

# UM ESTUDO DE CASO SOBRE DISTRIBUIÇÃO DE RECURSOS INTEIROS COM MODELOS BASEADOS EM DEA

**Eliane Gonçalves Gomes**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Parque Estação Biológica, Av. W3 Norte final, 70770-901, Brasília, DF  
[eliane.gomes@embrapa.br](mailto:eliane.gomes@embrapa.br)

**João Carlos Correia Baptista Soares de Mello**

Universidade Federal Fluminense – Departamento de Engenharia de Produção  
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 22210-240, Niterói, RJ  
[jcsmello@pesquisador.cnpq.br](mailto:jcsmello@pesquisador.cnpq.br)

## Resumo

Este artigo tem como objetivo usar modelos de produção baseados na Análise Envoltória de Dados (DEA) para alocar bolsas de iniciação científica aos centros de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. As unidades sob avaliação são os 37 centros de pesquisa da empresa. Como variáveis tem-se o quantitativo de bolsas e *proxies* para produção científica, complexidade dos projetos de pesquisa, importância da participação de bolsistas nos projetos de pesquisa e o potencial para supervisão dos bolsistas. São usados o modelo DEA com Ganhos de Soma Zero (DEA-GSZ) e o Algoritmo Seqüencial para Alocação de Recursos Discretos em DEA, em duas etapas consecutivas. Os resultados são comparados a um modelo anteriormente proposto que usava apenas o modelo DEA-GSZ nas duas etapas, e mostram-se superiores segundo o critério de eficiência média final.

**Palavras-Chaves:** Alocação de recursos; DEA; Ganhos de Soma Zero; Algoritmo Seqüencial.

## Abstract

In this paper we use Data Envelopment Analysis (DEA) based models to allocate scientific scholarships to the Brazilian Agricultural Research Corporation research centers. The decision making units are the corporation's 37 research centers. The variables are the number of scholarships, and the quantitative proxies for scientific production, complexity of research projects, importance of scholarships for research projects and the supervision capability. We use Zero Sum Gains DEA models (ZSG-DEA) and the Step-by-Step Procedure for Discrete Resources Allocation, in two consecutive phases. The results are compared to those obtained by a previous approach that used only the ZSG-DEA models in both phases. They are better if we choose the final average efficiency as a criterion.

**Keywords:** Resource allocation; DEA; Zero Sum Gains; Step-by-step Algorithm.

## 1. INTRODUÇÃO

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) é composta por unidades centrais, descentralizadas e de serviços. As unidades descentralizadas são os 37 Centros de Pesquisa, localizados em quase todos os estados brasileiros, nas mais diferentes condições ecológicas. Nesses centros, alunos de níveis de educacionais diversos são admitidos para realização de estágios. Para alunos do ensino superior, uma das formas de estágio é a iniciação científica, que tem como objetivo despertar e incentivar a vocação científica entre estudantes de graduação. Contribui, assim, para a formação de recursos humanos para a pesquisa. A remuneração dessa forma de estágio é por meio de bolsas de iniciação científica,

que têm como fonte recursos próprios e bolsas do PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica), concedidas pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). A alocação destas bolsas é feita por um comitê interno da empresa, encarregado de eleger critérios e metodologia que sirvam de base para essa alocação.

A seleção dos critérios de distribuição de cotas é feita com base nas características da Embrapa (forma de organização do trabalho de pesquisa na empresa; estímulo à interação entre os centros de pesquisa e as universidades de onde os bolsistas se originam; necessidade de tornar mais eqüitativa a disponibilidade de apoio técnico nos diferentes centros de pesquisa da empresa) e nas normas estabelecidas pelo CNPq para o julgamento e a distribuição de bolsas do PIBIC. Um critério subjacente ao método de distribuição é o de que devem ganhar mais bolsistas aos centros que melhor uso fazem deles. Dadas as características da empresa, melhor uso significa, principalmente, aumentar a produção científica.

Considerar diversos critérios para distribuir recursos de forma justa é uma das classes de problemas abordados pela Pesquisa Operacional. Nesse contexto, modelos de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) (COOPER et al., 2000) têm sido objeto de estudo na literatura, conforme apresentado, por exemplo, em Beasley (2001), Yan et al. (2002), Gomes (2003), Lins et al. (2003), Korhonen e Syrjänen (2004), Lozano e Villa (2004), Gomes et al. (2005, 2007).

