

Avaliação de unidades portuárias brasileiras com análise envoltória de dados e o método multicritério ordinal de Copeland

Ana Paula dos Santos Rubem¹, Luana Carneiro Brandão² e João Carlos Correia Baptista Soares de Mello³

Resumo: Como o tipo de carga influi diretamente na infraestrutura necessária à sua movimentação, algumas unidades portuárias buscam a especialização ou diversificação das atividades. Este trabalho utiliza a Análise Envoltória de Dados e o método multicritério ordinal de Copeland para avaliar a importância relativa de cada unidade do setor portuário brasileiro para o comércio nacional, dentro do respectivo segmento em que cada uma delas atua, comparando-se ambas as técnicas. Dada a não homogeneidade, as unidades são distribuídas em oito clusters, conforme a natureza da carga que operam. Como tal segregação é imediata, não é usada nenhuma ferramenta matemática para este fim. Em seguida, são aplicadas as duas abordagens supracitadas de apoio à decisão. No primeiro caso, é usado um modelo com input unitário, em que o input representa a própria existência da unidade portuária; além disto, para aumentar o poder de discriminação, utiliza-se o índice de eficiência composto normalizado no lugar do índice padrão. Os resultados indicam que as ordenações Copeland e do índice composto são bastante semelhantes. O presente trabalho também esclarece as diferenças entre os resultados de DEA com input unitário e de métodos multicritérios ordinais, indicando o modelo mais adequado em cada situação.

Palavras-chave: Avaliação portuária, Análise Envoltória de Dados (DEA), Método Ordinal de Copeland.

Abstract: As the cargo type directly influences the required infrastructure to its handling, some port units seek the specialization or diversification of its activities. This study applies Data Envelopment Analysis and, for comparative purposes, Copeland's ordinal method to evaluate the relative importance of each unit in the Brazilian port sector for national trade within the business sector each one operates. Given the non-homogeneity, we divide the units in eight clusters, depending on the nature of the cargo handled. As this segregation is straightforward, we do not use any mathematical tool for this purpose. Then, we apply the two above-mentioned decision-aid approaches. In the first case, we use a unitary input model, in which the input is the very existence of the port unit; in addition, to increase the discrimination, we use the normalized composite efficiency index instead of the standard. The results indicate that the Copeland and the composite index rankings are quite similar. This study also highlights the differences between unitary input DEA models and ordinal methods, with regard to their results, indicating the most adequate model in each type of situation.

Keywords: Port Evaluation, Data Envelopment Analysis (DEA), Copeland's Ordinal Method.

1. INTRODUÇÃO

É inegável a relevância do setor portuário para o desenvolvimento econômico. Por isso, há vários estudos que avaliam o desempenho portuário e permitem uma visão geral do setor em diversos países. Contudo, dadas as características distintas de cada unidade portuária em termos de insumos e produção, que decorrem, principalmente, da natureza diferenciada da carga operada, muitos optam pela análise de unidades especializadas.

Neste artigo, como em Bertoloto e Soares de Mello (2011) e Acosta *et al.* (2011), busca-se uma análise mais ampla, ainda que restrita ao transporte de mercadorias. O objetivo é permitir a avaliação de unidades portuárias com perfis diversificados, em razão dos diferentes tipos de carga que operam, a fim de identificar a importância de cada unidade para o comércio do país. Para tanto, é conduzido um

estudo de caso sobre o desempenho das diversas unidades que compõem o complexo portuário brasileiro, considerando o volume de carga movimentado, segundo sua natureza, bem como o número de atracções.

Diferentemente dos trabalhos supracitados, neste estudo, além de serem utilizados *outputs* que são específicos a cada tipo de carga, as unidades não especializadas serão divididas em grupos distintos, conforme a combinação de carga operada. Ademais, ao invés de enfatizar o papel da autoridade portuária, aqui, a análise restringir-se-á à atividade-fim (i.e., à movimentação de carga em si); e não à gestão de recursos relativos à infraestrutura, mão de obra ou capital.

Desse modo, dada a não homogeneidade das unidades que compõem o setor portuário brasileiro, elas serão agrupadas, conforme a natureza da carga movimentada. Como tal agrupamento é imediato, não será usado nenhum ferramental matemático para este fim. Em seguida, são aplicadas duas abordagens de apoio à decisão: a Análise Envoltória de Dados (DEA, de *Data Envelopment Analysis*: Charnes *et al.*, 1978), utilizando-se a modelagem de *input* unitário proposta em Lovell e Pastor (1999), e o método multicritério ordinal de Copeland (1951), separadamente para cada grupo de unidades homogêneas.

O objetivo do emprego de ambas as técnicas de apoio à decisão é avaliar o desempenho das unidades portuárias dentro do segmento ao qual pertencem, com base nas duas abordagens. Isso porque tal formato de análise de dados,

¹ Ana Paula dos Santos Rubem, Universidade Federal Fluminense. (anarubem@id.uff.br)

² Luana Carneiro Brandão, Universidade Federal Fluminense. (luanabrandao@id.uff.br)

³ João Carlos Correia Baptista Soares de Mello, Departamento de Engenharia de Produção -Universidade Federal Fluminense. (jcsello@producao.uff.br)

Manuscrito recebido em 24/08/2015 e aprovado para publicação em 04/09/2015.

Este artigo é parte de TRANSPORTES v. 23, n. 4, 2015. ISSN: 2237-1346 (online). DOI:10.14295/transportes.v23i4.988

restrito ao desempenho das unidades, pode se assemelhar a métodos multicritérios ordinais, apesar das diferenças entre as abordagens.

A Seção 2 descreve os métodos utilizados; a Seção 3 contém uma breve revisão sobre o uso de DEA em avaliação portuária; a Seção 4 descreve o estudo de caso; a Seção 5 apresenta e discute os resultados. Por fim, a Seção 6 contempla algumas considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. DEA: Análise Envolvente de Dados

DEA (Charnes *et al.*, 1978) é uma abordagem não-paramétrica, baseada em programação matemática, cujo objetivo é medir o desempenho de unidades (ou DMUs, de *Decision Making Units*), que são otimizadas individualmente, comparando os recursos utilizados (*inputs*) e as quantidades produzidas (*outputs*). O conjunto de DMUs em análise deve operar sob a mesma tecnologia, usando os mesmos tipos de *inputs* e de *outputs* (pressuposto de homogeneidade). O resultado é a construção de uma fronteira Pareto eficiente, em que as DMUs nela situadas apresentam índice de 100%. Em geral, os modelos dispõem de formulações duais (envelope e multiplicadores), havendo duas orientações radiais possíveis: a *inputs*, que busca minimizar os recursos utilizados mantidos inalterados os níveis de produção; e a *outputs*, que implica no aumento da produção sem alterar as quantidades de insumos utilizadas.

