



## **EFICIÊNCIA LOGÍSTICA E DAS OPERAÇÕES DE CARGAS DOS AEROPORTOS BRASILEIROS: UMA APLICAÇÃO DA DEA (*DATA ENVELOPMENT ANALYSIS*)**

**LETÍCIA LABEGALINI** ( [lelabega@hotmail.com](mailto:lelabega@hotmail.com) )  
*FGV/POI E NIPE-LOG/UFMG*

**CAROLINA GOYATÁ DIAS** ( [cgoyata@gmail.com](mailto:cgoyata@gmail.com) )  
*FUNDAÇÃO DOM CABRAL E NIPE-LOG/UFMG*

**RICARDO SILVEIRA MARTINS** ( [ricardo.s.martins@uol.com.br](mailto:ricardo.s.martins@uol.com.br) , [martins@cepead.face.ufmg.br](mailto:martins@cepead.face.ufmg.br) )  
*UFMG/NIPE-LOG*

**Resumo** - Este estudo objetivou analisar a eficiência dos aeroportos brasileiros, aplicando o método DEA como ferramenta de avaliação de eficiência logística. Os aeroportos de Guarulhos, Salvador, Recife e Fortaleza foram identificados como os mais eficientes do País. Percebe-se que os demais aeroportos ainda são relativamente pouco utilizados para fins da logística das empresas. A alta eficiência do serviço rodoviário e o volume dos fluxos em rotas que não contemplam São Paulo como origem ou destino explicam razoavelmente parte dos resultados. Também foi possível caracterizar as ineficiências encontradas. Os resultados sinalizam para a atuação das autoridades brasileiras de uma forma mais normativa, em nível de planejamento.

**Palavras-chave:** Transporte aéreo, logística, Eficiência, DEA.

### **1. INTRODUÇÃO**

A participação da logística na competição entre cadeias de suprimento tem dado destaque ao transporte aéreo. Lotes menores, ciclos de pedidos mais curtos, maior nível de serviço, intermodalismo e a maior necessidade de controle realçaram o atributo “velocidade” inerente ao modal aéreo, dadas as estratégias de centralização de estoque e de gestão como suporte à atuação global das empresas. No caso brasileiro, a movimentação de cargas e mala postal, com movimentação doméstica e internacional, atingiram 1,5 milhões de toneladas em 2006.

Nesta nova dinâmica, além de movimentar cargas, os aeroportos, componente essencial do sistema, têm sido referência para localização de empresas, atraindo-as para as suas proximidades. Muitas vezes, é incorporado diretamente na rede logística das empresas e de cadeias de suprimentos, como no caso dos aeroportos industriais, que servem como instalações para empresas desenvolverem atividades de produção ou de postergação.

O transporte aéreo encontra condições especialmente favoráveis ao seu desenvolvimento no Brasil. Para Dugonjic (1989), no contexto da logística, é fundamental que todo País viabilize todos os modos de transporte para que possa oferecer o pré-requisito logístico para localização de instalações das empresas dos diversos setores de atividade econômica. A dimensão territorial do País e a estrutura do povoamento em “arquipélago” criam uma demanda de deslocamentos de longas distâncias, realizados mais apropriadamente por avião para uma grande diversidade de cargas, assim como a necessidade de administrar um espaço tão diferenciado suscita um importante tráfego de negócios, de servidores públicos e de políticos viajando para as capitais (THÉRY, 2003). No entanto, as informações oficiais do Ministério dos Transportes indicam que nas rodovias foram movimentadas cerca de 60% das cargas, estando

destinados ao transporte aéreo menos que 0,5% do total de TKU (Tonelada-Quilômetro-Útil) movimentados. Além disso, estimativas mais abrangentes do universo das cargas elevam a participação do modal rodoviário para mais de 85%, quando aumentam a amostra com produtos industrializados (por exemplo, UFSC/ANTT, 2004). Deve-se considerar que um conjunto potencial destas poderiam estar utilizando na sua logística o transporte aéreo.

Neste cenário, então, esta pesquisa se propôs a abordar a eficiência do sistema aeroportuário brasileiro. A preocupação com a eficiência do setor aéreo no País não se ampara somente no potencial do mesmo, mas é reforçada pela queda de performance de 10% no transporte de carga no período 2005-2006, uma trajetória contrária ao desempenho ocorrido em outros países e às expectativas de empresas que avaliam ou são usuárias efetivas do sistema.

Diante do exposto, este estudo objetivou analisar a eficiência dos aeroportos brasileiros, aplicando o método DEA como ferramenta de avaliação de eficiência logística.

Em seu estudo sobre pesquisas na área de logística, Sachan e Datta (2005) apontam como principais *gaps* das pesquisas analisadas o pouco desenvolvimento de estudos multidisciplinares, a pouca aplicação de técnicas e dados secundários de forma inovadora em logística e o número escasso de estudos que analisam as organizações sobre a perspectiva interorganizacional, dando ênfase à análise das organizações como entidades isoladas.

A utilização de DEA como uma ferramenta de análise de problemas logísticos preenche grande parte dos *gaps* apontados por Sachan e Datta (2005), já que a aplicação da metodologia em logística incita análises multidisciplinares, pois o entendimento da própria técnica e a análise dos resultados gerados pela mesma remetem às bases matemáticas e econômicas do DEA como programação linear, função de produção e fronteira de eficiência. Além disso, a existência de poucos estudos que fazem uso do DEA em logística classifica estes trabalhos como inovadores em uma área na qual a maioria dos trabalhos tem caráter quantitativo respaldados pelo método *survey*.