Modelos DEA medem a eficiência de unidades produtivas. Essa medida de eficiência pode ser considerada como um índice de aproveitamento de recursos e, assim, pode ser usada como critério orientador para a alocação e realocação dos mesmos. Devem-se alocar mais recursos para as unidades que melhor fazem uso deles. Esse tipo de procedimento é de interesse especial quando há um controle central que deve alocar/relocar recursos escassos (ou restritos) às unidades constituintes (GOMES et al., 2007).

Diferentemente da abordagem de Gomes et al. (2007) que usou apenas o modelo DEA com Ganhos de Soma Zero (DEA-GSZ) (GOMES, 2003; LINS et al., 2003; GOMES et al., 2005; GOMES e LINS, 2007) para a alocação de bolsas de iniciação científica aos centros de pesquisa da Embrapa, neste artigo, além do modelo DEA-GSZ é usado o Algoritmo Seqüencial para Alocação de Recursos Discretos em DEA (SOARES DE MELLO et al., 2006), de forma consecutiva ao primeiro modelo. Uma abordagem híbrida, que explora as potencialidade destes dois modelos, foi proposta por Gomes e Soares de Mello (2007).

A abordagem aqui proposta é aplicada aos mesmos dados do estudo anterior: distribuição de bolsas de iniciação científica do PIBIC aos 37 centros de pesquisa da Embrapa. O modelo DEA formulado considera como variáveis o quantitativo de bolsas e *proxies* de produção científica, complexidade dos projetos de pesquisa, importância das bolsas e potencial para supervisão dos bolsistas.

Os resultados da proposta aqui apresentada mostraram-se melhores do ponto de vista de uma maior eficiência média final.

## 2. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Modelos DEA têm como objetivo medir a eficiência de unidades tomadoras de decisão, designadas por DMUs (*Decision Making Units*), na presença de múltiplos *inputs* e múltiplos *outputs*.

Os modelos DEA clássicos são o CCR e BCC. O primeiro, também conhecido por CRS ou *constant returns to scale*, trabalha com retornos constantes de escala (CHARNES et al., 1978). Esse modelo maximiza o quociente entre a combinação linear dos produtos e a combinação linear dos insumos, com a restrição de que para qualquer DMU esse quociente não pode ser maior que 1. O modelo BCC (BANKER et al., 1984), também chamado de VRS ou *variable returns to scale*, considera situações de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre insumos e produtos.

## 2.1. MODELOS DEA COM GANHOS DE SOMA ZERO (DEA-GSZ)

Modelos DEA-GSZ (GOMES, 2003; LINS et al., 2003; GOMES et al., 2005; GOMES e LINS, 2007) assumem a hipótese de dependência de produção ou de uso dos recursos. Isto significa que há limitação ao compartilhamento de recursos ou à quantidade total a ser produzida. É imposta uma restrição adicional aos modelos DEA clássicos, qual seja, a de que a soma de um certo recurso (ou produto) deve ser constante. Os modelos DEA-GSZ não fazem nenhum pressuposto sobre o formato da fronteira, ao contrário de outros modelos que consideram a mesma limitação de compartilhamento de recursos (AVELLAR et al., 2005, 2007).

Há a possibilidade de mais de uma DMU procurar maximizar a eficiência. No paradigma do DEA-GSZ, uma busca em cooperação significa que as DMUs deste grupo tentam retirar determinada quantidade de produto (ou dar insumo) apenas das DMUs não pertencentes ao grupo. No caso em que todas as DMUs ineficientes formam um único grupo de cooperação, a aplicação do modelo DEA-GSZ fará com que ocorra a redistribuição completa do insumo ou do produto de soma constante. Após essa redistribuição, todas as DMUs pertencerão à fronteira de eficiência, ou seja, a eficiência média global será 100%. Essa situação vai de encontro aos objetivos de uma administração central em relação aos recursos: promover maior eficiência no seu uso e ter suas unidades constituintes operando com máxima eficiência.

