

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE PORTOS DE CARREGAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO

Leila dos Santos Pires

Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, 22210-240, Niterói, RJ
leilapire@yahoo.com.br

Rodrigo Ferreira Bertoloto

Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, 22210-240, Niterói, RJ
rfbertoloto@yahoo.com.br

João Carlos C. B. Soares de Mello

Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, 22210-240, Niterói, RJ
jcsmello@yahoo.com.br

RESUMO

O modal marítimo é o que mais cresceu nos últimos anos, indicando uma tendência de aumento de sua participação na matriz de transportes da exportação. Isto aumenta a importância, para a economia mundial, de possuir portos eficientes, bem localizados, e com capacidade suficiente para atender às necessidades de transporte. Através da utilização do método DEA (do inglês, *Data Envelopment Analysis*), este artigo apresenta uma análise da eficiência de 14 berços de portos exportadores de minério de ferro. Os métodos utilizados foram o CCR e o BCC com três inputs (calado, comprimento do berço e largura do berço) e um output (movimentação anual de carga).

Palavras-chaves: Portos, DEA, minério de ferro.

ABSTRACT

Maritime transport has been growing in recent years, indicating a trend of increased participation in the matrix transport export. It increases the importance, for the world economy, of having efficient ports, well located, and with sufficient capacity to meet the transport needs. Using the method DEA (Data Envelopment Analysis), this article presents an analysis of efficiency of 14 berths of iron ore exporting ports. The methods used were the CCR and BCC with three inputs (Draught, LOA – Length Overall, Beam) and one output (Annual Throughput).

Key-words: Ports; DEA; iron ore.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais efeitos do processo de globalização que vem afetando a grande maioria das nações é o aumento do comércio internacional, que nos últimos vinte anos vem crescendo a uma taxa superior ao do PIB mundial. O primeiro aspecto a ser considerado na análise da infra-estrutura de exportações é a participação dos diversos modais, no transporte internacional, que é dominado quase totalmente pelo modal marítimo.

Uma análise retrospectiva mostra que o modal marítimo é não só o mais utilizado, mas também o que mais cresceu nos últimos anos, indicando uma tendência de aumento de sua participação na matriz de transportes da exportação. Isto aumenta a importância, para a economia mundial, de possuir portos eficientes, bem localizados, e com capacidade suficiente para atender às necessidades de transporte.

Os maiores consumidores da infra-estrutura logística para exportação são os produtos a granel, dentre os quais se destacam o minério de ferro, petróleo e seus derivados, e a soja, que por possuírem baixo valor agregado, e por serem movimentados em grandes volumes, necessitam de uma infra-estrutura de grande porte e baixos custos.

Desta forma, foram selecionados os principais portos exportadores de minério de ferro no mundo para análise de sua eficiência. Os dados de inputs e outputs foram obtidos do banco de dados do Global Ports, site que disponibiliza dados dos principais portos de grãos do mundo.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 traz os fundamentos teóricos do método utilizado. A seção 3 apresenta a construção do modelo com a descrição dos inputs e do output considerados. A seção 4 trata dos resultados obtidos e, finalmente, na seção 5 são apresentadas as principais conclusões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A técnica DEA, desenvolvida por Charnes et al. (1978), é essencialmente uma técnica de programação linear que converte inputs e outputs múltiplos em uma medida de eficiência. Esta conversão é realizada comparando os recursos (inputs) utilizados e os resultados (outputs) por cada DMU (do inglês, *Decision Making Units*) comparando com todas as outras restantes. O DEA identifica as unidades mais eficientes em uma população e fornece uma medida da ineficiência para toda a outra. Cabe ressaltar que o DEA não mede a eficiência absoluta, e sim, a eficiência comparativa ou relativa.

A técnica é baseada em programação matemática. É classificada como não-paramétrica, pois não utiliza uma função de produção predefinida idêntica para todas as organizações na análise do relacionamento insumo-produto-eficiência.

Soares de Mello et al. (2003) salientam que o objetivo do DEA consiste em comparar certo número de DMU's que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de inputs que consomem e de outputs que produzem. Os autores revelam que além de identificar as DMU's eficientes, os modelos de DEA permitem medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes, que fornece um *benchmark* para as DMU's ineficientes.