Como o objetivo é analisar o desempenho das unidades, não relativizado pelos recursos disponíveis, para posterior confrontação com os resultados do método de Copeland, optou-se pelo modelo com *input* único, constante e unitário, o qual denota a própria existência da DMU. Na realidade, o *input* unitário é utilizado como simples artifício numérico, uma vez que um modelo sem *inputs* gera inconsistências matemáticas. Neste trabalho, a abordagem usada é a de Lovell e Pastor (1999), em que os modelos CCR (Charnes *et al.*, 1978) e BCC (Banker *et al.*, 1984) orientado a *outputs* são equivalentes. O modelo com *input* unitário, orientado a *outputs*, na formulação do envelope é dado por:

$$\begin{aligned} & \text{Max } h_o \\ & \text{sujeito a} \\ & \sum_{k=1}^n \lambda_k y_{jk} \geq h_o y_{jo}, \forall j \quad (1) \\ & \sum_{k=1}^n \lambda_k \leq 1 \\ & \lambda_k \geq 0, \forall k \end{aligned}$$

onde h_o é o inverso da eficiência da DMU em análise (DMU_o); y_{jk} é o j -ésimo *output* ($j=1, \dots, s$) da DMU_k ($k=1, \dots, n$); e $\{\lambda_k\}$ é a contribuição de cada DMU na formação do alvo da DMU_o. Esse modelo pode ser interpretado como um modelo multicritério aditivo em que as alternati-

vas (DMUs) atribuem pesos aos critérios (*outputs*), ignorando qualquer juízo de valor do decisor. Sob tais condições, pode-se afirmar que o modelo DEA é usado mais como uma ferramenta multicritério, do que como um instrumento para o cálculo de uma medida de eficiência (Gomes *et al.*, 2012). Para maiores informações sobre esse tipo de modelo, consulte Cook e Zhu (2005).

2.2. Método de Copeland

Copeland (1951) propôs um método multicritério ordinal que considera apenas a ordenação das alternativas em cada critério, e não seus valores exatos. Para cada alternativa, somam-se as diferenças em cada critério entre o número de alternativas melhores e o número de alternativas piores. Por fim, ordenam-se as alternativas por essa soma. Como qualquer método multicritério não ditatorial, o de Copeland não é perfeito, pois não atende a todos os axiomas de Arrow (1951): universalidade, transitividade, unanimidade e independência das alternativas irrelevantes.

Neste estudo, a escolha desse método se deu por representar uma proposta intermediária aos métodos de Condorcet e de Borda (Barba-Romero e Pomerol, 1997), também destinados à problemática da ordenação multicritério. De fato, na ausência de intransitividade, Copeland fornece o mesmo resultado que Condorcet; mas, diante de ciclos de intransitividade, é menos sensível às alternativas irrelevantes que Borda. Os métodos multicritério ordinais são muito usados em esportes (e.g., Soares de Mello *et al.*, 2005), e sua principal vantagem é a simplicidade. Para uma discussão mais abrangente, veja Barba-Romero e Pomerol (1997).

3. DEA APLICADA AO SETOR PORTUÁRIO

Roll e Hayuth (1993) conduziram um dos primeiros estudos a aplicar DEA na avaliação de desempenho portuário. Enfatizando aspectos financeiros, Martinez-Budria *et al.* (1999) analisaram 26 portos espanhóis. Com foco operacional, Tongzon (2001) avaliou dezesseis portos em diferentes países. Valentine e Gray (2001), Itoh (2002), Turner *et al.* (2004) restringiram-se a terminais de contêiner. Outras aplicações podem ser encontradas em Barros e Athanassiou (2004), Barros (2006), Rios e Maçada (2006) e Lozano e Villa (2009).

Em relação aos portos brasileiros, Pires *et al.* (2009) analisaram unidades de carregamento de minério de ferro. Bertoloto e Soares de Mello (2011) avaliaram 47 unidades marítimas com perfis distintos, combinando uma técnica de homogeneização a um modelo com dois *inputs* estruturais (extensão dos berços e calado máximo) e um único *output* (total de cargas movimentadas). Com variáveis similares, Acosta *et al.* (2011) analisaram 27 portos brasileiros não especializados. Caillaux *et al.* (2011) usaram um modelo com *output* unitário na seleção de porto para transporte de contêineres, comparando-o aos métodos de Copeland e composição probabilística. Cortez *et al.* (2013) avaliaram o desempenho gerencial de oito autoridades portuárias. Além dos diferenciais apontados na seção anterior, este estudo se diferencia dos supracitados, à exceção de Caillaux *et al.* (2011), por usar uma abordagem com *input* unitário.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Escopo, variáveis e base de dados

Neste artigo, as unidades analisadas são os portos públicos, terminais de uso privado (TUPs) e estações de transbordo de carga (ETCs) do setor portuário (marítimo e fluvial) brasileiro, em atividade no ano de 2012, destinados ao transporte de mercadorias. Busca-se avaliá-los, quanto à movimentação de carga, considerando o *input* unitário e os *outputs*: número de atracções (em todos os *clusters*); quantidade movimentada de carga em contêineres (em TEUs, de *Twenty-Foot Equivalent Unit* ou unidade equivalente a 20 pés); tonelagem movimentada de carga solta; tonelagem movimentada de carga em granel líquido; e a tonelagem de carga movimentada em granel sólido. O *output* número de atracções é usado na avaliação das unidades pertencentes a todos os *clusters*; enquanto os demais *outputs* variam conforme o tipo de carga operado pelas unidades pertencentes a *cluster* em questão, de modo a não haver *outputs* nulos.

Optou-se pelo *input* unitário porque, diferentemente da maioria dos trabalhos existentes na literatura que avaliam a eficiência de cada unidade portuária em relação aos recursos utilizados (e.g., extensão de cais, número de berços, guindastes, mão-de-obra), o objetivo aqui é analisar o “produto” final das unidades portuárias, sem relativizá-lo pelos recursos disponíveis. Assim, os *outputs* definidos para o modelo denotam o “produto” da atividade portuária, isto é, a movimentação dos diferentes tipos de carga. Contudo, no modelo aqui proposto, o número de atracções também é

considerado como *output* para que unidades de baixo calado, e, portanto, restritas à movimentação de pouca tonelagem a cada atracção, possam compensar tal limitação, desde que mantenham um nível elevado de atracções. Desse modo, pressupõem-se aqui que um grande número de atracções denota um bom desempenho, a despeito do volume total de carga movimentado.

Na movimentação de carga em contêineres, TEU é a medida padrão usada para calcular a capacidade de transporte dos navios porta-contêineres (e.g., um contêiner de 40 pés equivale a dois TEUs). A carga geral solta denota cargas acondicionadas em diversas formas e dimensões (e.g., arroz em sacas, blocos de granitos, veículos). A carga em granel líquido se refere à carga líquida transportada nos porões, sem embalagem, em grandes quantidades, movimentada em dutos, por meio de bombas (e.g., petróleo, óleos vegetais, suco de laranja). A carga em granel sólido denota a carga seca fragmentada, constituída de sólidos transportados nos porões (e.g., trigo, milho, minério de ferro, farelos, soja).

Os dados apresentados na Tabela 1 referem-se a 133 unidades portuárias que movimentaram carga em 2012, sendo 33 portos públicos, 97 TUPs e 3 ETCs. Os mesmos foram obtidos no site da Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ), por meio do Sistema de Informações Gerencias Acesso Público 1. Optou-se pelo ano de 2012, pois os dados de 2013 podiam sofrer correções e atualizações em data posterior à elaboração deste artigo.