Para a construção da fronteira uniformizada de forma direta, em que as DMUs ineficientes formam um grupo de cooperação  $W$ , segundo o modelo DEA-GSZ CCR orientado a insumos, tem-se a equação (1), conforme Gomes (2003). Em (1),  $h_{Ri}$  e  $h_i$  são, respectivamente, as medidas de eficiência nos modelos DEA-GSZ CCR e DEA CCR clássico;  $W$  é o grupo de DMUs em cooperação;  $r_{ij} = h_i/h_j$  é o fator de proporcionalidade resultante do emprego da estratégia proporcional. Para os modelos DEA CCR orientado a produtos e DEA BCC em ambas as orientações são derivadas expressões análogas (GOMES, 2003).

$$h_{Ri} = h_i \left( 1 + \frac{\sum_{j \in W} [x_j (1 - r_{ij} h_{Ri})]}{\sum_{j \in W} x_j} \right) \quad (1)$$

## 2.2. ALGORITMO SEQUENCIAL PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS EM DEA

A maioria dos modelos encontrados fazem realocação de recursos já existentes e/ou não consideram a possibilidade de os recursos serem discretos. O modelo proposto por Soares de Mello et al. (2006) considera o compartilhamento de recursos discretos que ainda serão distribuídos. Os autores propuseram um Algoritmo Sequencial para Alocação de Recursos com base nas medidas de eficiência DEA. O algoritmo é dinâmico e calcula novas eficiências a cada passo.

No algoritmo proposto por Soares de Mello et al. (2006), os recursos são distribuídos a cada conjunto de DMUs eficientes, mas apenas uma unidade de recurso para cada DMU eficiente. Feita esta distribuição, supõe-se que os recursos já foram efetivamente distribuídos e calculam-se as novas DMUs eficientes, repetindo-se o algoritmo até a total distribuição. O objetivo deste passo é verificar qual seria o comportamento das DMUs se estas mantivessem a mesma produção, mas pudessem contar com os recursos distribuídos nesta etapa. Este é um algoritmo sequencial de distribuição de recursos discretos, que toma como base para a alocação as eficiências calculadas pelos modelos DEA.

No caso em que a quantidade de recursos a distribuir é inferior ao número de DMUs eficientes, os autores propõem que os recursos sejam alocados, em primeiro lugar, para as unidades eficientes que não foram contempladas nas etapas anteriores e, em seguida, para as

unidades eficientes com menor quantidade original do recurso (*input*) em questão. A primeira das regras é justificada pela decisão de fazer uma distribuição mais igualitária, e a segunda usa o princípio de que a mesma unidade de recurso é mais útil para uma unidade que tenha menos recursos do que para uma que tenha mais.

Este algoritmo pode ser extremamente moroso no caso em que haja poucas DMUs eficientes e grande quantidade de recursos a distribuir. Para contornar esta fragilidade, Gomes e Soares de Mello (2007) propuseram uma abordagem híbrida que faz uso de modelos DEA-GSZ como etapa de aceleração do Algoritmo Sequencial.

### 3. MODELAGEM

As unidades em avaliação são os centros de pesquisa da Embrapa, elegíveis para o recebimento de bolsas. Segundo o ponto de vista da empresa, para que um centro de pesquisa seja elegível para o recebimento de cotas de bolsas do PIBIC, os supervisores, além de serem detentores do título de doutor, devem ser líderes de projetos nos chamados Macroprogramas da Embrapa (GOMES et al., 2007). Todos os 37 centros possuem pesquisadores líderes de projetos dos Macroprogramas (MP) e, dessa forma, o modelo é composto por 37 DMUs.

Para a escolha das variáveis deve ser levado em conta que um centro de pesquisa que obtenha boa produção científica dos seus bolsistas deve ser melhor aquinhoadada do que uma em que os bolsistas fiquem relativamente ociosos. Como variável de recurso (*input*) do modelo DEA foi selecionado o número de cotas de bolsas de cada centro de pesquisa. Até o final de 2005, o total de bolsas do PIBIC na Embrapa era de 303. Foram concedidas em 2006 mais 25 bolsas, perfazendo um total de 328. A (re)distribuição destas bolsas foi feita em duas etapas, conforme adiante detalhado.

As variáveis de produto (*outputs*) são os critérios eleitos pelo comitê da empresa para distribuir as bolsas (GOMES et al., 2007). Foram selecionados quatro índices, que têm “sentido” de maximização. O primeiro mede a complexidade dos projetos de pesquisa dos MP. É um indicador ponderado que reflete as características específicas dos MPs quanto à estrutura de suas equipes e de seus arranjos. As ponderações foram aquelas eleitas pelo comitê interno, quais sejam, 10 para MP1, 5,38 para MP2, 0,77 para MP3 e 2,31 para MP6.