## **2. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA**

### **2.1 O método**

O DEA, conhecido no Brasil como análise envoltória de dados, é uma ferramenta matemática para a medida de eficiência de unidades produtivas (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005). O DEA permite avaliar a eficiência relativa de cada unidade de tomada de decisão, DMU – *Data Making Unit*, considerando os recursos de que dispõe (*inputs*) e os resultados alcançados (*outputs*) (SOARES DE MELLO *et al.*, 2003).

De acordo com Carvalho (2002), a metodologia DEA busca identificar dentre  $n$  unidades de tomada de decisão, aquelas que atingiram o limite máximo de suas taxas de eficiência, determinando uma envoltória ou fronteira determinística de eficiência para os dados em análise. A partir desta fronteira, são analisadas outras unidades de tomada de decisão relativamente ineficientes. O método DEA teve origem no trabalho de M. J. Farrel, em 1957, que apresenta uma

abordagem de análise de eficiência através de uma medida que é a razão entre um único output por um único input:

$$E_{Farrel} = \frac{\text{único output}}{\text{único input}} \quad (1)$$

Em 1978, Charnes, Cooper e Rhodes generalizaram a medida de eficiência proposta por Farrell, por meio de otimização por programação matemática, passando a considerar múltiplos *inputs* e *outputs* para cada unidade de tomada de decisão.

Os modelos mais conhecidos de DEA são o CRS – *Constant Returns of Scale* (Retornos Constantes de Escala) e o VRS – *Variable Returns of Scale* (Retornos Variáveis de Escala), mais conhecido como BCC, em referência às iniciais de seus criadores: Banker, Charnes e Cooper. O CCR, apresentado originalmente por Charnes *et al.* (1978), trabalha com retornos constantes de escala, ou seja, qualquer variação nos *inputs* produz uma variação proporcional nos *outputs*. Já o modelo BCC, que considera retornos variáveis de escala, substitui o axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade, permitindo que unidades de tomada de decisão que operam com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e que unidades com altos valores de *inputs* tenham retornos decrescentes de escala (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005).

Os modelos de DEA podem ser classificados de acordo com três tipos de orientação (CARVALHO, 2002):

- Orientação para insumos: reduz-se os *inputs* e mantém-se os *outputs* inalterados;
- Orientação para os produtos ou serviços: aumenta-se os *outputs* e mantém-se os *inputs* inalterados e;
- Não-orientados: ao mesmo tempo e de modo equiproporcional, diminui-se os *inputs* e aumenta-se os *outputs*.

Os modelos BCC e CCR são orientados para insumos.

No contexto de múltiplos *inputs* e *outputs*, o DEA gera uma medida de eficiência para cada DMU analisada, que é a razão entre todos os produtos e todos os insumos da mesma. Assim, para uma *i*-ésima DMU tem-se:

$$\text{Eficiência da DMU } i = \frac{u \cdot y_i}{v \cdot X_i} = \frac{u_1 y_{1i} + u_2 y_{2i} + \dots + u_m y_{mi}}{v_1 X_{1i} + v_2 X_{2i} + \dots + v_k X_{ki}} \quad (2)$$

em que  $u$  é um vetor ( $m \times 1$ ) de pesos nos produtos e  $v$  é um vetor ( $k \times 1$ ) de pesos nos insumos. Desta forma, a medida de eficiência será uma escalar, devido às ordens dos vetores que a compõem.

A pressuposição inicial é que esta medida de eficiência requer um conjunto comum de pesos que será aplicado em todas as DMU's. Entretanto, existe uma certa dificuldade em obter um conjunto comum de pesos para determinar a eficiência relativa de cada DMU. Isto ocorre, pois, as DMU's

podem estabelecer valores para os insumos e produtos de modos diferentes, e então adotarem diferentes pesos. É necessário, então, estabelecer um problema que permita que cada DMU possa adotar o conjunto de pesos que for mais favorável, em termos comparativos com as outras unidades. Para selecionar os pesos ótimos para cada DMU, especifica-se um problema de programação matemática. Para a *i-ésima* DMU tem-se:

$$\begin{aligned} & \text{MAX}_{u,v} \quad (u \cdot y_i / v \cdot x_i), & (3) \\ & \text{sujeito a :} \\ & \quad u \cdot y_j / v \cdot x_j \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ & \quad u, v \geq 0. \end{aligned}$$

Esta formulação envolve obter valores para  $u$  e  $v$ , de tal forma que a medida de eficiência para a *i-ésima* DMU seja maximizada, sujeito à restrição de que as medidas de eficiência de todas as DMUs sejam menores ou iguais a um. Caso a eficiência obtida para a DMU que está sendo testada seja igual a um, ela será eficiente em relação às demais; caso contrário ela será ineficiente.

O modelo linearizado possui a seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \text{MAX}_{u,v} \quad (u \cdot y_i), & (4) \\ & \text{sujeito a :} \\ & \quad v x_i = 1, \\ & \quad u \cdot y_j - v \cdot x_j \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ & \quad u, v \geq 0. \end{aligned}$$

Por meio da dualidade em programação linear, tem-se:

$$\begin{aligned} & \text{MIN}_{\theta, \lambda} \quad \theta, & (5) \\ & \text{sujeito a :} \\ & \quad -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \quad \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \quad \lambda \geq 0, \end{aligned}$$

em que  $\theta$  é uma escalar, cujo valor será a medida de eficiência da *i-ésima* DMU. Caso o valor de  $\theta$  seja igual a um, a DMU será eficiente, caso contrário será menor que um. Já  $\lambda$  é um vetor ( $n \times 1$ ) de constantes, cujos valores são calculados de forma a obter a solução ótima. Para uma DMU eficiente, todos os valores de  $\lambda$  serão zero. Já para uma DMU ineficiente, os valores de  $\lambda$  serão os pesos utilizados na combinação linear de outras DMUs eficientes que influenciam na projeção da DMU ineficiente sobre a fronteira calculada. Isto significa que para uma unidade ineficiente, existe ao menos uma unidade eficiente, cujos pesos calculados fornecerão a DMU virtual da

unidade ineficiente, através de combinação linear. As unidades eficientes que, quando combinadas, fornecem a DMU virtual para a unidade ineficiente são conhecidas como pares ou *benchmarks* daquela DMU.

