenho Ambiental (IDA) que permite acompanhar a gestão ambiental em instalações portuárias. Esse índice gera um número que representa a conformidade do porto com as legislações ambientais e permite compreensão da dinâmica gestão ambiental portuária. Para isso, foram selecionados 38 indicadores com diversos pesos (proporcionando diferentes graus de importância) a partir da literatura técnica especializada e legislação ambiental aplicável (ANTAQ, 2018). Tais indicadores são classificados em quatro categorias: econômico-operacional, sócio-cultural, físico-químico e, biológico-ecológico cada uma com um peso. Cada uma destas categorias possui indicadores globais e específicos que permitem quantificar e simplificar informações sobre as questões portuárias brasileiras.

Quanto às oportunidades proporcionadas pelo IDA, pode-se afirmar que funciona como elemento de comparação entre processos de gestão em instalações portuárias; permite também a comparação entre processos de licenciamento de instalações portuárias; institui um fluxo de informações técnicas substancial para o conhecimento e compreensão da gestão ambiental e pode ensejar obrigações e recompensas/reconhecimento ao administrador portuário.

A repercussão do índice IDA é progressiva, visto que há aderência pela sua utilização por órgãos públicos como a SEP/DOCAS, projetos de expansão para Terminais de Uso Privativo, prêmios atribuídos (Prêmio IDA) e publicidade crescente dos resultados publicados em veículos de comunicação da ANTAQ, site das Docas e imprensa em geral. Esse índice leva

em conta as condições ambientais portuárias no que tange quatro aspectos: econômico-sociais, sociológico-culturais, físico-químicos e biológico-ecológicos.

A Tabela 1 apresenta as notas atribuídas aos portos em relação ao Índice de Desempenho Ambiental segundo os aspectos econômico-sociais, sociológico-culturais, físico-químicos e biológico-ecológicos, para os períodos analisados. Os valores foram obtidos efetuando-se a média aritmética entre os dois semestres de cada ano.

Tabela 1: Notas dos aspectos econômico-sociais, sociológico-culturais, físico-químicos e biológico-ecológicos de portos organizados, 2013-2014

Portos	Econômico-Operacionais		Sociológico-Culturais		Físico-Químicos		Biológico-Ecológicos	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Aratu	43,2	49,6	21,3	30,1	33,5	25,6	10,8	10,8
Fortaleza	73,3	73,8	91,5	81,3	71,9	82,0	46,8	59,5
Ilhéus	39,9	51,1	21,3	30,1	29,8	29,8	10,8	10,8
Maceió	50,7	42,5	78,2	51,2	57,7	13,8	63,6	65,3
Natal	63,2	65,6	75,1	75,7	57,8	57,7	65,3	72,5
Salvador	41,5	48,9	21,3	34,2	30,3	29,8	10,8	10,8
Santos	57,1	61,0	91,5	87,4	80,3	59,4	39,0	46,8
S. Sebastião	77,4	93,8	91,5	91,5	88,9	94,6	74,6	74,6
Vitória	45,0	47,5	26,3	28,7	35,3	35,3	39,8	39,8

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ANTAQ (2020b).

A nota do IDA por semestre para cada ano é obtida a partir das notas atribuídas com os respectivos pesos, 0,72, 0,07, 0,16 e 0,05. É possível observar que o aspecto biológico-ecológicos apresenta as menores notas, contudo tem o menor peso.

Os resultados do IDA podem indicar a necessidade de avaliar de que forma os indicadores atendem a conformidade dos portos em relação às legislações ambientais. Desponta, portanto, a visão da gestão ambiental no transporte aquaviário preceituada pela ANTAQ (2020a) em que prenuncia particularmente, condutas para a preservação do padrão hidrológico.

A Tabela 2 destaca as notas do IDA para o período 2013 a 2015, com os respectivos *rankings*. É possível notar que nesse quesito, para os três períodos: 2013, 2014 e 2015, o *ranking* manteve-se constante para alguns portos, em primeiro lugar o porto de São Sebastião, em segundo lugar o de Fortaleza, em terceiro lugar o de Natal e em quarto lugar o porto de Santos.