Como segundo *output* foi usado um indicador de produção científica da empresa. Esse indicador de produção é usado também nos modelos que avaliam o desempenho dos centros de pesquisa da Embrapa, como descrito em Souza et al. (1999, 2007). O índice agregado de produção é formado por 4 categorias: produção científica; publicações técnicas; desenvolvimento de tecnologias, produtos e processos; difusão de tecnologias e imagem. Na agregação dessas categorias são usados os pesos definidos em reuniões gerenciais da empresa.

O terceiro produto é o índice que mede a importância da participação de bolsistas nos projetos de pesquisa do centro. A percepção sobre este critério foi levantada por questionários junto aos centros de pesquisa da empresa, e mensurado em função dos projetos de cada centro. Foi usada uma escala 0-100, caracterizada pela Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa..

O quarto *output* é o índice que mede o potencial para supervisão dos bolsistas. Corresponde à soma dos doutores que estão disponíveis para fazer a supervisão de bolsistas PIBIC em todos os projetos. As observações foram normalizadas pela mediana da Embrapa.

A (re)distribuição das bolsas foi feita em duas etapas. Na primeira, foi rodado o modelo DEA-GSZ para realocar as 303 bolsas já existentes na empresa. O objetivo desta realocação é dar nova orientação à estrutura de distribuição de bolsas do PIBIC na empresa e fortalecer o papel destes colaboradores nos centros em que são realmente necessários. Dessa forma, esta etapa buscou corrigir alguns eventuais desvios decorrentes das distribuições feitas até 2005. Quando do recebimento das primeiras cotas do PIBIC, buscava-se contemplar com mais bolsas, centros de pesquisa das regiões Norte e Nordeste, por força das políticas de distribuição da Embrapa e do CNPq em vigência à época. Como, no atual momento, o

objetivo é contemplar com mais bolsas os centros que melhor podem fazer uso dos bolsistas, independente da região geográfica em que se localizem, as 303 bolsas já existentes na empresa foram realocadas, em uma tentativa de correção das eventuais distorções citadas. Nessa etapa, para iniciar o modelo, cada centro de pesquisa recebeu, de forma fictícia, o mesmo número de cotas (distribuição equitativa, uniforme), ou seja, o *input* de cada DMU equivale a  $303/37=8,1892$  cotas. Em consequência, alguns centros tiveram acréscimo, outros decréscimo e outros mantiveram a cota original. Como o resultado do modelo DEA-GSZ é fracionário e o número de bolsas é inteiro, o valor realocado foi arredondado para o inteiro mais próximo e a sobre foi alocada segundo o algoritmo seqüencial. Esta abordagem é baseada na proposta de Gomes e Soares de Mello (2007).

Na segunda etapa foram alocadas as 25 novas bolsas concedidas à empresa em 2006 somente aos centros que tiveram redução de sua cota na etapa anterior (diferença entre a alocação feita pela empresa e a alocação gerada pela Etapa 1). Essa distribuição das 25 novas bolsas às unidades com redução histórica de cotas do PIBIC teve o objetivo de minimizar o impacto da perda de bolsistas nestes centros de pesquisa, provocada pela redistribuição das 303 bolsas já existentes da Etapa 1, para correção de eventuais desvios já comentados. Nesta Etapa 2 foi usado o Algoritmo Seqüencial de Alocação de Recursos Discretos em DEA e o mesmo modelo da etapa anterior, composto por 1 *input* (bolsas) e 4 *outputs* (critérios de distribuição das bolsas). Entretanto, o valor do *input* usado foi aquele resultante da Etapa 1.

Ao considerar as bolsas alocadas na Etapa 1 como *input* inicial do modelo da Etapa 2, usa-se a filosofia do modelo seqüencial, qual seja, verificar o comportamento das DMUs se estas mantivessem o mesmo valor dos critérios de distribuição, mas pudessem contar com as novas bolsas distribuídas nesta etapa.

Foi selecionado o modelo DEA CCR, pois este é o modelo usado na avaliação de desempenho dos centros de pesquisa da empresa, com orientação a *inputs*, já que esta é a variável a realocar.

#### 4. RESULTADOS

A Tabela 1 traz os dados usados e os resultados da abordagem aqui proposta. As colunas A, B, C e D representam os *outputs* do modelo (índice de produção científica, índice de potencial de supervisão dos bolsistas, índice de importância dos bolsistas e índice de complexidade dos projetos, respectivamente). Como comentado anteriormente, os resultados do modelo DEA-GSZ foram aproximados para o inteiro mais próximo e a sobra foi alocada segundo o algoritmo seqüencial. Este é o valor apresentado na coluna E.