Tabela 1. *Outputs* observados para cada unidade produtiva (porto/TUP), em 2012

(continua)

Porto/TUPs	UF	DMU	Núm. de Atracções	Qtde TEUs	Carga Solta (t)	Granel Sólido (t)	Granel Líquido(t)
ANGRA DOS REIS	RJ	1	83	0	23136	31998	31949
ANTONINA	PR	2	92	0	99454	1161547	0
ARATU	BA	3	601	0	0	1692382	4110724
AREIA BRANCA	RN	4	1026	0	0	1995945	0
BELÉM	PA	5	1174	23121	212388	590467	2165336
CABEDELO	PB	6	147	0	60546	1102035	744857
ESTRELA	RS	7	3	0	0	7244	0
ETC BERTOLINI SANTANA	AP	8	154	0	146532	0	0
ETC ITACAL	AM	9	14	0	0	16	0
ETC PORTO MURTINHO	MS	10	3	0	0	3974	0
FORNO	RJ	11	20	6	6160	153828	0
FORTALEZA	CE	12	569	62969	215948	1250932	2381987
ILHÉUS	BA	13	47	0	73160	386781	0
IMBITUBA	SC	14	195	20984	137005	1549205	106378
ITAGUAÍ (SEPETIBA)	RJ	15	845	332195	130567	52795311	0
ITAJAÍ	SC	16	300	386537	0	0	0
ITAQUI	MA	17	795	8498	158338	7896585	7608370
MACAPÁ	AP	18	340	0	42548	767010	693311
MACEIÓ	AL	19	357	0	106580	1986580	907712
NATAL	RN	20	89	28932	39361	153323	154
NITERÓI	RJ	21	392	0	62010	0	64
PARANAGUÁ	PR	22	2141	743830	874146	29874836	3120028
PELOTAS	RS	23	6	0	0	13331	0
PORTO ALEGRE	RS	24	186	0	5847	898802	0
PORTO VELHO	RO	25	1864	180	464445	2805545	435
RECIFE	PE	26	354	3768	197084	1463016	19396
RIO DE JANEIRO	RJ	27	1415	437454	777671	1309054	22006
RIO GRANDE	RS	28	2406	612618	880543	7181563	2900371
SALVADOR	BA	29	550	251566	227767	316763	66954
SANTARÉM	PA	30	1604	4503	40393	3210575	130863
SANTOS	SP	31	5355	3172335	3311703	43949695	12206577
SÃO FRANCISCO DO SUL	SC	32	635	118264	2411912	7011808	158000
SÃO SEBASTIÃO	SP	33	109	747	276095	604213	0

Tabela 1. Outputs observados para cada unidade produtiva (porto/TUP), em 2012

(continuação)

Porto/TUPs	UF	DMU	Núm. de Atracações	Qtde TEUs	Carga Solta (t)	Granel Sólido (t)	Granel Líquido(t)
SUAPE	PE	34	1288	404590	178456	623644	5672689
TUP AGROPALMA	PA	35	138	0	0	0	201296
TUP ALMIRANTE BARROSO	SP	36	616	0	0	0	50541216
TUP ALMIRANTE MAXIMIANO DA FONSECA	RJ	37	253	0	0	430886	36610276
TUP ALMIRANTE SOARES DUTRA	RS	38	193	0	0	0	11060986
TUP ALMIRANTE TAMANDARÉ (ILHA D'ÁGUA)	RJ	39	1355	0	0	629886	13169037
TUP ALUMAR	MA	40	326	0	0	11996074	778158
TUP BELMONTE	RO	41	196	0	122329	0	0
TUP BERTOLINI BELÉM	PA	42	888	0	1055306	0	0
TUP BERTOLINI SANTARÉM	PA	43	737	0	142373	0	0
TUP BIANCHINI	RS	44	428	0	0	4794471	295656
TUP BRASFELS	RJ	45	11	0	18210	0	0
TUP BRASKARNE	SC	46	24	0	176879	0	0
TUP BRASKEM ALAGOAS	AL	47	84	0	0	0	1020067
TUP CAIMA	RO	48	98	0	80197	0	0
TUP CARGILL AGRICOLA	RO	49	530	0	0	1179309	0
TUP CARMÓPOLIS	SE	50	102	0	0	0	2744668
TUP CATTALINI	PR	51	148	0	0	0	1562447
TUP CAULIM DA AMAZÔNIA	PA	52	26	0	18803	221164	40566
TUP CEVAL	RS	53	87	0	0	1009386	148466
TUP CHIBATÃO	AM	54	170	273559	0	0	0
TUP CHIBATÃO 2	AM	55	1477	0	883085	0	0
TUP CIMBAGÉ	RS	56	189	0	0	408112	0
TUP CIMENTO VENCEMOS	AM	57	25	0	0	327810	0
TUP CMPC GUAÍBA	RS	58	152	0	304520	0	0
TUP COPELMI	RS	59	207	0	0	264684	0
TUP COTEGIPE	BA	60	84	0	0	3205036	0
TUP CVRD PRAIA MOLE	ES	61	175	0	0	10088116	0
TUP CVRD TUBARÃO	ES	62	829	0	0	109505814	828708
TUP DE GNL DA BAÍA DA GUANABARA	RJ	63	46	0	0	0	2264524
TUP DNP - BASE DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA DE SANTARÉM	PA	64	33	0	0	478	22264
TUP DOW BRASIL GUARUJÁ	SP	65	106	0	0	0	711672
TUP DOW ARATU	BA	66	86	0	0	0	679427
TUP ESTALEIRO ATLÂNTICO SUL	PE	67	6	0	1990	0	0
TUP ESTALEIRO MAUÁ	RJ	68	4	0	10799	0	0
TUP FIBRIA	BA	69	453	0	2179533	0	0
TUP FOGAS	RO	70	83	0	0	0	44693
TUP GERDAU SALVADOR	BA	71	16	0	0	357979	0
TUP GRANEL QUÍMICA	MS	72	1406	0	1141	1800407	0
TUP GREGÓRIO CURVO	MS	73	1379	0	0	1913012	0
TUP GUAMARÉ	RN	74	69	0	0	0	2848890
TUP HERMASA GRANELEIRO	AM	75	1485	0	0	4947193	130987
TUP IBEPAR MANAUS	AM	76	699	0	810802	0	0
TUP ICOLUB	RJ	77	18	0	0	0	58313
TUP ILHA DO GOVERNADOR	RJ	78	83	0	0	0	277175
TUP ILHA REDONDA	RJ	79	60	0	0	0	172935
TUP IPIRANGA BASE DE PORTO VELHO	RO	80	159	0	0	0	188777
TUP J. F. OLIVEIRA MANAUS	AM	81	1265	0	475140	0	0
TUP MADRE DE DEUS	BA	82	596	0	0	0	21658011
TUP MANAUS	AM	83	1044	0	0	12489	6613384
TUP MARITIMO DE BELMONTE	BA	84	159	0	1119160	0	0
TUP MITA	RS	85	208	0	0	328004	0
TUP MOSS	AM	86	1573	0	173766	0	0
TUP MUNGUBA	PA	87	33	0	279915	0	15425
TUP NAVECUNHA	AM	88	495	0	0	0	4856
TUP NITERÓI	RS	89	100	0	0	0	299072
TUP NORTE CAPIXABA	ES	90	37	0	0	0	913033

Tabela 1. *Outputs* observados para cada unidade produtiva (porto/TUP), em 2012

(conclusão)