Os valores de eficiência técnica, obtidos no modelo com retornos constantes, podem ser divididos em dois componentes – um devido à ineficiência de escala e outro devido à pura ineficiência técnica. Para separar essas medidas, realiza-se o procedimento, conduzindo ambos, retornos constantes e variáveis, ao mesmo conjunto de dados. Se existir uma diferença nos valores de eficiência técnica para uma DMU qualquer, isto indica que esta DMU tem ineficiência de escala, que pode ser calculada pela diferença entre os valores das eficiências técnicas com retornos variáveis e com retornos constantes.

A Figura 1 ilustra uma situação que envolve um insumo e um produto. Podem-se traçar as fronteiras eficientes calculadas pela DEA, isto é, a fronteira obtida com retornos constantes (RC), e a obtida com retornos variáveis (RV), sendo esta última descrita pela linha pontilhada.

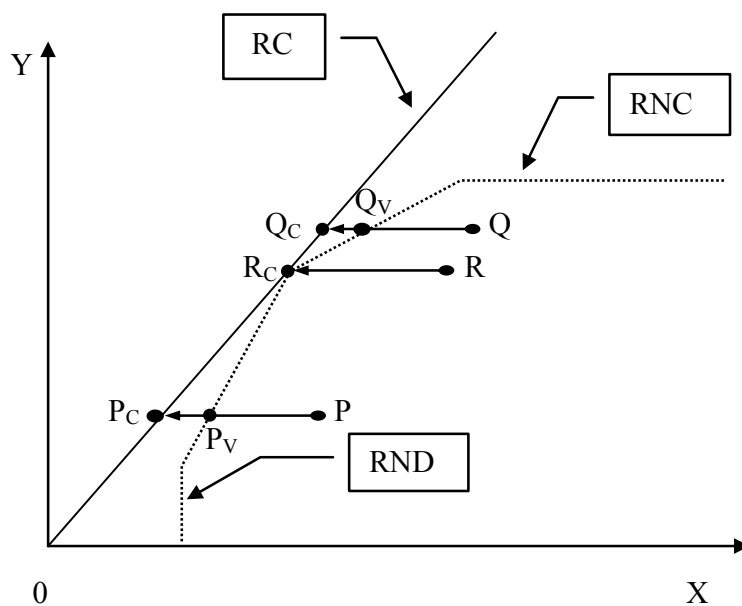


Figura 1 – Eficiência técnica e eficiência de escala

Considere-se o ponto **P** na Figura 1. Na pressuposição de retornos constantes, a ineficiência técnica do ponto **P** é dada pela distância PPC, enquanto a ineficiência técnica é dada pela distância PPV, com a pressuposição de retornos variáveis. A diferença entre essas duas, PCPV, fornece a ineficiência de escala. As medidas de eficiência do ponto **P**, em termos de razão, isto é, limitadas entre zero e um, são dadas por

$$\begin{aligned} ET_{I,RC} &= AP_C/AP, \\ ET_{I,RV} &= AP_V/AP, \\ EE_1 &= AP_C/AP_V, \end{aligned} \quad (6)$$

em que o subscrito *I* indica modelos com orientação insumo; RC, retornos constantes; e RV, retornos variáveis. Como  $AP_C/AP = (AP_V/AP) \times (AP_C/AP_V)$ , então  $ET_{I,RC} = ET_{I,RV} \times EE_1$ , isto é, a medida de eficiência técnica com retornos constantes à escala é composta pela eficiência técnica pura e pela eficiência de escala.

O modelo, nesta forma, pressupõe retornos constantes à escala, podendo ser reformulado, com o objetivo de possibilitar retornos variáveis às DMUs analisadas. Conforme apresentado no marco conceitual deste estudo, essa proposta foi inicialmente feita por Banker, Charnes e Cooper (1984), cujo modelo ficou conhecido como BCC, devido às iniciais dos nomes dos autores.

Após executar os modelos DEA, as DMUs podem ser classificadas segundo duas categorias:

1) De acordo com a pura eficiência técnica obtida no modelo pressupondo-se retornos variáveis. Nesse caso, as DMU's podem ser tecnicamente eficientes ou ineficientes. As DMU's eficientes são aquelas que estão produzindo uma quantidade compatível com o uso dos insumos; por outro lado, as ineficientes estão utilizando em excesso os insumos. Isso significa que, para se tornarem eficientes, podem-se reduzir os insumos, mantendo-se a mesma produção, ou, de modo equivalente, aumentar a produção utilizando-se os mesmos insumos;

2) De acordo com a eficiência de escala, obtida pela razão entre as medidas de eficiência técnica nos modelos com retornos constantes e variáveis. Nessa categoria, as DMUs podem estar operando com retornos constantes, crescentes ou decrescentes. A produção com retornos constantes é conhecida como escala ótima. Assim, a DMU operando com retornos crescentes está abaixo da escala ótima, necessitando expandir a produção. Já a operação com retornos decrescentes implica uma situação acima da escala ótima, indicando necessidade de reduzir o volume produzido ou melhorar a tecnologia, ou seja, deslocar a fronteira de produção (ajustes qualitativos).