Ao calcular-se a diferença entre a distribuição atual das 303 bolsas e o resultado da Etapa 1, verificou-se que 12 unidades tiveram redução de suas cotas (DMU\_1, DMU\_3, DMU\_5, DMU\_9, DMU\_11, DMU\_13, DMU\_14, DMU\_22, DMU\_23, DMU\_25, DMU\_29, DMU\_34). As 25 novas cotas recebidas pela empresa foram alocadas na segunda etapa a estas 12 unidades com o Algoritmo Seqüencial, de modo a minimizar o impacto da redução de cotas de bolsas. Foram necessárias 4 iterações desse algoritmo para a distribuição completa das 25 bolsas. Os resultados desta etapa são os da coluna F.

A alocação final de bolsas às unidades é o somatório dos resultados das Etapas 1 e 2, conforme apresentado na Tabela 1, coluna G, além das respectivas medidas de eficiência com base nessa alocação (coluna H), calculadas com o *software* SIAD (ANGULO MEZA et al., 2005).

A distribuição de cotas descrita neste artigo apresentou eficiência média final superior à da abordagem anteriormente proposta por Gomes et al. (2007), que usou somente o modelo DEA-GSZ, também em duas fases, para a alocação das bolsas (0,9299 contra 0,8244).

Tabela 1: Dados e Resultados.

Unidade	A	B	C	D	E	F	G	H
	Prod. científica	Superv.	Import.	Complex.	Realocação Etapa 1	Alocação Etapa 2	Alocação final Etapas 1 e 2	Eficiência de (G)
DMU_1	3,24	14,29	100,00	100,00	11	14	14	1,0000
DMU_2	0,85	7,14	100,00	25,89	11	-	11	0,9697
DMU_3	1,06	14,29	75,00	33,10	8	9	9	0,8889
DMU_4	1,18	100,00	100,00	43,16	11	-	11	1,0000
DMU_5	1,10	14,29	100,00	30,21	11	12	12	0,8889
DMU_6	0,42	14,29	100,00	42,43	11	-	11	0,9697
DMU_7	1,56	14,29	56,25	2,16	6	-	6	1,0000
DMU_8	0,77	14,29	75,00	49,63	8	-	8	1,0000
DMU_9	0,56	10,71	50,00	32,37	5	8	8	0,6681
DMU_10	1,91	50,00	100,00	54,66	11	-	11	1,0000
DMU_11	1,23	14,29	50,00	29,49	5	9	9	0,6504
DMU_12	0,17	7,14	100,00	5,03	11	-	11	0,9697
DMU_13	1,06	7,14	50,00	35,99	5	7	7	0,8284
DMU_14	1,01	14,29	25,00	17,98	5	7	7	0,6609
DMU_15	1,29	25,00	100,00	45,33	11	-	11	0,9697
DMU_16	0,77	17,86	75,00	7,92	8	-	8	1,0000
DMU_17	1,08	14,29	75,00	41,00	8	-	8	1,0000
DMU_18	1,80	28,57	100,00	66,90	11	-	11	1,0000
DMU_19	1,15	14,29	100,00	33,09	11	-	11	0,9697
DMU_20	1,76	7,14	75,00	26,63	8	-	8	1,0000
DMU_21	0,96	14,29	75,00	15,82	8	-	8	1,0000
DMU_22	0,39	0,00	0,00	20,14	3	3	3	0,9397
DMU_23	0,86	14,29	37,50	46,04	6	9	9	0,7614
DMU_24	1,66	17,86	75,00	29,48	8	-	8	1,0000
DMU_25	0,26	14,29	87,50	12,24	10	11	11	0,8485
DMU_26	0,68	0,00	75,00	1,44	8	-	8	1,0000
DMU_27	1,19	7,14	100,00	1,44	11	-	11	0,9697
DMU_28	0,40	0,00	37,50	7,20	4	-	4	1,0000
DMU_29	0,58	17,86	50,00	5,03	5	9	9	0,5931
DMU_30	0,76	7,14	100,00	11,51	11	-	11	0,9697
DMU_31	0,79	14,29	75,00	17,99	8	-	8	1,0000
DMU_32	0,94	7,14	56,25	8,64	6	-	6	1,0000
DMU_33	0,70	21,43	75,00	16,54	8	-	8	1,0000
DMU_34	1,54	14,29	100,00	25,90	11	12	12	0,8889
DMU_35	0,84	14,29	75,00	25,18	8	-	8	1,0000
DMU_36	0,15	14,29	37,50	7,92	4	-	4	1,0000
DMU_37	1,21	21,43	75,00	12,96	8	-	8	1,0000
					303		328	0,9299