<i>Porto/TUPs</i>	<i>UF</i>	<i>DMU</i>	<i>Núm. de Atracações</i>	<i>Qtde TEUs</i>	<i>Carga Solta (t)</i>	<i>Granel Sólido (t)</i>	<i>Granel Líquido(t)</i>
TUP OCRIM	AM	91	6	0	0	69301	0
TUP OLEOPLAN	RS	92	102	0	0	347994	2509
TUP OMNIA	PA	93	86	0	0	4352467	0
TUP PASSARÃO	RO	94	757	0	286721	0	0
TUP PECÉM	CE	95	955	149103	836413	1406512	521072
TUP PONTA DA LAJE	BA	96	78	0	156331	0	0
TUP PONTA DA MADEIRA	MA	97	533	0	0	105033621	0
TUP PONTA DA MONTANHA	PA	98	19	0	20014	29974	280309
TUP PONTA DE UBU	ES	99	370	0	32829	23385128	94632
TUP PORTO CRAI	PA	100	74	0	0	0	71903
TUP PORTO ITAPOÁ	SC	101	425	270415	0	0	0
TUP PORTO MURUCUPI	PA	102	79	0	1	806787	653669
TUP PORTO SOBRAMIL	MS	103	475	0	0	648173	0
TUP PORTO TROMBETAS	PA	104	329	0	0	16391516	0
TUP PORTOCEL	ES	105	846	0	8902095	125805	0
TUP PORTONAVE	SC	106	581	618434	0	0	0
TUP PRAIA MOLE	ES	107	436	0	5200434	267871	0
TUP RIO DOS SINOS	RS	108	259	0	0	502173	69846
TUP SANAVE	AM	109	60	0	18166	7019	50
TUP SANTA CLARA	RS	110	222	0	581233	0	16547
TUP SÃO FRANCISCO DO SUL	SC	111	111	0	0	0	10274072
TUP SHV	RS	112	52	0	0	0	46616
TUP SOLIMÕES	AM	113	484	0	0	4009	2088133
TUP SUCOCÍTRICO CUTRALE	SP	114	52	0	0	577573	675118
TUP SUPER TERMINAIS	AM	115	137	187423	0	0	0
TUP T.M. BARCAÇAS OCEÂNICAS	ES	116	59	0	553397	0	0
TUP TEPORTI	SC	117	47	19	183522	0	0
TUP TERGASUL	RS	118	65	0	0	0	80008
TUP TERMINAL DA ILHA GUAÍBA	RJ	119	200	0	0	37469523	0
TUP TERMINAL DE MINÉRIOS E METÁLICOS AMAPÁ	AP	120	144	0	0	6463087	0
TUP TERMINAL MARÍTIMO BRASKEM	RJ	121	36	0	0	0	105468
TUP TERMINAL MARÍTIMO INÁCIO BARBOSA	SE	122	311	0	878716	958722	86
TUP TERMINAL MARÍTIMO LUIZ FOGLIATTO	RS	123	118	0	317	1632097	0
TUP TERMINAL PORTUÁRIO TKCSA	RJ	124	109	0	3424120	3427848	0
TUP TRANSPORTES CARINHOSO	AM	125	307	0	180887	0	0
TUP ULTRAFÉRTIL	SP	126	108	0	0	2244128	378147
TUP USIMINAS	SP	127	212	0	1394698	4332827	0
TUP UTC ENGENHARIA	RJ	128	8	0	9319	0	0
TUP VILA VELHA	ES	129	1081	0	107568	26558	195463
TUP WELLSTREAM	RJ	130	43	0	36080	0	0
TUP YARA BRASIL FERTILIZANTES	RS	131	284	0	0	2054392	148979
VILA DO CONDE	PA	132	742	38879	976467	11814287	2021929
VITÓRIA	ES	133	1286	270408	1164674	1752598	745844

Com tal estrutura de variáveis, busca-se analisar o setor portuário, estritamente no que tange à movimentação de carga, avaliando-se cada unidade, em termos de relevância comercial, sem levar em conta os aspectos logísticos intrínsecos à atividade. Isso porque este trabalho avalia a produção dos portos, em termos de carga movimentada e quantidade de atracções. Trata-se de uma perspectiva diferente daquela comumente utilizada na literatura, mas que permite uma análise voltada para a atividade-fim portuária. Assim, um índice inferior a 100% pode ser motivado tanto pela má gestão de recursos quanto pela deficiência em algum aspecto não considerado (e.g., infraestrutura, capital, mão-de-obra).

4.2. Agrupamento das unidades portuárias

As unidades portuárias foram segregadas, conforme a natureza da carga por elas movimentada, de modo análogo ao proposto em Cook *et al.* (2013), gerando oito grupos (*clusters*) disjuntos. A Tabela 2 apresenta a divisão das unidades em *clusters*, segundo a natureza da carga operada.

Ressalte-se que as unidades de cada grupo operam somente com o(s) tipo(s) de carga identificado(s) para cada *cluster* na Tabela 2, ou seja, as unidades do *cluster* 1, por exemplo, operaram somente com carga containerizada, não tendo movimentado outro tipo de carga durante o período considerado neste estudo. Assim, dos *outputs* definidos na subseção anterior, são considerados na avaliação das unidades de cada *cluster* somente aqueles referentes ao tipo de

Tabela 2. Composição dos *clusters*, conforme o tipo de carga operado pelas unidades

<i>Cluster</i>	<i>Composição</i>
1	Carga containerizada
2	Carga solta
3	Carga em granel sólido
4	Carga em granel líquido
5	Todos os tipos de carga
6	Carga solta e em granel sólido
7	Carga solta, em granel sólido e granel líquido
8	Carga em granel sólido e granel líquido

Tabela 3. Resultados do *cluster* 1 (unidades que só operam contêineres)

<i>Porto/TUP</i>	<i>UF</i>	<i>Índice DEA</i>		<i>Ranking</i>		
		<i>Padrão</i>	<i>Composto</i>	<i>Padrão</i>	<i>Composto</i>	<i>Copeland</i>
TUP PORTONAVE	SC	100%	100%	1	1	1
ITAJAÍ	SC	63%	67%	3	2	2
TUP PORTO ITAPOÁ	SC	73%	61%	2	3	3
TUP CHIBATÃO	AM	44%	38%	4	4	4
TUP SUPER TERMINAIS	AM	30%	18%	5	5	5

carga efetivamente movimentado pelas unidades nele inseridas, além do número de atracções, este último *output* comum a todos os *clusters*. Desse modo, por exemplo, para o *cluster* 1, os *outputs* são apenas movimentação de carga containerizada (em TEUs) e número de atracções.

Considerando todas as combinações de tipo de carga possíveis, deveria haver treze *clusters*. No entanto, em 2012, nenhuma unidade operou conjuntamente contêineres e granel sólido, e tampouco contêineres e granel líquido. Além disso, apenas uma unidade operou conjuntamente contêineres e carga solta; duas unidades operaram conjuntamente contêineres carga solta e em granel sólido; e duas unidades operaram conjuntamente com carga solta e em granel líquido. Entretanto, o número de unidades em cada *cluster* deve ser no mínimo três vezes o número de *inputs* e *outputs* do modelo (ou ao menos se aproximar desta proporção), para que os resultados DEA sejam confiáveis (Banker *et al.*, 1989). Assim, essas cinco unidades que estariam nos três grupos supracitados foram retiradas da análise, restando 128 unidades, divididas nos oito *clusters* da Tabela 2.

4.3. Aplicação dos Métodos

Iniciou-se com a abordagem DEA (as DMUs são as 128 unidades portuárias), aplicando-se o modelo em (1), separadamente para cada *cluster* (vide Tabela 2), e considerando-se os *outputs* a eles afetos (i.e., os valores não-nulos apresentados na Tabela 1 para cada DMU). Alguns *clusters* contêm menos DMUs do que a proporção sugerida em Banker *et al.* (1989), indicada na subseção anterior, o que poderia acarretar baixa discriminação. Portanto, ao invés do índice padrão, optou-se pelo índice composto normalizado (Soares de Mello *et al.*, 2008), dado pela média entre o índice da fronteira padrão e o complemento do índice resultante da análise da fronteira invertida (Yamada *et al.*, 1994; Entani *et al.*, 2002), que considera os *inputs* originais como *outputs*, e vice-versa.