A Figura 1 destaca o gráfico correspondente aos dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Índice de Desempenho Ambiental de portos organizados, 2013-2015

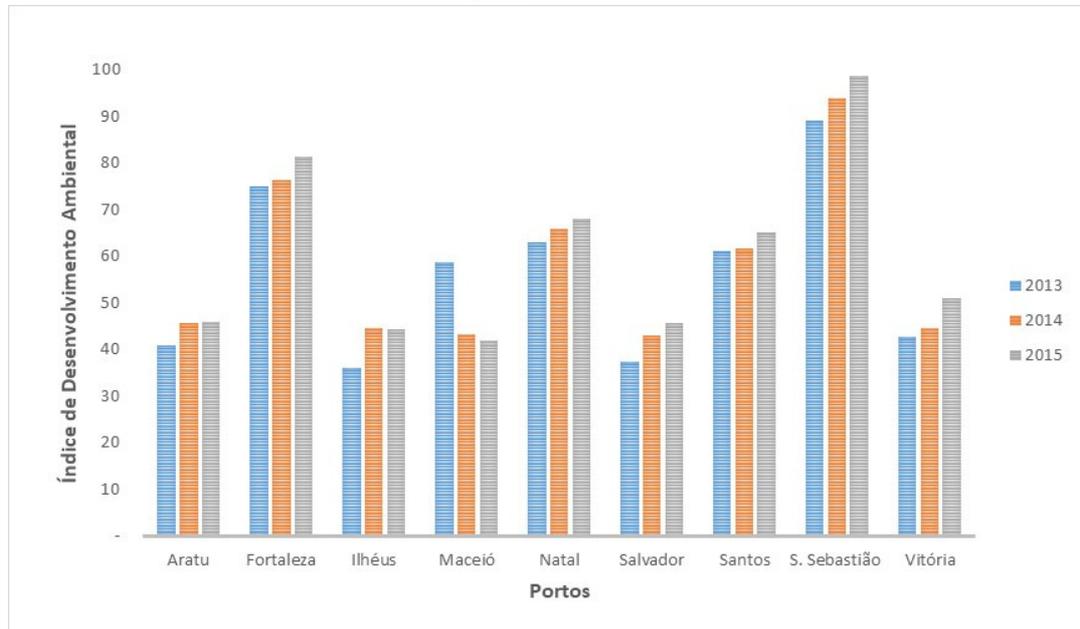
Portos	Período		
	2013	2014	2015
Aratu	40,9(7)	45,6(5)	46,0(6)
Fortaleza	75,1(2)	76,2(2)	81,4(2)
Ilhéus	36,2(9)	44,7(6)	44,2(8)
Maceió	58,8(5)	43,3(8)	42,0(9)
Natal	63,1(3)	66,0(3)	68,1(3)
Salvador	37,4(8)	43,0(9)	45,7(7)
Santos	61,3(4)	61,7(4)	65,0(4)
S. Sebastião	89,0(1)	93,9(1)	98,6(1)
Vitória	42,6(6)	44,6(7)	51,1(5)

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de ANTAQ (2020c).

Nota: () posição no *ranking* (ordem decrescente).

A Tabela 2 permite observar que as notas do IDA para todos os portos aumentaram para o período considerado, com exceção do porto de Maceió. Observa-se que no ano de 2013 o porto de Ilhéus obteve a menor nota do IDA, já no ano de 2014 foi o porto de Salvador e no ano de 2015 o porto de Maceió obteve a menor nota.

Figura 1: Índice de Desenvolvimento Ambiental de portos organizados no período de 2013-2015



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de ANTAQ (2020c).

É possível visualizar através do gráfico da Figura 1 que o porto de São Sebastião possui a melhor posição quanto ao Índice de Desempenho Ambiental para o período considerado.

Metodologia

Análise Envoltória de Dados (DEA)

Desde a década de 1930, estudos foram sendo realizados e desenvolvidos com o intuito de ser criado um modelo matemático capaz de medir a eficiência de diferentes unidades de tomada de decisão. Contudo, somente em 1978 foi divulgado o modelo da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) pelos pesquisadores Charnes, Cooper e Rhodes (SUGUIY, 2017). Desde então, esta ferramenta vem sendo largamente utilizada como técnica de cálculo de eficiência de diferentes unidades de tomada de decisão a partir da formulação de uma fronteira de produção, na qual são posicionados geometricamente os pontos de produção máxima para um montante de recursos disponíveis. O modelo DEA também permite uma comparação entre as unidades eficientes e ineficientes, seja em um instante de tempo, a partir de estudos prévios ou pela avaliação das alterações no grau de eficiência ao longo do tempo (SUGUIY, 2017). Estes pontos de produção inicialmente denominados de *Decision Making*