Borenstein et al. (2004) ressaltam que o objetivo da técnica de DEA é identificar quais DMU's que operam eficientemente e, assim, pertencem a fronteira de produção, e também, quais DMU's não operam eficientemente, para que se possa fazer alguns ajustes apropriados nos seus inputs e outputs para atingir a eficiência. E, além disso, salientam os autores, com esta ferramenta é possível: (a) calcular quantitativamente a eficiência relativa

das DMU's; (b) identificar as fontes e quantidades de ineficiência relativa em cada DMU; e, (c) auxiliar no planejamento dos objetivos em várias dimensões, visando maximizar a eficiência de cada DMU.

A técnica DEA tem sido amplamente usada para avaliar a eficiência de portos. Por exemplo, Rio e Maçada (2006) avaliam os terminais de contêiner do mercosul, usando como inputs quantidade de guindastes, quantidade de berços, quantidade de empregados, área do terminal e quantidade de equipamento de pátio e como outputs TEUs movimentados e o número médio de contêineres movimentados por hora/navio. Wang e Cullinane (2006) também analisam a eficiência de 104 portos de contêiner da Europa, distribuídos por 29 países, e suas principais conclusões são que a ineficiência permeia a maioria dos portos e que produção em larga-escala tende a ser associada a alta eficiência.

O objetivo do uso de DEA na análise de eficiência de portos têm sido de encontrar melhores práticas que permitam a melhoria de performance de alguns portos ineficientes. Por exemplo, Barros e Athanassiou (2004) procuram implementar um processo de benchmarking para portos europeus usando DEA, comparando Portugal com a Grécia.

A medida de eficiência usualmente utilizada é uma razão entre uma soma ponderada de outputs e uma soma ponderada de inputs.

Os principais modelos DEA utilizados são:

a) Modelo CCR: O modelo, apresentado originalmente por Charnes et al. (1978), constrói uma superfície linear por partes, não paramétrica, envolvendo os dados. Trabalha com retornos constantes de escala, isto é, qualquer variação nas entradas (inputs) produz variação proporcional nas saídas (outputs). Esse modelo é igualmente conhecido como modelo CRS – Constant Returns to Scale.

Modelo CCR orientado a inputs

Este modelo determina a eficiência pela otimização da divisão entre a soma ponderada das saídas (output virtual) e a soma ponderada das entradas (input virtual) generalizando, assim, a definição de Farrel (1957). O modelo permite que cada DMU escolha os pesos para cada variável (entrada ou saída) da forma que lhe for mais benevolente, desde que esses pesos aplicados às outras DMUs não gerem uma razão superior a 1.

Modelo CCR orientado a outputs

Podemos desenvolver um modelo orientado a outputs, ou seja, que maximiza as saídas mantendo inalteradas as entradas. Neste modelo, apresentado em (9), as variáveis de decisão são as mesmas do modelo orientado a inputs. Entretanto, o h representa por quanto todos os produtos devem ser multiplicados, mantendo-se constantes os recursos, para a DMU o atingir a fronteira eficiente.

Vemos que o h é, então, um número maior que 1 (provoca incremento no valor dos outputs), pelo que a eficiência é o 1/h. No caso do modelo CCR, as duas orientações fornecem o mesmo valor de eficiência, no entanto, com λ's diferentes.

Figura 1: Modelo CCR orientado a inputs

$$\begin{aligned} \text{Max } Eff_o &= \sum_{j=1}^n u_j y_{jo} \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{j=1}^n u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} &\leq 0, \forall k \\ v_i, u_j &\geq 0, \forall i, j \end{aligned}$$

Figura 2: Modelo CCR orientado a outputs

$$\begin{aligned} \text{Mín } h_o &= \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{j=1}^n u_j y_{jo} &= 1 \\ \sum_{j=1}^n u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} &\leq 0, \forall k \\ u_j, v_i &\geq 0, \forall j, i \end{aligned}$$

b) Modelo BCC: é atribuído a Banker et al. (1984). Considera retornos variáveis de escala, isto é, substitui o axioma da proporcionalidade entre inputs e outputs pelo axioma da convexidade. Por isso, também é conhecido como VRS – *Variable Returns to Scale*.