Em seguida, aplicou-se o método de Copeland às unidades de cada *cluster*. Enquanto DEA analisa o valor das variáveis de cada DMU, Copeland avalia apenas a ordenação. Por outro lado, DEA só considera a distância até a fronteira, ao passo que Copeland analisa a posição relativa de

cada alternativa (DMU) perante todas as outras. Nesse sentido, o índice composto normalizado representa uma alternativa intermediária, pois avalia a distância até as fronteiras padrão e invertida, além dos valores das variáveis em si.

5. RESULTADOS

As Tabelas 3 a 10 exibem os resultados das duas abordagens utilizadas, para cada um dos *clusters* formados, em termos de índices e ordenações, os quais foram obtidos mediante o emprego dos *softwares* SIAD (Angulo-Meza *et al.*, 2005) e WebPROA (www.webproa.com). As unidades portuárias estão elencadas nas tabelas a seguir, obedecendo a ordenação do índice composto normalizado, explicado na subseção anterior, a qual daqui por diante será chamada de ordenação composta, por simplicidade.

Na Tabela 3, referente ao *cluster* 1, nota-se que quatro das cinco unidades especializadas em contêineres são TUPs, e que todas as unidades se restringem a Santa Catarina e Amazonas. Enquanto os melhores colocados (marítimas) estão no sul, ao norte estão aqueles (fluviais) com os piores resultados. Trata-se de um *cluster* relativamente homogêneo (índice médio padrão de 62%). Além disso, as ordenações são parecidas, sendo a composta idêntica à de Copeland. Tal equivalência se deve às poucas unidades e à homogeneidade: a comparação entre as fronteiras (padrão e invertida) usada pelo índice composto se aproxima da comparação entre os pares de alternativas (Copeland).

Na Tabela 4, relativa ao *cluster* 2, nota-se que 22 das 23 unidades especializadas em carga solta são TUPs. Na verdade, o único porto (Niterói) foi inserido neste *cluster*, pois ainda não operava granel líquido de forma regular (98t, em abril/2010; e 64t, em outubro/2012). A regularidade se dá a partir de 2013. Logo, atualmente, somente TUPs são especializados em carga solta.

Observa-se que as ordenações DEA padrão e composta da Tabela 4 resultaram próximas, sugerindo um *cluster* de unidades generalistas: aquelas com um nível elevado de movimentação de carga solta também tiveram um número alto de atracções, indicando unidades com calado semelhante. A ordenação Copeland também foi similar, exceto para os TUPs Bertolini Belém e Moss.

Tabela 4. Resultados do *cluster* 2 (unidades que só operam carga solta)

Porto/TUP	UF	Índice DEA		Ranking		Copeland
		Padrão	Composto	Padrão	Composto	
TUP CHIBATÃO 2	AM	100%	100%	1	1	1
TUP FIBRIA	BA	100%	100%	1	2	3
TUP MOSS	AM	100%	100%	1	3	6
TUP J. F. OLIVEIRA MANAUS	AM	83%	92%	4	4	4
TUP BERTOLINI BELÉM	PA	79%	89%	5	5	2
TUP IBEPAR MANAUS	AM	62%	81%	6	6	5
TUP PASSARÃO	RO	50%	75%	8	7	7
TUP MARITIMO DE BELMONTE	BA	51%	75%	7	8	7
TUP BERTOLINI SANTARÉM	PA	47%	73%	9	9	10
NITERÓI	RJ	25%	61%	11	10	13
TUP TRANSPORTE CARINHOSO	AM	21%	60%	12	11	9
TUP T.M. BARÇAÇAS OCEÂNICAS	ES	25%	59%	10	12	12
TUP CMPC GUAÍBA	RS	18%	58%	13	13	11
TUP BELMONTE	RO	13%	55%	14	14	13
TUP BERTOLINI SANTANA	AP	12%	55%	15	15	13
TUP PONTA DA LAJE	BA	9%	52%	16	16	16
TUP CAIMA	RO	7%	51%	18	17	18
TUP BRASKARNE	SC	8%	46%	17	18	17
TUP WELLSTREAM	RJ	3%	45%	19	19	19
TUP BRASFELS	RJ	1.2%	29%	20	20	20
TUP UTC ENGENHARIA	RJ	0.7%	18%	21	21	21
TUP ESTALEIRO MAUÁ	RJ	0.6%	0.3%	22	22	22
TUP ESTALEIRO ATLÂNTICO SUL	PE	0.4%	0.2%	23	23	23

Tabela 5. Resultados do *cluster* 3 (unidades que só operam granel sólido)

Porto/TUP	UF	Índice DEA		Ranking		Copeland
		Padrão	Composto	Padrão	Composto	
TUP GREGÓRIO CURVO	MS	100%	100%	1	1	3
TUP PONTA DA MADEIRA	MA	100%	100%	1	1	1
TUP COPELMI	RS	100%	99%	1	3	14
TUP PORTO SOBRAMIL	MS	75%	87%	4	4	8
AREIA BRANCA	RN	75%	87%	5	5	3
TUP CARGILL AGRICOLA	RO	39%	69%	6	6	6
TUP TERMINAL DA ILHA GUAÍBA	RJ	36%	68%	7	7	5
TUP PORTO TROMBETAS	PA	33%	66%	8	8	2
TUP CVRD PRAIA MOLE	ES	18%	58%	9	9	7
TUP MITA	RS	15%	57%	10	10	11
TUP CIMBAGÉ	RS	14%	56%	12	11	13
TUP TERMINAL DE MINÉRIOS E METÁLICOS AMAPÁ	AP	14%	56%	11	12	9
TUP OMNIA	PA	9%	53%	13	13	10
TUP COTEGIPE	BA	8%	52%	14	14	11
TUP CIMENTO VENCEMOS	AM	2%	45%	16	15	16
TUP GERDAU SALVADOR	BA	1%	41%	17	16	15
TUP OCRIM	AM	0.5%	25%	19	17	17
PELOTAS	RS	0.4%	25%	20	18	18
ETC ITACAL	AM	7%	3%	15	19	19
ETC PORTO MURTINHO	MS	1%	0.5%	18	20	21
ESTRELA	RS	0.2%	0.1%	21	21	20

Na Tabela 5, relativa ao *cluster* 3, nota-se que 16 das 21 unidades especializadas em granel sólido são TUPs, mantendo-se um equilíbrio razoável com a proporção geral. As ordenações DEA padrão e composta são bem similares, indicando unidades generalistas e, conseqüentemente, unidades com calado máximo semelhante.

Em alguns casos da Tabela 5, a ordenação em Copeland se afastou das demais ordenações, mas pareceu ser mais justa, pelas razões a seguir. O TUP Copelmi teve um número mediano de atracções e valor de carga movimentada bem inferior ao resto do grupo. Portanto, o 14º lugar parece mais adequado. O TUP Porto Trombetas apresentou número mediano de atracções e elevada movimentação de carga. Para essa unidade, o 2º lugar também parece mais

apropriado. O TUP Ponta da Madeira (1º lugar, em quaisquer dos métodos) movimentou o maior volume de carga, mas teve um nível mediano de atracções, indicando um calado maior. O Porto de Estrela (pior colocado em DEA e penúltimo no Copeland) teve o pior nível de atracções (igual ao ETC Porto Murtinho) e baixa movimentação de carga.