Units – DMU's (Unidades de Tomada de Decisão) e atualmente também conhecidas como unidades produtivas, podem ou não ser eficientes no modelo. A ferramenta DEA avalia a eficiência relativa de cada DMU a partir da sua comparação com as demais DMU's avaliadas. Essa comparação é possível a partir do estabelecimento de variáveis de entrada e saída, as quais são atribuídos pesos que devem, respectivamente, minimizar e maximizar esses resultados (SUGUIY, 2017).

No modelo DEA, o conceito de eficiência consiste em comparar as unidades produtivas a partir de uma quantidade limitada de recursos. Aquelas classificadas como ineficientes podem atingir a fronteira de eficiência pela alteração dos pesos atribuídos às variáveis de entrada e saída e da comparação do montante máximo produzido pelas DMU's mais produtivas (ÂNGULO-MEZA *et al.*, 2005). Essa alteração dos pesos para que a unidade de tomada de decisão se torne eficiente, pode ser feita de duas maneiras: a primeira consiste na redução dos recursos utilizados mantendo-se constante a produção (orientação a *input*) e a segunda o inverso (orientação a *output*) (ÂNGULO-MEZA *et al.*, 2005). Além disso, a DEA é capaz de fornecer o *benchmarking* para as unidades ineficientes (SUGUIY, 2017).

Ao longo dos anos foram desenvolvidos diversos modelos matemáticos de apoio à ferramenta DEA. Os modelos mais utilizados são aqueles com múltiplos recursos e múltiplos produtos denominados *Constant Return to Scale* (CRS – Retorno Constante de Escala) ou CCR – desenvolvido pelos pesquisadores Charnes, Cooper e Rhodes – e *Variable Returns to Scale* (VRS – Retorno Variável de Escala) ou também conhecido como BCC – desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984). O modelo CCR como o próprio nome indica trabalha com retornos constantes de escala, qualquer variação, seja nas variáveis de entrada (também denominadas de *inputs*) ou nas de saída (denominadas *outputs*), produz uma variação proporcional em sua oposta (Ângulo-Meza *et al.*, 2005). Além disso, os modelos também podem trabalhar com duas orientações: *input* ou *output*.

Na orientação a *input*, a eficiência é gerada a partir da razão entre a soma ponderada das saídas (*outputs*) pela soma ponderada das entradas (*inputs*). A partir dessa definição, são atribuídos pesos às variáveis selecionadas de forma a maximizar a eficiência da DMU, desde que a aplicação desses pesos às mesmas variáveis das demais unidades produtivas não sejam superiores a 1 (uma unidade), ou seja, quanto maior a relação (soma dos *outputs*)/(soma dos *inputs*), maior a eficiência (ÂNGULO-MEZA *et al.*, 2005).

Já para a orientação a *output*, é desejada a maximização das saídas mantendo-se constantes as entradas. Para isso, a razão entre as somas ponderadas da orientação *input* é invertida. Ao realizar essa ação, a eficiência passa a ser um valor maior que 1. Portanto, para que haja uma maximização das saídas, é realizada uma minimização das entradas, ou seja, quanto menor a relação (soma dos *inputs*)/(soma dos *outputs*), maior a eficiência (SUGUIY, 2017).

O modelo BCC, por trabalhar com retornos variáveis de escala, não considera a proporcionalidade entre as entradas e saídas, como ocorre no modelo CCR, pelo axioma da convexidade. Com isso, as DMU's que operam com baixos valores de *inputs* têm retornos crescentes de escala, enquanto aquelas com valores maiores de *inputs* têm retornos decrescentes (MELLO *et al.*, 2008). Por outro lado, o modelo BCC não adota esta proporcionalidade, possibilitando que as DMU's consumam quantidades significativas de recursos e tenham retornos decrescentes de escala e vice-versa (GOMES GARCIA; SILVA; FREITAS, 2017). Quando comparados os modelos apresentados, observa-se que na técnica CRS são encontrados valores mais baixos de eficiência e, conseqüentemente, um número menor de DMU's na fronteira (SUGUIY, 2017).

