

ÍNDICE DE DESEMPENHO PARA AVALIAÇÃO DOS CENTROS DE PESQUISA DA EMBRAPA: UMA PROPOSTA COM ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Eliane Gonçalves Gomes

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Parque Estação Biológica, W3 Norte final, Asa Norte, 70770-901, Brasília, DF
eliane.gomes@embrapa.br

Geraldo da Silva e Souza

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Parque Estação Biológica, W3 Norte final, Asa Norte, 70770-901, Brasília, DF
geraldo.souza@embrapa.br

Resumo

Neste artigo são propostas alterações no modelo atual de avaliação que a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) realiza em seus centros de pesquisa. A primeira é a substituição do modelo DEA de eficiência técnica com retornos constantes à escala por um modelo DEA de eficiência econômica, com retornos variáveis à escala e restrições aos pesos. A segunda é em relação ao índice de desempenho usado, calculado neste artigo por um modelo DEA, usado como ferramenta multicritério.

Palavras-chave: DEA; Restrições aos pesos; Multicritério; Índice de desempenho; Pesquisa agropecuária.

Abstract

In this paper we propose two changes in the actual evaluation model used by the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa) to measure its research centers performance. The first one is to replace the constant returns to scale DEA model (technical efficiency) by variable returns to scale DEA model with weight restrictions, to measure economic efficiency. The other change relates to the performance indicator, measured in this paper with a DEA model, considered as it was a multicriteria one.

Keywords: DEA; Weights restrictions; Multicriteria; Performance indicator; Agricultural research.

1. INTRODUÇÃO

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desde 1996 monitora o processo de produção de seus 37 centros de pesquisa. Para tal, usa um modelo de produção com fronteira determinística do tipo DEA (*Data Envelopment Analysis*) que permite calcular a eficiência técnica de produção de cada um dos centros, conforme mostrado em Souza et al. (1997, 1999) e Souza e Ávila (2000). Os centros de pesquisa da Embrapa são genericamente classificados quanto ao tipo (centros de pesquisa de produtos; de temas básicos; de pesquisa agroflorestal ou agropecuária nas ecorregiões brasileiras) e ao tamanho (pequenos, médios e grandes, de acordo com a estrutura de custos que apresentam).

No modelo de produção da Embrapa, a eficiência técnica tem por base uma medida combinada de produto, definida como uma média ponderada de 28 indicadores adimensionais de produções marginais e três componentes de insumo, calculadas a partir de gastos com pessoal, custos de capital e outros custeios. Para essa medida de eficiência é usado um modelo DEA com retornos constantes à escala (Charnes et al., 1978) e orientação a *inputs*.

Os 28 indicadores de produção podem ser alocados em 4 categorias. A categoria de produção científica inclui a publicação de artigos em periódicos com referato, capítulos de livros e de artigos e resumos em anais de congressos e reuniões técnicas. A categoria de publicações técnicas agrupa as publicações produzidas nos centros de pesquisa, visando principalmente ao negócio agrícola e à produção agropecuária. Típico desta categoria são as instruções e recomendações técnicas que são publicações escritas em linguagem simplificada e dirigidas a extensionistas e fazendeiros. Tais publicações contêm recomendações técnicas com respeito a sistemas de produção agropecuária. Na categoria de desenvolvimento de tecnologias, produtos e processos, encontram-se as variáveis relacionadas ao esforço feito por uma unidade de pesquisa para tornar sua produção disponível para a sociedade na forma de um produto final, com por exemplo, a produção de novas cultivares e variedades de plantas. Finalmente, a categoria de difusão de tecnologias e imagem inclui variáveis relativas ao esforço de uma unidade em tornar seus produtos conhecidos pelo público e à divulgação de sua imagem.

A eficiência técnica é apenas um dos critérios que compõem o chamado Índice de Desempenho Institucional (IDI), que corresponde a uma média ponderada dos índices usados nos diversos tipos de aferição de desempenho, os quais avaliam o cumprimento das metas estabelecidas para o ano base. Esses índices são previstos no Sistema de Avaliação e Premiação por Resultados da Embrapa (SAPRE) e o IDI é usado no Sistema da Avaliação das Unidades (SAU) para medir o desempenho gerencial dos 37 centros de pesquisa (Ávila, 2002; Embrapa, 2004). Os pesos atribuídos a cada um dos critérios do IDI, são definidos pela Diretoria Executiva, e posteriormente negociados com as chefias das unidades, para cada ano base. Os critérios usados em cada ano da avaliação são igualmente decididos pela Diretoria da empresa e são dependentes das estratégias gerenciais anuais adotadas.