A Tabela 6, relativa ao *cluster* 4, mostra que as 24 unidades especializadas em granel líquido são TUPs. Isso sugere que esse tipo de carga exige menos infraestrutura, podendo ser operado por unidades mais enxutas. Para o TUP Navecunha, as ordenações DEA composta e Copeland são similares, embora resultem em colocação pior que a padrão. Isso porque a unidade teve um bom nível de atracção,

Tabela 6. Resultados do *cluster* 4 (unidades que só operam granel líquido)

Porto/TUP	UF	Índice DEA		Ranking		Copeland
		Padrão	Composto	Padrão	Composto	
TUP ALMIRANTE BARROSO	SP	100%	100%	1	1	1
TUP MADRE DE DEUS	BA	97%	98%	2	2	2
TUP ALMIRANTE SOARES DUTRA	RS	31%	62%	4	3	3
TUP CATTALINI	PR	24%	57%	6	4	5
TUP SÃO FRANCISCO DO SUL	SC	20%	53%	8	5	4
TUP DOW BRASIL GUARUJÁ	SP	17%	51%	9	6	7
TUP IPIRANGA BASE D PORTO VELHO	RO	26%	50%	5	7	8
TUP CARMÓPOLIS	SE	17%	50%	10	8	6
TUP NITERÓI	RS	16%	49%	11	9	12
TUP AGROPALMA	PA	22%	49%	7	10	9
TUP DOW ARATU	BA	14%	47%	12	11	12
TUP BRASKEM ALAGOAS	AL	14%	47%	13	12	9
TUP ILHA DO GOVERNADOR	RJ	13%	47%	14	13	15
TUP GUAMARÉ	RN	11%	43%	17	14	9
TUP NAVECUNHA	AM	80%	41%	3	15	14
TUP ILHA REDONDA	RJ	10%	39%	19	16	18
TUP DE GNL DA BAÍA DA GUANABARA	RJ	7%	35%	21	17	15
TUP NORTE CAPIXABA	ES	6%	29%	22	18	17
TUP TERMINAL MARÍTIMO BRASKEM	RJ	6%	26%	23	19	22
TUP TERGASUL	RS	11%	24%	18	20	20
TUP PORTO CRAI	PA	12%	23%	16	21	18
TUP FOGAS	RO	13%	8%	14	22	21
TUP SHV	RS	8%	4%	20	23	23
TUP ICOLUB	RJ	3%	1%	24	24	24

Tabela 7. Resultados do *cluster* 5 (unidades que operam todos os tipos de carga)

Porto/TUP	UF	Índice DEA		Ranking		Copeland
		Padrão	Composto	Padrão	Composto	
SANTOS	SP	100%	100%	1	1	1
PARANAGUÁ	PR	68%	82%	3	2	2
SÃO FRANCISCO DO SUL	SC	73%	77%	2	3	8
RIO GRANDE	RS	45%	71%	6	4	3
VITÓRIA	ES	35%	63%	7	5	4
SUAPE	PE	46%	61%	5	6	5
RIO DE JANEIRO	RJ	26%	58%	11	7	8
TUP PECÉM	CE	25%	54%	12	8	7
VILA DO CONDE	PA	29%	48%	10	9	5
FORTALEZA	CE	20%	42%	14	10	12
ITAQUI	MA	62%	39%	4	11	10
SALVADOR	BA	10%	31%	15	12	15
PORTO VELHO	RO	35%	18%	8	13	11
SANTARÉM	PA	30%	15%	9	14	12
BELÉM	PA	22%	15%	13	15	12
IMBITUBA	SC	4%	5%	17	16	16
RECIFE	PE	7%	3%	16	17	17
NATAL	RN	2%	1%	18	18	18

mas um volume relativamente pequeno de carga movimentada. Trata-se, portanto, de uma unidade com baixo calado máximo. Nesse caso, as ordenações DEA composta e Copeland parecem mais adequadas. O TUP Almirante Barroso (1º lugar, em todos os métodos) teve os maiores níveis de atracções e carga movimentada, enquanto o TUP Icolub (pior colocado, em qualquer método) teve o menor número de atracções.

A Tabela 7, relativa ao *cluster* 5, mostra que 17 das 18 unidades que operam carga de todo tipo são portos, denotando que tal diversificação requer estrutura robusta. Diferentemente da ordenação DEA padrão, as ordenações composta e de Copeland são similares. Isso significa que há portos especialistas, que são bem avaliados com o índice padrão, mas não com o composto. Esse é o caso do porto de Itaquí com boa movimentação de granéis sólido e líquido,

mas nem tanto em termos de contêineres e carga solta. Situação semelhante ocorre com os portos de Porto Velho e Santarém. Ambos tiveram baixa movimentação de contêineres e mediana de granel sólido, sendo o primeiro fraco em granel líquido e o segundo em carga solta. A ordenação DEA padrão os considerou medianos, e as demais consideraram-nos fracos. O porto de Santos (1º lugar, em quaisquer dos métodos) praticou os maiores níveis em todos os *outputs*. O porto de Natal (pior colocado em todos os métodos) teve os piores resultados de atracção e movimentação de carga solta e em granéis sólido e líquido.

No *cluster* 6, apresentado na Tabela 8, foram incluídos o TUP Sanave e o porto do Forno, que embora tenham operado outros tipos de carga, não o fizeram de forma regular. O primeiro movimentou 50t de granel líquido em junho; e o segundo um total de 6 TEUs, em fevereiro e março. Nos

Tabela 8. Resultados do *cluster* 6 (unidades que só operam carga solta e granel sólido)

Porto/TUP	UF	Índice DEA		Ranking		
		Padrão	Composto	Padrão	Composto	Copeland
TUP PORTOCEL	ES	100%	100%	1	1	1
TUP USIMINAS	SP	100%	99%	1	2	2
TUP TERMINAL PORTUÁRIO TKCSA	RJ	100%	94%	1	3	5
TUP PRAIA MOLE	ES	62%	78%	6	4	2
TUP GRANEL QUÍMICA	MS	100%	61%	1	5	2
ANTONINA	PR	28%	55%	8	6	6
TUP SANAVE	AM	100%	52%	1	7	10
ILHÉUS	BA	10%	35%	10	8	9
PORTO ALEGRE	RS	27%	29%	9	9	6
TUP TERMINAL MARÍTIMO LUIZ FOGLIATTO	RS	39%	20%	7	10	6
FORNO	RJ	4%	2%	11	11	11

dois casos, não há outro registro do tipo desde 2010. As ordenações DEA destoam entre si, devido à baixa discriminação do índice padrão (5 unidades na fronteira). Aqui, o índice composto cumpriu seu papel de aumentar a discriminação em DEA.

O TUP Usiminas é considerado inferior ao TUP Portocel nas ordenações composta e Copeland, apesar do bom nível de carga solta e do maior nível de granel sólido do *cluster*, porque essas ordenações dão preferência a unidades generalistas, diferentemente de DEA padrão. O TUP Portocel (1º lugar em todos os métodos) operou um volume altíssimo de carga solta, um bom nível de atracções e um volume baixo de granel sólido. O porto do Forno (pior colocado em todos os métodos) teve o menor nível de atracções, além de um nível baixo de cargas solta e granel sólido.