### **3. METODOLOGIA**

Segundo Malhotra (2001), esta pesquisa pode ser considerada como exploratória e descritiva, de natureza quantitativa. Vergara (2005) expõe que estudos exploratórios são apropriados em áreas científicas em que existam relativamente pouco conhecimento acumulado e Mattar (1993) complementa a classificação de um estudo como exploratório quando este busca fontes explicativas complementares para fenômenos já abordados. Ao avaliar a eficiência, sobre a perspectiva logística, de aeroportos brasileiros fazendo uso de um diferente conjunto de variáveis quando comparado com outros estudos, esta pesquisa pode ser classificada como exploratória.

Sendo também descritiva, esta pesquisa tem como objetivo principal a descrição de um determinado fenômeno e o estabelecimento de relações entre variáveis (GIL, 1999).

Quanto aos meios de investigação, este estudo foi desenvolvido a partir de pesquisa bibliográfica sobre DEA e sua aplicação em logística e também por uma pesquisa documental, baseada em dados secundários, obtidos no site da Infraero na internet. Os dados selecionados para a análise foram:

- *Outputs*: carga aérea e mala postal movimentadas pelos aeroportos;
- *Inputs*: área do terminal de carga e área de pouso e decolagem dos aeroportos.

A partir destes dados esta pesquisa trabalha o seguinte modelo de eficiência para os aeroportos brasileiros:

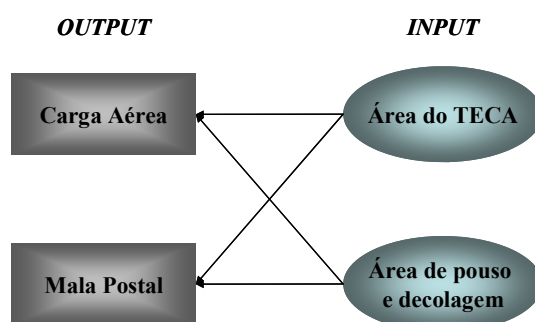


Figura 2 – Modelo de eficiência da pesquisa  
Fonte: Elaborado pelos autores.

A indisponibilidade de outros dados, financeiros e não-financeiros, como ativo total do aeroporto, despesas com pessoal, número de equipamentos especializados na movimentação de cargas (correias transportadoras e tratores, por exemplo) foi a principal limitação do estudo, justificando a utilização das variáveis apresentadas anteriormente.

O sistema aéreo brasileiro conta, atualmente, com 67 aeroportos, sendo que 27% deles situam-se na região Sudeste, 25% na região Nordeste, 22% na região Norte, 18% na região Sul e o restante na região Centro-Oeste. O Aeroporto Internacional de Guarulhos, em São Paulo, é o maior em número de passageiros (13 milhões/ano) e gera cerca de 53 mil empregos diretos e indiretos (INFRAERO, 2007). Dentre os 67 aeroportos, 27 são aeroportos de carga e estão espalhados por todo o território nacional, conforme Figura 3.

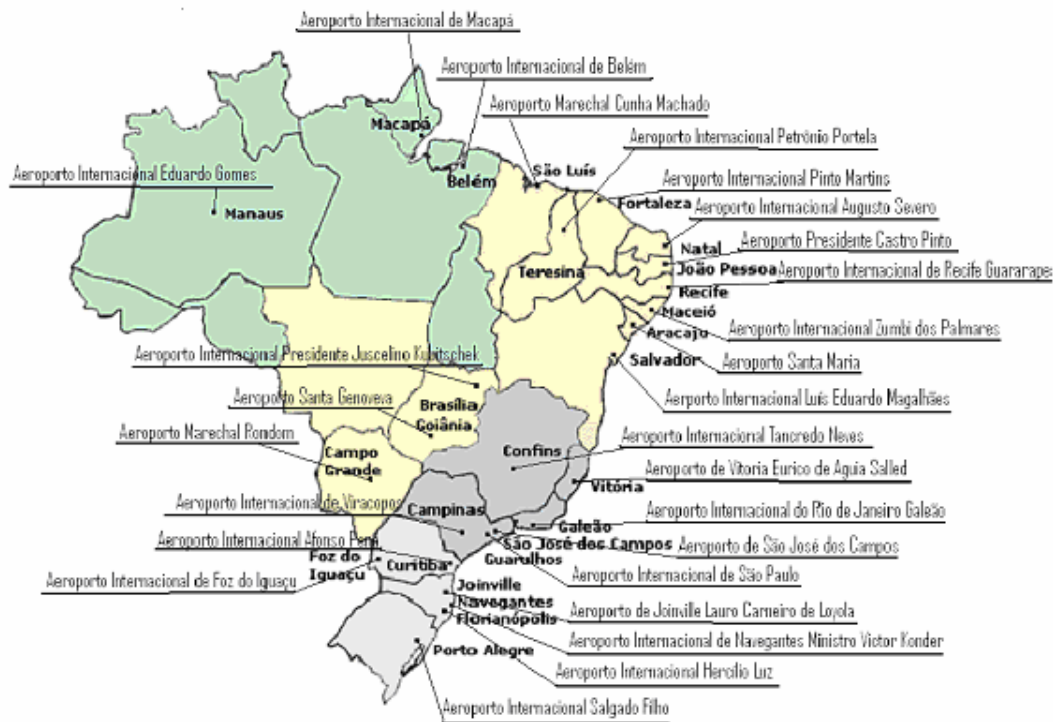


Figura 3 – Localização dos aeroportos de carga do Brasil  
Fonte: Elaboração dos autores, a partir de informações básicas da Infraero.