A importância do IDI vem do fato de que a distribuição de bônus por resultados (um dos objetivos do SAPRE) é função da contribuição de cada funcionário para a formação do IDI da respectiva Unidade de lotação, além da premiação em projeto ou ação gerencial de destaque nacional e local. Dessa forma, o desempenho em cada um dos componentes do IDI, bem como o seu algoritmo de cálculo, influenciam diretamente na premiação das unidades e de suas equipes.

Propõem-se e discutem-se neste artigo duas alternativas ao modelo atual de avaliação de desempenho. A primeira refere-se ao uso de uma medida mais geral de eficiência econômica que supõe uma tecnologia com retornos variáveis à escala (Banker et al., 1984) e que faz uso do custo total e de um produto multidimensional, caracterizado pela agregação das produções marginais nas quatro categorias de produção: produção científica; produção de publicações técnicas; difusão de tecnologia e imagem; desenvolvimento de tecnologias, produtos e processos.

A consideração de um produto múltiplo evita a definição *a priori* de um conjunto de pesos específicos das categorias nas quais as variáveis de produção estão inseridas (como o que é feito no modelo atual da empresa). Essencialmente, nesse contexto, deixa-se essa tarefa ao modelo de produção, mas para que sejam consideradas as diretrizes estratégicas da diretoria da empresa em relação à sua produção, são inseridas restrições aos pesos dos multiplicadores (Allen et al., 1997), que incorporam esses julgamentos subjetivos. A hipótese de retornos variáveis à escala impõe, ao processo de cálculo da eficiência econômica de cada centro de pesquisa, a restrição de que este só seja comparado com pares que mostrem aproximadamente a mesma escala de produção.

A segunda alternativa proposta é usar um modelo DEA com restrições aos pesos para o cálculo do IDI. Nesse modelo de *input* unitário (Lovell e Pastor, 1999; Soares de Mello e Gomes, 2004; Gomes e Souza, 2005), os *outputs* são os componentes do IDI que não foram alterados nos dois anos de avaliação considerados, 2002 e 2003 (já que os resultados de 2004 ainda não foram divulgados). As variáveis de *output* são eficiência econômica, melhoria de

processos administrativos, racionalização de custos, crescimento da produtividade, capacidade captação de recursos externos ao tesouro (receita própria) e intensidade de parcerias. Nessa proposta, DEA é usada como ferramenta multicritério (Farinaccio e Ostanello, 1999; Leta et al., 2005).

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. MODELOS DEA CLÁSSICOS

DEA tem como objetivo calcular a eficiência de unidades produtivas, chamadas de unidades de tomada de decisão ou DMUs (*Decision Making Units*), conhecendo-se os níveis de recursos utilizados e de resultados obtidos. DEA otimiza cada observação individual, de modo a estimar uma fronteira eficiente (linear por partes), composta das unidades que apresentam as melhores práticas dentro da amostra em avaliação (unidades Pareto-Koopmans eficientes). Essas unidades servem como referência ou *benchmark* para as unidades ineficientes.

A eficiência relativa de uma DMU é definida como a razão da soma ponderada de produtos pela soma ponderada de insumos necessários para gerá-los. Os pesos usados nas ponderações são obtidos de problemas de programação linear (PPLs), que atribuem a cada DMU os pesos que maximizam a sua eficiência. A vantagem de DEA frente a outros modelos de produção é a capacidade de incorporar múltiplos *inputs* (entradas, recursos, insumos ou fatores de produção) e múltiplos *outputs* (saídas ou produtos) para o cálculo de uma medida de eficiência única, com ou sem a incorporação de julgamentos subjetivos por parte dos decisores.