A Tabela 9, afeta ao *cluster* 7, mostra que 5 das 9 unidades especializadas em carga solta e granéis sólidos e líquidos são TUPs. Neste *cluster*, as ordenações DEA composta e Copeland claramente dão preferência às unidades generalistas. O TUP Vila Velha exibe o maior nível de atracções (quase o triplo do 2º maior), mas obteve 5º lugar na composta e 2º em Copeland. O TUP Terminal Marítimo Inácio Barbosa teve a maior movimentação de carga solta (8 vezes a 2ª maior), mas ficou em 5º lugar nas ordenações composta e Copeland. O TUP Ponta de Ubu teve a maior movimentação de granel sólido (12 vezes a 2ª maior), mas obteve 4º lugar na ordenação composta e 2º lugar em Copeland. O Porto de Maceió (1º lugar em qualquer método) teve 2ª maior movimentação de granel sólido e maior de granel líquido. O TUP Caulim da Amazônia (pior colocado em

Tabela 9. Resultados do *cluster* 7 (unidades que operam carga solta, granel sólido e líquido)

Porto/TUP	UF	Índice DEA		Ranking		
		Padrão	Composto	Padrão	Composto	Copeland
MACEIÓ	AL	100%	100%	1	1	1
CABEDELO	PB	98%	92%	6	2	2
MACAPÁ	AP	100%	85%	1	3	5
TUP PONTA DE UBU	ES	100%	78%	1	4	2
TUP TERMINAL MARÍTIMO INÁCIO BARBOSA	SE	100%	54.8%	1	5	5
TUP VILA VELHA	ES	100%	54.8%	1	5	2
TUP PONTA DA MONTANHA	PA	31%	17%	7	7	8
ANGRA DOS REIS	RJ	11%	6%	8	8	7
TUP CAULIM DA AMAZÔNIA	PA	7%	4%	9	9	8

Tabela 10. Resultados do *cluster* 8 (unidades que só operam granéis sólido e líquido)

Porto/TUP	UF	Índice DEA		Ranking		
		Padrão	Composto	Padrão	Composto	Copeland
TUP ALMIRANTE TAMANDARÉ (ILHA D'ÁGUA)	RJ	100%	100%	1	1	1
TUP CVRD TUBARÃO	ES	100%	99%	1	2	2
TUP HERMASA GRANELEIRO	AM	100%	98%	1	3	2
TUP ALMIRANTE MAXIMIANO DA FONSECA	RJ	100%	95%	1	4	9
TUP RIO DOS SINOS	RS	100%	90%	1	5	14
TUP MANAUS	AM	75%	86%	7	6	4
ARATU	BA	44%	70%	8	7	5
TUP BIANCHINI	RS	30%	62%	10	8	8
TUP SOLIMÕES	AM	34%	62%	9	9	7
TUP ALUMAR	MA	27%	59%	11	10	6
TUP YARA BRASIL FERTILIZANTES	RS	20%	54%	12	11	10
TUP DNP - BASE DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA DE SANTARÉM	PA	100%	51%	1	12	17
TUP ULTRAFÉRTIL	SP	8%	39%	13	13	10
TUP CEVAL	RS	6%	35%	15	14	12
TUP PORTO MURUCUPI	PA	6%	33%	16	15	13
TUP SUCOCÍTRICO CUTRALE	SP	5%	21%	17	16	14
TUP OLEOPLAN	RS	7%	3%	14	17	16

qualquer método) teve o 2º menor nível de atracções e a pior movimentação de carga solta.

Na Tabela 10, relativa ao *cluster* 8, nota-se que 16 das 17 unidades que operam somente graneis sólidos e líquidos são TUPs. O TUP Porto Murucupi foi incluído neste *cluster*, pois embora tenha operado com carga solta (1t, em jan/2012), o fato constituiu uma excepcionalidade, não observada em outra ocasião desde 2010. Mais uma vez, as ordenações DEA composta e Copeland deram preferência às unidades generalistas. O TUP Almirante Tamandaré (1º lugar geral) exhibe um bom nível de atracções (2º lugar), uma movimentação mediana de granel sólido e boa de granel líquido (2º lugar). Ressalta-se que o TUP Almirante Maximiano da Fonseca (1º lugar em granel líquido e com quase o triplo do 2º maior) ficou em 9º lugar no Copeland. Por outro lado, a baixa discriminação do índice DEA padrão gerou discrepâncias, como no TUP Rio dos Sinos e no TUP DNP, cujos *outputs* não justificam o primeiro lugar obtido.

A abordagem DEA aqui usada não permite uma ordenação geral, que englobe todas as unidades portuárias dos diferentes *clusters*. Isso porque, como o agrupamento das unidades portuárias resultou em *clusters* disjuntos (intersecção nula), a comparação direta entre DMUs pertencentes a *clusters* diferentes torna-se inviável, uma vez que a eficiência de uma DMU só pode ser comparada àquelas inseridas no mesmo conjunto de análise. A superação de tal inconveniente, visando a uma avaliação global do setor portuário nacional, requer o emprego de técnicas destinadas à homogeneização das unidades produtivas, tal como feito, e.g., em Bertolotto e Soares de Mello (2011) e Gomes *et al.* (2012), e foge ao escopo deste estudo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, realizou-se uma análise do setor portuário brasileiro, englobando unidades que operam diferentes tipos de carga. As unidades portuárias foram agrupadas em oito *clusters* distintos, conforme a natureza da carga movimentada. Para identificar a relevância comercial de cada unidade, aplicou-se um modelo DEA com *input* unitário (Lovell e Pastor, 1999), considerando como *outputs* o total de cada tipo de carga movimentada, bem como o número de atracções. Desse modo, buscou-se avaliá-las, exclusivamente, quanto à importância relativa de suas operações, sem considerar a logística inerente à atividade portuária. Portanto, para as unidades com fraco desempenho, a justificativa pode ser tanto a má gestão como a deficiência em algum aspecto não considerado (e.g., infraestrutura, capital, mão-de-obra).

Como alguns *clusters* apresentaram poucas unidades, relativamente à regra de Banker *et al.* (1989), utilizou-se também o índice composto normalizado (Soares de Mello *et al.*, 2008) para elevar a capacidade de discriminação. As ordenações finais foram comparadas às do método multicritério ordinal de Copeland (1951). Em geral, a ordenação resultante do índice DEA composto se assemelha bastante à obtida com o método de Copeland. Em alguns casos, a ordenação de Copeland parece mais adequada, pois é feita a comparação entre todas as unidades, e não apenas entre as situadas nas fronteiras de eficiência e invertida; em outros,

o índice composto parece mais apropriado por considerar os valores das variáveis em si, e não só as ordenações.

Assim, o método de Copeland parece mais adequado em situações em que se deseja diferenciar os diferentes tipos de habilidade (diferentes combinações dos critérios de desempenho) entre as unidades avaliadas; enquanto DEA com *input* unitário torna-se mais adequado para situações em que os valores das variáveis (critérios de desempenho) variam muito entre as unidades avaliadas, e deseja-se levá-los em conta. Dessa forma, a análise aqui conduzida auxilia na compreensão das diferenças entre DEA com *input* unitário e o método de Copeland, indicando o modelo mais adequado para cada tipo de situação.

Em geral, as unidades melhor avaliadas são as que apresentaram bons níveis de atracção, e não apenas de carga movimentada, indicando que a modelagem aqui adotada pretere as unidades com calado máximo elevado, mas que realizam poucas atracções. Em estudos futuros, pretende-se incorporar a aplicação de técnicas de homogeneização (e.g., Bertolotto e Soares de Mello, 2011; Gomes *et al.*, 2012b), de forma a possibilitar a comparação direta entre unidades portuárias que operam em diferentes ramos (i.e., entre *clusters* distintos).