Somente três aeroportos são responsáveis por 92% da logística da carga aérea: Aeroporto Internacional de São Paulo (Guarulhos), 52%; Aeroporto Internacional de Viracopos, 22%; e Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (Manaus), 18% (INFRAERO, 2007). Neste contexto, um estudo sobre eficiência, principalmente destes aeroportos, pode ser bastante elucidativo de intervenções com vistas às melhorias da infraestrutura brasileira e à produtividade dos investimentos.

Os seguintes aeroportos foram selecionados para análise, conforme critério de produção de cargas:

- SBGR - Aeroporto Internacional de Guarulhos;
- SBKP - Aeroporto Internacional de Campinas;
- SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus;
- SBGL - Aeroporto Internacional do Galeão;
- SBSV - Aeroporto Internacional de Salvador;
- SBRF - Aeroporto Internacional de Recife;
- SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília;
- SBFZ - Aeroporto Internacional de Fortaleza;



- SBPA - Aeroporto Internacional de Porto Alegre;
- SBCT - Aeroporto Internacional de Curitiba;
- SBCF - Aeroporto Internacional de Confins.

A análise de eficiência relativa dos aeroportos selecionados foi desenvolvida por meio do modelo BBC orientado para *outputs*, ou seja, as considerações finais deste trabalho apontam caminhos para, com as mesmas áreas de terminais de carga aérea e de pouso e decolagem, os aeroportos movimentarem uma maior quantidade de carga aérea e mala postal.

#### 4. RESULTADOS E ANÁLISE

Em um problema que envolve dois insumos e dois produtos, uma forma de avaliar a eficiência dos aeroportos é construir uma isoquanta unitária e comparar, graficamente, a posição de cada unidade (Tabela 1).

Tabela 1 - Identificação das DMU's com relação à isoquanta

Legenda	Localização do Aeroporto	Correio/ Mala Postal (t)	Carga Aérea (t)	Área do Terminal de Cargas (m <sup>2</sup> )	Área de pouso e decola- gem (m <sup>2</sup> )	Ponto
		Y1	Y2	X1	X2	
<b>A</b>	Guarulhos (SP)	96.121	419.848	91.632	301.500	RC
<b>B</b>	Campinas (SP)	60	178.797	71.947	145.800	P
<b>C</b>	Manaus (AM)	9.776	147.241	49.405	121.500	PV
<b>D</b>	Galeão - Rio de Janeiro (RJ)	50.432	78.139	46.724	329.460	Q
<b>E</b>	Salvador (BA)	49.842	43.784	4.985	203.625	RC
<b>F</b>	Recife (PE)	12.678	59.260	5.725	148.500	RC
<b>G</b>	Brasília (DF)	14.398	42.672	10.961	292.500	Q
<b>H</b>	Fortaleza (CE)	7.412	35.808	2.000	114.525	RC
<b>I</b>	Porto Alegre (RS)	12.982	28.932	6.846	95.760	PV
<b>J</b>	Curitiba (PR)	8.996	22.288	12.264	180.675	R
<b>K</b>	Confins - Belo Horizonte (MG)	9.144	16.173	9.144	135.000	P

Fonte: Resultados da pesquisa.

A posição de cada aeroporto com relação à isoquanta de eficiência é influenciada pelos aeroportos considerados eficientes. Assim, realizando-se movimentos radiais que projetam os aeroportos não eficientes para essa isoquanta, é possível identificar quais aeroportos eficientes foram responsáveis por outro aeroporto ter sido considerada ineficiente, ou seja, quais são os pares ou *benchmarks* do aeroporto ineficiente. Para que um aeroporto seja considerado ineficiente, significa que ele está usando ao menos um insumo (área do terminal ou de pouso) a mais do que precisaria para ter um mesmo nível de produção que um aeroporto semelhante. Portanto, para que um aeroporto com ineficiência produtiva melhore seu nível de eficiência, é preciso saber quais os aeroportos semelhantes que são eficientes. E isso se identifica ao projetá-la na isoquanta.

Nesse sentido, a análise via DEA não mede somente a eficiência, mas também fornece um guia para os aeroportos eliminarem ineficiências. Ou seja, o aeroporto ineficiente, tendo como referência seus pares, pode tentar aumentar sua eficiência na produção a partir da mesma base de insumos.

Conforme a Tabela 2, sob pressupostos de retornos constantes, apenas os aeroportos de Guarulhos, Salvador, Recife e Fortaleza obtiveram máxima eficiência técnica. O nível médio de eficiência técnica foi de 72,1%, o que significa que os aeroportos podem, em média, aumentar o volume de movimentação de cargas em até 27,9%, sem alterar seus insumos, ou seja, sem investimentos em terminais e áreas de pouso e decolagem. Nota-se que os aeroportos que alcançaram máxima eficiência técnica (1,000) não podem aumentar movimentação de cargas. Entretanto, as demais podem fazê-lo, tendo como referência aquelas com eficiência técnica igual a um, que são consideradas seus *benchmarks*.

Tabela 2 - Medidas de eficiência dos aeroportos e retorno à escala, Brasil, 2006

Aeroporto	Ef. Técnica - Retornos constantes	Ef. Técnica - Retornos variáveis	Ef. Escala	Retorno de escala	Condição
A	1,000	1,000	1,000	Constante	Eficiente
B	0,881	0,971	0,906	Crescente	Ineficiente
C	0,870	1,000	0,870	Crescente	Eficiente
D	0,555	0,699	0,794	Decrescente	Ineficiente
E	1,000	1,000	1,000	Constante	Eficiente
F	1,000	1,000	1,000	Constante	Eficiente
G	0,399	0,544	0,734	Decrescente	Ineficiente
H	1,000	1,000	1,000	Constante	Eficiente
I	0,665	1,000	0,665	Crescente	Eficiente
J	0,272	0,272	1,000	Constante	Ineficiente
K	0,289	0,344	0,841	Crescente	Ineficiente

Fonte: Resultados da pesquisa.