Há dois modelos DEA clássicos. O modelo CCR (também conhecido por CRS ou *constant returns to scale*) trabalha com retornos constantes à escala e assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. O modelo BCC ou VRS (*variable returns to scale*) considera retornos variáveis à escala, ou seja, substitui o axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade. Tradicionalmente são possíveis duas orientações radiais para esses modelos na busca da fronteira de eficiência: orientação a *inputs*, quando deseja-se minimizar os recursos disponíveis, sem alteração do nível de produção; orientação a *outputs*, quando o objetivo é aumentar as quantidades produzidas, sem mexer nas quantidades dos recursos usados.

Existem duas formulações equivalentes para DEA (PPLs duais). De forma simplificada, pode-se dizer que a formulação do Envelope define uma região viável de produção e trabalha com uma projeção de cada DMU na fronteira dessa região; as DMUs ineficientes localizam-se abaixo da fronteira de eficiência e as eficientes na fronteira. Já a formulação dos Multiplicadores trabalha com a razão de somas ponderadas de produtos e recursos, com a ponderação escolhida de forma mais favorável a cada DMU, respeitando-se determinadas condições.

Em (1) e em (2) apresentam-se, respectivamente, o modelo DEA BCC dos Multiplicadores e do Envelope, com orientação a *inputs*. Considera-se que cada DMU k , $k = 1 \dots n$, é uma unidade de produção que utiliza r *inputs* w_{ik} , $i = 1 \dots r$, para produzir s *outputs* y_{jk} , $j = 1 \dots s$; w_{io} e y_{jo} são os *inputs* e *outputs* da DMU o .

Em (1), v_i e u_j são os pesos calculados pelo modelo para *inputs* e *outputs*, respectivamente, e u_* é um fator de escala (quando positivo, indica que a DMU está em região de retornos decrescentes de escala; se negativo, os retornos de escala são crescentes; quando nulo, a região é de retornos constantes). Em (2), θ_o é a eficiência da DMU o em análise e λ_k representa a contribuição da DMU k na formação do alvo da DMU o . Os modelos DEA CCR são análogos, excluindo-se o fator de escala em (1) e a restrição de

convexidade, $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$, em (2).

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

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad \theta_o \\ & \text{sujeito a} \\ & \theta_o w_{io} - \sum_{k=1}^n w_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i \\ & - y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j \\ & \sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \\ & \lambda_k \geq 0, \forall k \end{aligned} \tag{2}$$

De forma não matemática, no modelo BCC uma DMU é eficiente se, na escala em que opera, é a que melhor aproveita os recursos de que dispõe (relação *outputs/inputs*). No modelo CCR, desconsidera-se a escala na medida de desempenho da unidade.

2.2. MODELOS DEA COM RESTRIÇÕES AOS PESOS

Os modelos DEA clássicos permitem total liberdade em relação à seleção dos pesos que darão o máximo valor de eficiência a uma dada DMU. Essa liberdade é importante na identificação das unidades ineficientes, ou seja, aquelas DMUs que apresentam um baixo desempenho inclusive com seu próprio conjunto de multiplicadores. A flexibilidade na escolha dos pesos é uma das vantagens apontadas à modelagem DEA. Entretanto, os pesos calculados podem ser inconsistentes com o conhecimento em relação aos valores relativos de *inputs* e *outputs*. Assim, a incorporação de julgamentos de valor no cálculo das eficiências surge como uma evolução natural das aplicações de DEA a problemas reais, ou seja, há a necessidade de introduzir condições além das de não negatividade.

Quando há preferências entre os *inputs* e/ou *outputs*, por parte dos agentes de decisão, esses julgamentos de valor são incorporados aos modelos DEA por meio de restrições aos pesos (ou multiplicadores) associados aos *inputs* e/ou aos *outputs* das unidades avaliadas. Allen et al. (1997) apresentam uma revisão da evolução da incorporação de julgamentos de valor através de restrições aos pesos.