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Acosta, C.M.M.; Silva, A.M.V.A. e Lima, M.L.P.D. (2011) Aplicação de análise envoltória de dados (DEA) para medir eficiência em portos brasileiros. *Journal of Transport Literature*, v. 5, n. 4, p. 88-102.
- Angulo-Meza, L.; Biondi Neto, L.; Soares de Mello, J.C.C.B. e Gomes, E.G. (2005) ISYDS - *Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio a Decisão)*: A software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 3, p. 493-503. DOI: 10.5220/0002548802070212
- Arrow, K.J. (1951) *Social Choice and Individual Values*. New York: Wiley.
- Banker, R.D.; Charnes, A.; Cooper, W.W. (1984) Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092. DOI: 10.1287/mnsc.30.9.1078
- Banker, R.D.; Charnes, A.; Cooper, W.W.; Swarts, J. e Thomas, D. (1989) An introduction to data envelopment analysis with some models and their uses. *Research in Governmental and Non-Profit Accounting*, v. 5, p. 125-163. DOI: 10.1007/s11123-006-0004-8
- Barba-Romero, S. e Pomerol, J.C. (1997) *Decisiones Multicriterio: Fundamentos Teóricos e Utilización Práctica*. Madrid, Spain: Universidad de Alcalá.
- Barros, C.P. e Athanassiou, M. (2004) *Efficiency in European seaports with DEA: evidence from Greece and Portugal*. *Maritime Economics e Logistics*, v. 6, n. 2, p. 122-140. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100099

- Barros, C.P. (2006) *A benchmark analysis of Italian seaport using data envelopment analysis*. *Maritime Economics and Logistics*, v. 8, n. 4, p. 347-365.
DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100163
- Bertoloto, R.F. e Soares de Mello, J.C.C.B. (2011) Eficiência de portos e terminais privativos brasileiros com características distintas. *Journal of Transport Literature*, v. 5, n. 2, p. 4-21.
- Caillaux, M.A.; Sant'anna, A.P.; Angulo-Meza, L. e Soares de Mello, J.C.C.B. (2011) Container logistics in Mercosur: Choice of a transshipment port using ordinal Copeland method, Data Envelopment Analysis and Probabilistic Composition. *Maritime Economics & Logistics*, v. 13, n. 4, p. 355-370.
DOI: 10.1057/mel.2011.20
- Charnes, A.; Cooper, W.W. e Rhodes, E. (1978) Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429-444.
DOI:10.1016/0377-2217(78)90138-8
- Cook, W.D.; Harrison, J.; Imanirad, R.; Rouse, P. e Zhu, J. (2013) Data Envelopment Analysis with Nonhomogeneous DMUs. *Operations Research*, v. 61, n. 3, p. 666-676.
DOI: 10.1287/opre.2013.1173
- Cook, W.D. e Zhu, J. (2005) *Modelling Performance Measurement: Applications and Implementation Issues in DEA*. New York: Springer. ISBN: 978-0-387-24137-1 (Print) 978-0-387-24138-8 (Online)
- Copeland, A.H. (1951) *A Reasonable Social Welfare Function*. Detroit, Michigan: University of Michigan.
- Cortez, L.C.S.; Oliveira, L.R.D.; Martins, E.F.; Jesus, I.R.D.D. e Soares de Mello, J.C.C.B. (2012) Análise de eficiência na gestão de portos públicos brasileiros em relação ao papel das autoridades portuárias. *Journal of Transport Literature*, v.7, n. 2, p. 78-96. DOI: 10.1590/S2238-10312013000200005
- Entani, T.; Maeda, Y. e Tanaka, H. (2002) Dual models of interval DEA and its extensions to interval data. *European Journal of Operational Research*, v. 136, n. 1, p. 32-45.
DOI: 10.1016/S0377-2217(01)00055-8
- Gomes, E.G.; Abreu, U.G.P.; Soares de Mello, J.C.C.B.; Carvalho, T.B. e Zen, S. (2012a) *Unitary input DEA model to identify beef cattle production systems typologies*. *Pesquisa Operacional*, v. 32, n. 2, p. 389-406.
DOI: 10.1590/S0101-74382012005000015
- Gomes, E.G.; Soares de Mello, J.C.C.B. e Freitas, A.C.R. (2012b) *Efficiency measures for a non-homogeneous group of family farmers*. *Pesquisa Operacional*, v. 32, n. 3, p. 561-574.
DOI: 10.1590/S0101-74382012005000026
- Itoh, H. (2002) *Efficiency changes at major container ports in Japan: A window application of DEA*. *Review of Urban and Regional Development Studies*, v. 14, n. 2, p. 133-152.
DOI: 10.1111/1467-940X.00052
- Lovell, C.A.K. e Pastor, J.T. (1999) *Radial DEA models without inputs or without outputs*. *European Journal of Operational Research*, v. 118, n. 1, p. 46-51.
DOI:10.1016/S0377-2217(98)00338-5
- Lozano, S. e Villa, G. (2009) *Multiobjective target setting in data envelopment analysis using AHP*. *Computers & Operations Research*, v. 36, n. 2, p. 549-564.
DOI: 10.1016/j.cor.2007.10.015
- Martinez-Budria; E., Armas, R.D.; Ibanez, M.N. e Mesa, R. (1999) A study of the efficiency of Spanish port authorities using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Transport Economics*, v. 26, n. 2, p. 237-253.
- Pires, L.S.; Bertoloto, R.F. e Soares de Mello, J.C.C.B. (2009) Análise da eficiência de portos de carregamento de minério de ferro. *Rio's International Journal on Sciences of Industrial and Systems Engineering and Management*, v. 3, n. 4, p. 094-01.
- Rios, L.R. e Maçada, A.C.G. (2006) Analysing the relative efficiency of container terminals of Mercosur using DEA. *Maritime Economics and Logistics*, v. 8, n. 4, p. 331-346.
DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100168
- Roll, Y. e Hayuth, Y. (1993) *Port performance comparison applying DEA*. *Maritime Policy and Management*, v. 20, n. 2, p. 153-161. DOI:10.1080/03088839300000025
- Soares de Mello, J.C.C.B.; Gomes, E.G.; Angulo-Meza, L. e Leta, F.R. (2008) DEA advanced models for geometric evaluation of used lathes. *WSEAS Transactions on Systems*, v.7, n.5, p. 510-520.
- Soares de Mello, J.C.C.B.; Gomes, L.F.A.M.; Gomes, E.G. e Soares de Mello, M.H.C. (2005) Use of ordinal multi-criteria methods in the analysis of the Formula 1 World Championship. *Cadernos Ebape.BR*, v. 3, n. 2, p. 1-8.
DOI: 10.1590/S1679-39512005000200004
- Tongzon, J. (2001) Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 35, n. 2, p. 107-122. DOI: 10.1016/S0965-8564(99)00049-X
- Turner, H.; Windle, R. e Dresner, M. (2004) North American container port productivity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 40, n. 4, p. 339-356.
DOI: 10.1016/j.tre.2003.06.001
- Valentine, V. C. e Gray, R. (2001) The measurement of port efficiency using data envelopment analysis. In *Proceedings of the Ninth World Conference on Transport Research*, South Korea: Seoul.
- Yamada, Y.; Matui, T. e Sugiyama, M. (1994) New analysis of efficiency based on DEA. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, v. 37, n. 2, p. 158-167.
DOI: 10.1007/978-3-642-16530-6_20.