O uso da especificação de retornos constantes, quando nem todos os aeroportos estão operando em escala ótima, resultará em medidas de eficiência técnica que podem ser confundidas com eficiência de escala. Para evitar tal problema, é preciso separar a pura eficiência técnica, que é obtida quando se considera retornos variáveis. A obtenção da medida de pura eficiência técnica do modelo com retornos variáveis é feita relaxando-se a pressuposição de retornos constantes.

A pura eficiência técnica média dos aeroportos foi de 80,3%. Isso significa que há uma subprodutividade de 19,7% diante dos insumos disponíveis (X1 e X2). O restante da ineficiência total ocorre devido ao aeroporto estar operando com escala incorreta de produção, o qual é mensurado pela eficiência de escala.

Considerando-se o modelo com retornos variáveis, seis aeroportos obtiveram medida de eficiência técnica igual a um, sendo eles: Guarulhos, Manaus, Salvador, Recife, Fortaleza e Porto Alegre. Como visto anteriormente, uma condição para que o aeroporto apresente máxima eficiência técnica, com retornos constantes à escala, é que sua eficiência técnica, quando se

consideram retornos variáveis, seja também máxima. Isto significa que dos seis aeroportos que não têm problemas de baixa produtividade, apenas dois (Manaus e Porto Alegre) não são eficientes em termos de escala correta de produção, apresentando algum problema de escala.

A medida de eficiência de escala é obtida pela razão entre as medidas de eficiência técnica, nos modelos com retornos constantes e com retornos variáveis. Se essa razão for igual a um, o aeroporto estará operando na escala ótima. Caso contrário, se for menor que um, o aeroporto será tecnicamente ineficiente, pois estará operando abaixo do nível ótimo.

Para detectar se essas ineficiências de escala são devidas ao fato de o aeroporto operar na faixa de retornos crescentes ou na faixa de retornos decrescentes, outro problema de programação linear foi formulado, impondo a restrição de retornos não crescentes à escala. Se o valor da medida de eficiência encontrado nesse modelo for igual ao valor encontrado no modelo com retornos variáveis, então o aeroporto encontra-se na faixa de retornos decrescentes à escala, isto é, está operando acima da escala ótima, ou em escala “supraótima”. Caso contrário, situa-se na faixa de retornos crescentes, operando abaixo da escala ótima, ou em escala “subótima”.

Note que os aeroportos de Manaus e Porto Alegre localizam-se na fronteira de retornos variáveis, ou seja, embora eficientes do ponto de vista de produtividade, possuem problemas de escala. Somente os aeroportos de Guarulhos, Salvador, Recife e Salvador estão na fronteira eficiente de retornos constantes, ou seja, são os mais eficientes entre todos os aeroportos analisados.

Após classificar os aeroportos segundo os critérios de eficiência e escala, pode-se realizar algumas recomendações gerais visando aumentar a eficiência técnica (Figura 4). De modo geral, para os aeroportos que possuem algum grau de pura ineficiência técnica é recomendável a análise desse uso incorreto dos insumos. Para isso, o aeroporto ineficiente deve observar o que seu *benchmark* está fazendo, ou seja, ele só foi considerado ineficiente porque existe pelo menos um outro aeroporto com características semelhantes que consegue transportar gastando relativamente menos ou usando melhor seus insumos.

Em relação aos problemas de escala, é preciso verificar em qual ponto da função de produção o aeroporto se encontra. Se está operando abaixo do ponto de retorno constante, é preciso aumentar a movimentação de cargas, ou seja, ganhar escala. Se estiver acima da escala ótima, na maioria das vezes não é necessário reduzir a produção, mas sim mudar a função de produção, ou seja, alterar qualitativamente o sistema produtivo, aumentando a produtividade dos insumos.

Após apresentadas as recomendações, é preciso que os aeroportos que apresentam ineficiências busquem resolver seus problemas espelhando-se naqueles que se mostraram eficientes. Considerando que o foco das propostas é com orientação para produto, como resultado, aeroportos transportariam mais mantendo-se os mesmo insumos e aproximando-se daqueles que são semelhantes e que apresentam eficiência.

Corrigindo-se as ineficiências identificadas da forma como se propôs e rodando-se o programa DEA novamente, todos os aeroportos se alocariam na isoquanta de eficiência.