## 5. CONCLUSÕES

O uso de modelos DEA-GSZ mostrou-se bastante adequado à alocação de bolsas do PIBIC. Os resultados da abordagem proposta, de uso consecutivo do modelo DEA-GSZ e do Algoritmo Seqüencial para Alocação de Recursos Discretos em DEA, geraram uma eficiência média maior do que aquela obtida com os valores de cotas alocados pelo comitê interno da instituição e pela abordagem anterior que usava somente o modelo DEA-GSZ nas duas etapas. Deve-se notar ainda que o uso de uma alocação prévia com o modelo DEA-GSZ antes de aplicar o algoritmo seqüencial, evita a morosidade deste algoritmo.

O aumento de eficiência global alcançado pela distribuição proposta é de especial interesse para a administração central da empresa. A alocação de bolsas do PIBIC aqui

descrita permite o uso mais eficiente dos recursos, ou seja, permite identificar de forma ótima aos centros mais adaptadas para o processo de produção subjacente ao PIBIC.

## 6. AGRADECIMENTO

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G. ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.
- [2] AVELLAR, J.V.G.; MILIONI, A.Z.; RABELLO, T.N. Modelos DEA com variáveis limitadas ou soma constante. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 1, 135-150, 2005.
- [3] AVELLAR, J.V.G.; MILIONI, A.Z.; RABELLO, T.N. Spherical frontier DEA model based on a constant sum of inputs. **Journal of the Operational Research Society**, v. 58, n. 9, p. 1246-1251, 2007.
- [4] 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.
- [5] BEASLEY, J.E. Allocating fixed costs and resources via data envelopment analysis. **Technical Report**, The Management School, Imperial College, London, 2001.
- [6] 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.
- [7] COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [8] GOMES, E.G. **Modelos de Análise de Envoltória de Dados com Ganhos de Soma Zero**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- [9] GOMES, E.G.; LINS, M.P.E. Modelling undesirable outputs with zero sum gains data envelopment analysis models. **Journal of the Operational Research Society**, 2007 (forthcoming).
- [10] GOMES, E.G.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Uso conjunto de modelos DEA com ganhos de soma zero e algoritmo seqüencial para alocação de recursos discretos. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro : Abepro, 2007.
- [11] GOMES, E.G.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; LINS, M.P.E. Uniformização da fronteira eficiente em modelos de análise de envoltória de dados com ganhos de soma zero e retornos constantes de escala. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 2, p. 261-277, 2005.
- [12] GOMES, E.G.; SOUZA, G.S.; LIMA, S.M.V.; FONSECA, C.E.L. Alocação de bolsas de iniciação científica às unidades da Embrapa com modelos de Análise Envoltória de Dados com Ganhos de Soma Zero. **Engevista**, v. 9, p. 14-21, 2007
- [13] KORHONEN, P.; SYRJÄNEN, M. Resource allocation based on efficiency analysis. **Management Science**, v. 50, n. 8, p. 1134-1144, 2004.
- [14] LINS, M.P.E.; GOMES, E.G.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; SOARES DE MELLO, A.J.R. Olympic ranking based on a Zero Sum Gains DEA model. **European Journal of Operational Research**, v. 148, n. 2, p. 312-322, 2003.
- [15] LOZANO, S.N.; VILLA, G. Centralized resource allocation using data envelopment analysis. **Journal of Productivity Analysis**, v. 22, p. 143-161, 2004.

- [16] SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; LETA, F.R.; SOARES DE MELLO, M.H.C. Algoritmo de alocação de recursos discretos com análise de envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 2, p. 225-239, 2006.
- [17] SOUZA, G.S.; ALVES, E.; ÁVILA, A.F.D. Technical efficiency in agricultural research. **Scientometrics**, v. 46, p. 141-160, 1999.
- [18] SOUZA, G.S.; GOMES, E.G.; MAGALHÃES, M.C.; ÁVILA, A.F.D. Economic efficiency of Embrapa s research centers and the influence of contextual variables. **Pesquisa Operacional**, v. 27, p. 15-26, 2007.
- [19] YAN, H.; WEI, Q.; HAO, G. DEA models for resource reallocation and production input/output estimation. **European Journal of Operational Research**, v. 136, p. 19-31, 2002.