Ao tornar a fronteira convexa, o modelo BCC permite que DMUs que operam com baixos valores de inputs tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala.

Matematicamente, a convexidade da fronteira equivale a uma restrição adicional ao Modelo do Envelope.

As figuras 3 e 4 mostram esse tipo de modelo orientado a inputs, e orientado a outputs.

Figura 3: Modelo BCC orientado a *inputs*

$$\begin{aligned} \text{Max } Eff_o &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} + u_* \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^r v_i x_{io} &= 1 \\ -\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} + u_* &\leq 0, \forall k \\ v_i, u_j &\geq 0, u_* \in \Re \end{aligned}$$

Figura 4: Modelo BCC orientado a *outputs*

$$\begin{aligned} \text{Min } Eff_o &= \sum_{i=1}^r v_i x_{io} + v_* \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} &= 1 \\ -\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - v_* &\leq 0, \forall k \\ v_i, u_j &\geq 0, v_* \in \Re \end{aligned}$$

3. CONSTRUÇÃO DO MODELO

Segundo Angulo Meza (1998), em modelagem por DEA devemos cumprir três etapas para implementar o problema:

3.1. DEFINIÇÃO E SELEÇÃO DE DMU's

Inicialmente foram escolhidos todos os maiores berços dos principais portos exportadores de minério de ferro do mundo, conforme base de dados do Global Ports. Porém, como nem todos possuíam informações suficientes para a análise, foram utilizados apenas 14 berços de diferentes portos.

3.2. SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

Inputs: Para inputs foram selecionadas variáveis que impactam a produtividade dos portos:

Max Permissible Draft: Calado máximo do berço. Determina tamanho do navio que pode ser carregado. Unidade: metro;

Max LOA (Length Overall): Comprimento máximo do berço de atracação dos navios. Determina tamanho do navio que pode ser carregado. Unidade: metro;

Max Beam: Largura máxima do berço. Determina tamanho do navio que pode ser carregado. Unidade: metro;

Output: Para output foi selecionada a movimentação anual de carga no porto (Annual Throughput). Unidade: Tonelada.

Tabela1: Dados obtidos do Global Ports

ID	Porto	País	Inputs			Output
			Max permissible draft	Max LOA	Max Beam	Annual throughput
1	Dampier	Austrália	17,2	300	50	41
2	Port Hedland - Finucane Island	Austrália	19	325	55	9,65
3	Port Hedland - Nelson point	Austrália	16,9	325	55	62,5
4	Whyalla	Austrália	11,6	228	32	0,7
5	Esperance	Austrália	18	300	50	8
6	Guaiba	Brasil	22	500	60	34,7
7	Ponta da Madeira	Brasil	23	480	60	50
8	Tubarão	Brasil	20	350	63,3	106
9	Sept Iles	Canadá	20,68	330	54	14,7
10	Mormugao (Goa Mechanical Ore berth nine)	India	14	337	50	9,5
11	New Mangalore	India	12,5	245	33	0,8
12	Nouadhibou	Mauritania	19,3	310	54	12
13	Narvik	Noruega	27	500	70	25
14	Saldanha Bay	África do Sul	21,5	350	70	26

3.3. ESCOLHA E APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo CCR utilizado neste artigo (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978) assume retornos constantes de escala. Na aplicação desse modelo, pode-se optar pela orientação a input (obter o mínimo emprego de input dado o nível de output), ou orientação a output (obter o máximo nível de output mantendo os input fixos). Justifica-se a aplicação do modelo CCR orientado a input, pois a eficiência das operações dos portos é observada a partir de como os inputs (recursos operacionais) auxiliam na transformação de output (movimentação de carga). Se aumentarmos um recurso (input) este pode aumentar o output.

4. RESULTADOS

Foram aplicados os modelos CCR e BCC orientados a input, no qual resultou nos resultados mostrados na tabela 2 abaixo.