<b>Aeroportos</b>	<b>Recomendação</b>
Guarulhos (SP), Salvador (BA), Recife (PE) e Fortaleza (CE)	Esta é a melhor situação, pois os aeroportos não apresentam nenhum problema. Estão utilizando os recursos sem desperdícios e operam em escala ótima. Caso resolvam aumentar a produção, este aumento deve ocorrer mantendo-se a proporção de uso dos fatores.
Manaus (AM) e Porto Alegre (RS)	Apesar de tecnicamente eficientes, ou seja, não existem insumos utilizados em excesso, o volume de transporte de cargas destes aeroportos está abaixo da escala ótima. Provavelmente o aeroporto está operando com capacidade ociosa. Isso significa que pode aumentar o transporte de cargas a custos decrescentes. Nesse sentido, o aumento da produção deve ocorrer mediante incorporação de insumos, porém, mantendo-se as relações entre as quantidades de produto e insumos.
Campinas (SP) e Confins – Belo Horizonte (MG)	Nesta situação, existem dois problemas: ineficiência técnica, devido ao uso excessivo de insumos, e ineficiência de escala. Esta última ocorre porque o aeroporto está operando abaixo da escala ótima. Para aumentar a eficiência técnica é preciso eliminar os excessos no uso nos insumos. Por outro lado, para operar em escala ótima é necessário aumentar o volume de produção. Em síntese, o aeroporto deve aumentar a produção. Porém esse aumento deve ocorrer reduzindo as relações entre quantidades utilizadas de insumo e o volume de produção, ou seja, eliminando os excessos.
Galeão – Rio de Janeiro (RJ) e Brasília (DF)	Nesta situação, o aeroporto está operando acima da escala ótima e tem ineficiência técnica. É preciso corrigir os dois problemas. Para aumentar a eficiência técnica, deve-se eliminar os insumos que estão sendo utilizados em excesso, o que equivale a produzir mais utilizando os mesmos insumos. Com relação ao problema de escala, investimentos na expansão da capacidade total das operações via tecnologia deveriam ser avaliadas, aumentando a produtividade dos fatores de produção.
Curitiba (PR)	Apesar de estar operando na escala ótima, existe ineficiência técnica. Isso significa que se pode reduzir o uso dos insumos e continuar produzindo a mesma quantidade. De maneira equivalente, a produção pode crescer utilizando-se os mesmos insumos. Eliminando as ineficiências técnicas, a DMU torna-se eficiente com retornos constantes

Figura 4 - Recomendação técnica para aumento de eficiência dos aeroportos, Brasil, 2006  
Fonte: Resultados da pesquisa.

Os dados dessa tabela refletem com mais clareza o prejuízo que os aeroportos ineficientes estão tendo ao utilizar de forma incorreta seus insumos. Em média, a quantidade transportada de Correio/Mala postal poderia ser 35.437% maior no aeroporto de Campinas e 59% em média nos demais aeroportos, ou seja, uma melhoria substancial. Com relação à Carga Aérea, os ganhos poderiam chegar a 67%.

O uso mais intensivo dos insumos teria consequência sobre o serviço. Por um lado, o aumento da escala de movimentação de cargas viabiliza diretamente a redução dos custos do serviço. Além do mais, a maior escala também viabiliza investimentos que poderiam resultar em maior responsividade, com a viabilização de despachos mais regulares, contratos com empresas aéreas comerciais e até mesmo vôos especializados em carga.

É preciso destacar que os ganhos obtidos, sejam na redução dos insumos ou no aumento da produção, referem-se às correções das ineficiências técnicas. Há que se considerar também os problemas de escala incorreta de produção. Esses problemas dificultam a expansão da empresa

no longo prazo, uma vez que a operação fora da escala ótima certamente fará com que os custos unitários da empresa sejam maiores.

Tabela 3 - Produtividade atual e aumentos possíveis em aeroportos tecnicamente eficientes, Brasil, 2006

Aeroporto	Principal Problema	Ganho possível (em %)	
		Y1	Y2
<b>A</b>	-	-	-
<b>B</b>	ESCALA	35.437	3
<b>C</b>	ESCALA	-	-
<b>D</b>	EFICIÊNCIA	43	188
<b>E</b>	-	-	-
<b>F</b>	-	-	-
<b>G</b>	EFICIÊNCIA	84	84
<b>H</b>	-	-	-
<b>I</b>	ESCALA	-	-
<b>J</b>	EFICIÊNCIA	268	268
<b>K</b>	EFICIÊNCIA	191	191

Fonte: Resultados da pesquisa.

Entretanto, deve-se considerar que a análise recai sobre os aeroportos de forma mais abrangente, ou seja, não se trata de uma análise técnica das suas instalações, mas de uma análise do ponto de vista funcional. Assim, mantendo os resultados nos limites do escopo deste trabalho, o que se propõe para que os problemas de ineficiência técnica sejam solucionados é o uso de novas tecnologias para aumentar a produtividade das instalações disponíveis, como instrumentos que propiciem o aumento da velocidade do transporte das cargas nos terminal, softwares de localização de cargas no armazém, softwares de organização espacial das cargas nas aeronaves, aumento da segurança de pousos e decolagens via instrumentos, ao invés de aumento do número de pistas, dentre outras ferramentas próprias para a gestão do transporte aéreo de cargas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar os maiores aeroportos brasileiros no que concerne o transporte de Carga Aérea e Correio/Mala Postal via aérea. Foi utilizada a técnica não-paramétrica de análise de eficiência conhecida como Análise Envoltória dos Dados (DEA), que permite quantificar o nível de eficiência relativa dos aeroportos analisados e propor alternativas para melhorar desempenho.

A identificação dos aeroportos mais eficientes como sendo Guarulhos, Salvador, Recife e Fortaleza pareceu refletir uma adequada e realista situação da economia brasileira. Implica as relações comerciais do estado de São Paulo com o Nordeste brasileiro, considerando-se a distância geográfica das regiões. Neste sentido, pode-se entender que tais aeroportos podem ser aqueles prioritários para receber investimentos de expansão de capacidade, haja vista o uso intensivo de sua capacidade. Além do mais, São Paulo também concentra expressivos volumes destinados à movimentação do comércio exterior do País.

Complementando este cenário, percebe-se que os demais aeroportos ainda são relativamente pouco utilizados para fins da logística das empresas. Em parte explicada pela alta eficiência do serviço rodoviário, extremamente capilar e de baixos custos pelos padrões internacionais, competindo intensamente com o serviço aéreo. Por outro lado, os fluxos em níveis bastante inferiores em rotas que não contemplam São Paulo como origem ou destino inviabilizam vôos regulares e mais freqüentes para muitos pontos do País, reduzindo as possibilidades de se contar efetivamente com esta opção logística.