Coleta de dados

Foram coletados dados referentes a quantidade de resíduos produzidos no Porto de Santos, tendo em vista que foi o único dentre os portos brasileiros que disponibilizou publicamente informações a esse respeito. Os demais portos apenas divulgaram os Planos de Gestão de Resíduos, porém não mencionavam as quantidades de resíduos gerados nos respectivos portos. Além disso, não foi definido um modelo padrão do documento, dificultando a análise entre os portos, no caso da adoção de indicadores qualitativos. Tendo em vista esse fato, para a aplicação do modelo não foram considerados dados referentes aos resíduos portuários.

Os seguintes portos das regiões Nordeste e Sudeste foram selecionados: Aratu-Candeias(BA), Fortaleza(CE), Ilhéus(BA), Maceió(AL), Natal(RN), Salvador(BA), Santos(SP), São Sebastião(SP) - partes Sul e Norte e Vitória(ES), as variáveis que compõem este estudo se dividem entre *inputs* e *outputs*. Foram selecionadas três variáveis para atuar como *inputs*, dentre elas Extensão do Cais, Capacidade de Armazenamento e Profundidade do Canal,

e para os *outputs*: Movimentação de Cargas e Índice de Desempenho Ambiental. Os seguintes modelos foram utilizados na avaliação - *Constant Return to Scale* o modelo *Variable Returns to Scale*, com orientação a *output* e orientação a *input*.

A Tabela 3 apresenta os dados coletados referentes a Extensão do Cais, Capacidade de Armazenamento, Profundidade do Canal e Carga Movimentada, obtidos pelos Planos de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) para os portos selecionados para o ano de 2015, disponíveis em anuários estatísticos, bem com as notas do IDA (ANTAQ, 2020b). Vale destacar que devido as notas do IDA serem atribuídas semestralmente foi realizada a média dos dois semestres do ano de 2015.

Tabela 3: Dados coletados de portos brasileiros

Portos	Extensão do Cais (km)	Capacidade de Armazenamento (m ²)	Profundidade do Canal (m)	Carga Movimentada (ton)	IDA
Aratu	0,895	31.305	18,0	7.083.546	46,0
Fortaleza	1,116	30.000	13,0	7.011.350	81,4
Ilhéus	0,432	18.050	16,0	255.188	44,2
Maceió	1,487	63.000	10,5	1.765.433	42,0
Natal	0,540	4.400	10,0	502.133	68,1
Salvador	2,092	20.084	15,0	4.501.955	45,7
Santos	16,000	54.221	15,0	119.931.880	65,0
S. Sebastião Norte	2,391	66.000	14,0	49.394	98,6
S. Sebastião Sul	2,391	66.000	23,0	49.394	98,6
Vitória	0,766	40.000	8,5	6.820.000	51,1

Fonte: Elaboração própria a partir dos Planos de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) e ANTAQ (2020b).

A partir da Tabela 3 observa-se que o porto de Santos possui destaque para os itens Extensão do Cais e a Carga Movimentada em relação aos demais portos. O porto de São Sebastião destaca-se com uma boa avaliação do IDA para ao ano de 2015, diferentemente do porto de Maceió que apresentou a pior avaliação do IDA.

Resultados

A seguir são apresentados os resultados obtidos com a ferramenta DEA a partir dos dados coletados, variando as entradas (*inputs*) e as saídas (*outputs*), com orientação *input* e

output, considerando os modelos *Constant Return to Scale* (CRS) e *Variable Return to Scale* (VRS) (Tabela 4).

Vale mencionar que as rodadas na ferramenta DEA foram feitas apenas para o ano de 2015 tendo em vista a disponibilidade dos dados para este ano dos portos em estudo. Pode-se afirmar que os portos de Santos, Salvador e Aratu-Candeias se mostram mais dispostos a divulgar dados estatísticos.

A Tabela 4 permite observar que no modelo CRS as eficiências obtidas para ambas orientações (*input* ou *output*) são idênticas.