Tabela 2: Resultados obtidos para os modelos CCR e BCC orientados a input

ID	Porto	País	Eficiência (CCR - Input)	Eficiência (BCC - Input)
1	Dampier	Austrália	0,490	0,916
2	Port Hedland - Finucane Island	Austrália	0,105	0,733
3	Port Hedland - Nelson point	Austrália	0,698	0,978
4	Whyalla	Austrália	0,013	1,000
5	Esperance	Austrália	0,096	0,788
6	Guaíba	Brasil	0,345	0,702
7	Ponta da Madeira	Brasil	0,498	0,778
8	Tubarão	Brasil	1,000	1,000
9	Sept Iles	Canadá	0,163	0,740
10	Mormugao (Goa Mechanical Ore berth nine)	India	0,128	0,879
11	New Mangalore	India	0,014	0,971
12	Nouadhibou	Mauritania	0,133	0,778
13	Narvik	Noruega	0,213	0,560
14	Saldanha Bay	África do Sul	0,245	0,735

Pelo modelo CCR, o único porto 100% eficiente foi o de Tubarão, no Brasil. Já o modelo BCC apresentou eficiências maiores para todos os portos e além de Tubarão, o porto Whyalla (Austrália) também alcançou a fronteira de eficiência.

5. CONCLUSÕES

Os dois métodos utilizados mostram resultados satisfatórios. Mas as eficiências obtidas pelo modelo CCR são menores que as eficiências do modelo BCC. Isso ocorre porque a premissa de retornos constantes de escala, do modelo CCR, fornece informações conjuntas de eficiência técnica e de escala, enquanto a premissa de retornos variáveis de escala, do modelo BCC, identifica a eficiência técnica sozinha.

Como a eficiência das operações dos portos é observada a partir de como os inputs (recursos operacionais) auxiliam na transformação de output (movimentação de carga) e, ao aumentar os recursos, aumenta-se a movimentação de cargas, considera-se como mais adequado o resultado do modelo CCR orientado a input.

Tendo em vista os pressupostos do modelo e o cenário atual de exportação de minério de ferro, conclui-se pela significativa consistência e representatividade do resultado obtido, uma vez que os portos eficientes estão localizados no Brasil e na Austrália, que são os dois maiores países exportadores de minério de ferro do mundo.

É interessante notar que o porto de Ponta da Madeira, no norte do Brasil, não foi considerado eficiente. E este porto é o responsável pela exportação do minério de melhor qualidade do mundo. Sua não eficiência é devida ao fato de que seus recursos são bem maiores que dos outros portos, mas a movimentação de carga não é correspondente na mesma proporção.

Como sugestão de novas pesquisas, recomenda-se o acréscimo de fila nos portos como segundo output, uma vez que a produtividade dos portos impacta na fila dos mesmos.

6. BIBLIOGRAFIA

- ANGULO MEZA, L. Data envelopment analysis na determinação da eficiência dos programas de pós-graduação da COPPE/UFRJ. 1998. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; COELHO, P.H.G. FSDA – Free Software for Decision Analysis (SLAD – Software Livre de Apoio à Decisão): A Software Package for Data Envelopment Analysis Models. In: XII CONGRESO LATINO-IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA, 12., 2004, La Habana. Memorias..., La Habana, 2004.
- 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.
- BARROS, C.P.a; ATHANASSIOU, M.b. Efficiency in European seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal. *Maritime Economics and Logistics*, 6 (2), pp. 122-140, 2004.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; LEWIN, A.Y.; SEIFORD, L.M. Data envelopment analysis: Theory, methodology and applications. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429-444, 1978.
- CULLINANE, K.a.; WANG, T.-F.b; SONG, D.-W.c; Ji, P.d. The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40 (4), pp. 354-374, 2006.
- FARREL, M.J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistic Society, series A*, part 3, p. 253-290, 1957.
- RIOS, L.R.; MAÇADA, A.C.G. Analysing the relative efficiency of container terminals of Mercosul using DEA. *Maritime Economics and Logistics*, 8 (4), pp. 331-346, 2006.
- SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E.G.; SERAPIÃO, B.P.; LINS, M.P.E. Análise de Envoltória de Dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. *Pesquisa Operacional*, v. 23, n. 2, p. 325-345, 2003b.
- WANG, T.-F.a; CULLINANE, K.b. The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management. *Maritime Economics and Logistics*, 8 (1), pp. 82-99, 2006.
- <http://www.g-ports.com/>