Afora esta relação comercial, os resultados também demonstraram grandes oportunidades para a otimização da gestão operacional da infraestrutura aeroportuária brasileira. Embora considerando-se que a situação atual de utilização dos insumos e produção de serviço (mala postal e carga) possibilita crescimento do volume de operação de 27,9%, tal crescimento pode chegar a 67% se os insumos forem combinados da forma mais eficiente.

Além desta leitura dos resultados, foi possível detalhar as ineficiências encontradas. Os aeroportos de Manaus e Porto Alegre encontram-se nos maiores níveis de ociosidade da amostra, curiosamente, as referências de posicionamento geográfico extremo. Por sua vez, os aeroportos do Rio de Janeiro (Galeão) e de Brasília indicaram a necessidade de investimentos em tecnologia para aumentar a produtividade dos fatores atualmente utilizados. O aeroporto de Curitiba apresentou a situação de maior desperdício de recursos, ou seja, há excesso de capacidade para a movimentação ocorrida.

Por fim, os resultados do estudo sinalizam para a atuação mais normativa em nível de planejamento das autoridades brasileiras. A necessária desconcentração das operações de carga em Guarulhos, com uma interface desejável com os aeroportos de Campinas e Confins (Belo Horizonte-MG), demonstra-se bastante adequada. Esta pode ser uma estratégia para viabilizar a aplicação mais racional e bem distribuída dos recursos públicos, pela característica da governança interna feita pela INFRAERO, com impactos potenciais significativos no desenvolvimento regional, bem como uma busca de dotação de estratégias empresariais que contemplem o uso do espaço ocioso de aeroportos, tal como a postergação – a finalização do processo produtivo, com expedição de produtos mais próxima ao ponto de embarque.

Há que se reconhecer também algumas limitações do estudo. Dentre elas, a escolha das variáveis. Certamente, o número de equipamentos especializados na movimentação de cargas (correias transportadoras, tratores e pessoal, por exemplo) poderiam espelhar com mais fidelidade a efetiva operação de cargas nos aeroportos. Porém, tais informações não foram disponibilizadas.

Por outro lado, o recorte em “cargas” pode gerar resultados distorcidos. Os aeroportos brasileiros são tradicionais operadores de passageiros. As empresas aéreas, em sua maioria, apenas dispõem de capacidade de movimentação de cargas nos compartimentos dos vôos comerciais. A implicação, neste caso, do uso da variável “área para pousos e decolagens” certamente deixa de considerar eventual intensa movimentação de aeronaves exclusivamente destinadas à movimentação de passageiros, como nos casos extremos dos aeroportos de Congonhas (São Paulo) e Santos Dumont (Rio de Janeiro), não incluídos na amostra.

## Referências

- ALMEIDA, M. R.; MARIANO, E. B. & REBELATTO, D. A. R. Análise da eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros. **Produção on line**, Edição Especial, dezembro, 2007
- BANKER, R.D., CHARNES, H. & COOPER, W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, pp. 1078-1092, 1984.
- CARVALHO, A. A. R. Eficiência dos aeroportos brasileiros sob a perspectiva da metodologia DEA (*Data Envelopment Analysis*). 2002. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) – PG/EIA, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2002.
- CHARNES, A., COOPER, W.W. & RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, n. 2, p. 429-444, 1978.
- DUGONJÍC, V. Transportation: Benign influence or an antidote to regional inequality? **Papers of the Regional Science Association**, v. 66, pp. 61-76, 1989
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.
- INFRAERO, 2007. Apresenta informações sobre os aeroportos brasileiros. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php>>. Acesso em: 8 mar. 2007.
- LABEGALINI, L. & MARTINS, R. S. Transaction Costs and Logistics: The Case of the Brazilian Coastal Transport. In: ACUR, N.; ERKIP, N K. E GÜN, E. D. (Org.). **Operations managing in an expanding Europe**. Ankara: Editora da Universidade Bilkent, 2007.
- MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas, 1993.
- NANCI, L. S.; SENRA, L. F. A. C.; MELLO, J. C. C. B. S. & CALDAS, M. A. F. Avaliação da eficiência de operadores logísticos na distribuição domiciliar de jornais. **In: XVIII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES**, 2004, Florianópolis. **Anais do...**, Florianópolis, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2004.
- SACHAN, A. & DATTA, S. Review of supply chain management and logistics research. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 35, n. 9, pp. 664-705, 2005.
- SOARES DE MELLO, J.C.C.B., MEZA, L., GOMES, E.G., & BIONDI NETO, L. Curso de Análise de Envoltória de Dados. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL**, 37, 2005, Gramado. **Anais...**, Gramado: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2005. 1 CD-ROM.

**SIMPOI** 2008  
**ANAIS**

SOARES DE MELLO, J.C.C.B; MEZA, L., GOMES, E. G.; SERAPIÃO, B.P. & LINS, M. P. E. Análise envoltória de dados no estudo da eficiência e dos *benchmarks* para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, v. 23, n.2, pp. 325-345, 2003

THÉRY, H. O transporte aéreo no Brasil: asas da centralidade. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, ano 2, n. 3, pp. 19-29, 2003.

UFSC/ANTT. Universidade Federal de Santa Catarina/Agência Nacional de Transporte Terrestre. **Logística de transporte para produtos de alto valor agregado no contexto brasileiro**. Brasília, ANTT, 2003.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 2005.