Tabela 4: Resultados das eficiências dos portos brasileiros

Portos	Modelo CRS	Modelo VRS	
	<i>input/output</i>	<i>input</i>	<i>output</i>
Aratu	0,985	1,000	1,000
Fortaleza	1,000	1,000	1,000
Ilhéus	1,000	1,000	1,000
Maceió	0,585	0,924	0,591
Natal	1,000	1,000	1,000
Salvador	0,459	0,653	0,606
Santos	1,000	1,000	1,000
S. Sebastião Norte	1,000	1,000	1,000
S. Sebastião Sul	0,783	1,000	1,000
Vitória	1,000	1,000	1,000

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 4 revela que para o modelo CRS em ambas orientações (*input* e *output*), os portos de Salvador (BA) e Maceió (AL) apresentaram baixa eficiência, aproximadamente, 46% e 60%, respectivamente, ambos da região Nordeste. Observa-se que esses portos apresentam valores baixos do IDA. O porto de São Sebastião (SP) apresenta eficiência regular, 78%, embora com o maior valor do IDA em comparação aos demais portos, porém a carga movimentada desse porto é a menor de todos os elencados. Para o modelo VRS, o porto de Salvador (BA) apresentou baixa eficiência em ambas orientações, aproximadamente, 65% e 60%, respectivamente, e o porto de Maceió (AL) obteve baixa eficiência, aproximadamente 59%, apenas para a orientação *output*, os demais portos apresentaram eficiência máxima.

A ferramenta DEA é capaz de fornecer o *benchmarking* para as unidades ineficientes, por meio dos valores de insumos consumidos e produtos gerados (SUGUIY, 2017). Se a DMU possui valores maiores de eficiência ao serem aplicados os pesos encontrados para as demais DMU's, ela é uma referência e com base nela é realizado o *benchmarking* (SUGUIY, 2017).

O objetivo é calcular a eficiência das unidades produtivas, conhecendo-se os níveis dos recursos empregados e dos resultados obtidos. A DEA otimiza cada observação individual, de modo a estimar uma fronteira eficiente (linear por partes), composta das unidades que apresentam as melhores práticas dentro da amostra em avaliação. Essas unidades servem como referência ou *benchmarking* para as unidades ineficientes (GOMES *et al.*, 2009).

A função de *benchmarking* é dada pela projeção das unidades ineficientes na fronteira de eficiência e pode ser aplicada com a orientação a *input* ou a *output*. Na orientação a *input* há uma redução equiproporcional de entradas, enquanto as saídas se mantêm constantes, a fim de atingir a eficiência; já na orientação a *output*, o objetivo é de melhorar os resultados, porém sem reduzir os recursos dados.

Dessa forma, para as unidades que não atingiram 100% de eficiência faz-se uso do *benchmarking* utilizando os dados de DMU's eficientes como referência para calcular os valores ideais teóricos dos coeficientes para as DMU's ineficientes.

Considerações Finais

Tendo em vista que os portos funcionam com um elo de ligação entre o setor produtivo e o centro de consumo, e como consequência é responsável por grande parte das exportações e importações, é notável a relevância do setor portuário para a economia brasileira,

Nesta pesquisa foram estudadas variáveis de alguns portos brasileiros das regiões Nordeste e Sudeste, a fim de verificar o Índice de Desempenho Ambiental e a eficiência dos portos selecionados, consonantemente à aplicação da ferramenta DEA com os modelos CRS e VRS, o que permitiu a construção de um escore de eficiência técnica entre os portos estudados. Os resultados foram obtidos considerando os *inputs*: Extensão do Cais, Capacidade de Armazenamento e Profundidade do Canal e como *outpts*: Movimentação de Cargas e Índice de Desempenho Ambiental. Dentre os portos analisados, aqueles que apresentaram baixa eficiência para os modelos CRS e VRS foram os portos de Maceió (AL) e de Salvador (BA), ambos da região Nordeste.

Referências

ALMAWSHEKI, E. S.; SHAH, M. Z. Technical efficiency analysis of container terminals in the middle eastern region. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 31, n. 4, p.477-486, 2015.

ÂNGULO-MEZA, L. *et al.* ISYDS-Integrated System for Decision Support (SIAD-Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Anuário 2017**. 2017. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/20180112_Anu%C3%A1rio_2017_v4-4-vers%C3%A3o-final.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2019.

_____. **Anuário 2018**. Índice de Desenvolvimento Ambiental. Disponível em <<http://portal.antaq.gov.br/index.php/meio-ambiente/indice-de-desempenho-ambiental/>>. Acesso em 04 de jan. 2019.

_____. **Plano de Gestão Anual 2020**. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/wpcontent/uploads/2019/12/PGA_2020_ANTAQ.pdf>. Acesso em: 11 de jun. 2020a.

_____. **Índice de Desempenho Ambiental – IDA**. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/portaltv3/MeioAmbiente_IDA.asp>. Acesso em: 12 jun. 2020b.

_____. **Ranking IDA**. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/ResultadosIda/>>. Acesso em: 12 jun. 2020c.

BAKKES, J. A. *et al.* **An overview of environmental indicators: State of the art and perspectives**. Nairobi: UNEP, Environmental Assessment Sub-Programme, 1994. UNEP/EATR. 94-01; RIVM/402001001.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BRASIL. Lei nº 8.630, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre o regime jurídico da exploração dos portos organizados e das instalações portuárias e dá outras providências (Lei dos portos). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 fev. 1993. Seção 1, p. 2351.

BRASIL, 2015. Ministério da Infraestrutura. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/sistema-portu%C3%A1rio.html>>. Acesso em: 03 jan. 2019.

CARMO, T. F. do. **Proposição de Indicadores para Avaliação da Adequação de Portos à Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Dissertação (mestrado), 190 fls. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2015.

COLLYER, W. O. **Lei dos portos: o conselho de autoridade portuária e a busca da eficiência**. São Paulo: Lex Editora, 2008.

CARMO, C. D. **Gestão de Resíduos Sólidos no Porto Organizado de Salvador–Bahia**. Dissertação (Mestrado) 116 fls. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

GOBBI, C. N. **Avaliação do Desempenho da Gestão de Resíduos Plásticos em Portos Brasileiros, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Tese (Doutorado) 211 fls. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

GOMES, E. G. *et al.* Efficiency and sustainability assessment for a group of farms in the Brazilian Amazon. **Annals of Operations Research**, v. 169, n. 1, p. 167-181, 2009.

FONTES, O. H. P. M.; MELLO, J. C. C. B. S. de. Avaliação da eficiência portuária através de uma modelagem DEA, **SPOLM**, p. 358-369, 2006.

DEA. Niterói, RJ: Universidade Federal Fluminense, 2006.

GOMES GARCIA, B. T. de; SILVA, M. A. V. da; FREITAS, M. A. V. de. Analysis of Efficiency in the Generation of Waste in General Cargo Port Terminals using DEA. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 3, n. 1, p. 60-79, 2017.

HAMMOND, A. *et al.* **Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development.** World Resources Institute, 1995.

KITZMANN, D. I. S.; ASMUS, M. L. Gestão ambiental portuária: desafios e possibilidades. **Revista de Administração Pública**, v. 40, n. 6, p. 1041-1060, 2006.

MELLO, J. C. C. B. S. de *et al.* Estudo não paramétrico da relação entre consumo de energia, renda e temperatura. **IEEE Latin America Transactions**, v 6, n. 2, p. 153-161, 2008.

MILANI, P. *et al.* Análise da Relação entre Modelo de Gestão Portuária e Eficiência em Portos de Contêineres. **Revista Gestão Industrial**, v. 11, n. 2, p. 01-25, 2015.

PIRES, J. S. **A eficiência técnica dos portos e terminais públicos e privados brasileiros marítimos no período de 2010 a 2014.** Distrito Federal: UnB, 2016.

PPRISM. **Port Performance Indicators - Selection and Measurement.** Work Package 1 (WP1): Pre-Selection of an initial set of indicators. European Sea Ports Organization (ESPO), 2010.

SILVA, V. G. **Sustentabilidade em Portos Marítimos Organizados no Brasil: discussão para Implantação de um Sistema de Indicadores de Desempenho Ambiental.** Dissertação (Mestrado) 118 fls. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2014.

SILVA, L. C. da; ROSA, F. S. da; LUNKES, R. J. Estudo sobre desempenho ambiental de portos brasileiros. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 4-33, 2018.

SILVA, O. R. da; GOMES, M. B. M. Impactos das atividades portuárias no sistema estuarino de Santos. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade - RMS**, v. 2, n. 2, p. 64-81, 2012.

SUGUIY, T. Eficiência versus Satisfação no Transporte Público: um Estudo das Práticas nas Cidades Brasileiras. Tese (Doutorado) 160 fls. Universidade Estadual de Campinas, 2017.

UNDERMAN, S.; ROCHA, C. H.; CAVALCANTE, L. R. Modernização do sistema portuário no Brasil: uma proposta metodológica. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 1, p. 221-240, 2012.