Neste artigo, de modo a inserir os julgamentos subjetivos dos decisores sobre as diferenças de prioridade/importância entre os indicadores de produção e entre os indicadores que compõem o índice de desempenho aqui proposto, foram inseridas restrições do tipo Regiões de Segurança Tipo I (*Assurance Region Type I* – ARI), conforme definido em Thompson et al. (1990). Em (3) apresenta-se a formulação genérica do modelo CCR com as

restrições ARI impostas aos *outputs*, onde α_j e β_j são constantes especificadas pelo decisor e que refletem os julgamentos de valor sobre a importância relativa entre os *outputs* j e $j + 1$.

$$\begin{aligned} & \text{Max} \quad \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \\ & \text{sujeito a} \\ & \sum_{i=1}^r v_i w_{io} = 1 \\ & - \sum_{i=1}^r v_i w_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} \leq 0, \forall k \\ & \alpha_j \leq \frac{u_j}{u_{j+1}} \leq \beta_j \\ & u_j, v_i \geq 0, \forall j, i \\ & u_* \in \mathfrak{R} \end{aligned} \quad (3)$$

3. MODELAGEM E RESULTADOS

3.1. EFICIÊNCIA ECONÔMICA

O modelo atual de avaliação de eficiência usado pela Embrapa é um modelo DEA CCR, orientado a *inputs*, com 3 *inputs* (custos de pessoal, custeio e depreciação) e um *output* (índice de produção ponderado, com pesos definidos em reuniões gerenciais). Os 37 centros são divididos em três grupos, de acordo com suas estruturas de custos (o que justifica o uso do modelo CCR).

Em oposição a este modelo, neste artigo é usado um modelo DEA BCC, orientado a *inputs*, com 1 *input* (custo total, ou seja, soma dos três tipos de custo) e 4 *outputs* (classes de produção, a saber, produção técnico-científica - y_1 ; produção de publicações técnicas - y_2 ; desenvolvimento de tecnologias, produtos e processos - y_3 ; transferência de tecnologia e promoção da imagem - y_4). Ainda, os 37 centros de pesquisa, de tipos e tamanhos diferentes, são avaliados em um único grupo (o que justifica o uso do modelo BCC).

Para que fossem consideradas as informações sobre as diferenças de prioridade na produção dos centros de pesquisa, foram inseridas restrições aos pesos dos indicadores de *output*. Essas restrições, do tipo ARI, refletem os seguintes julgamentos de valor: $u_1 \geq u_4 \geq u_2 \geq u_3$.

A Tabela 1 traz os resultados de eficiência econômica do modelo BCC com restrições aos pesos, para os dois anos em análise. Todos os resultados dos modelos DEA deste artigo foram obtidos com uso do software SIAD (Angulo Meza et al., 2004). Dos 37 centros de pesquisa, 5 foram eficientes em ambos os anos: DMU_1 (centro de tamanho grande e do tipo temático), DMU_7 (centro temático pequeno), DMU_13 (centro de produto e de tamanho médio), DMU_19 (centro temático pequeno) e DMU_37 (centro temático pequeno). DMU_12 (centro temático médio) foi economicamente eficiente somente em 2003.

3.2. ÍNDICE DE DESEMPENHO COM BASE EM DEA

O IDI calculado pela Embrapa é um índice ponderado de indicadores usados em diferentes níveis de aferição de desempenho dos centros de pesquisa. Conforme mencionado anteriormente, tanto os indicadores quanto os fatores de ponderação são definidos pela Diretoria Executiva. Os pesos são ainda negociados com os chefes das unidades. Dessa forma, pode-se afirmar que o modelo usado para o cálculo do IDI é um modelo multicritério que usa

o método da soma ponderada, com pesos arbitrados pelos decisores (modelo linear aditivo), para calcular um critério único de síntese.

Tabela 1: Eficiência econômica, segundo o modelo DEA BCC com restrições aos pesos.

	2002	2003		2002	2003
DMU_1	1,0000	1,0000	DMU_20	0,4825	0,4572
DMU_2	0,7418	0,8586	DMU_21	0,2900	0,2512
DMU_3	0,5767	0,9103	DMU_22	0,4885	0,3979
DMU_4	0,6797	0,4345	DMU_23	0,3651	0,3260
DMU_5	0,5300	0,4581	DMU_24	0,3787	0,4137
DMU_6	0,5167	0,4464	DMU_25	0,6092	0,7488
DMU_7	1,0000	1,0000	DMU_26	0,5602	0,5496
DMU_8	0,7580	0,7486	DMU_27	0,5482	0,5610
DMU_9	0,3517	0,2901	DMU_28	0,3346	0,3337
DMU_10	0,6609	0,7748	DMU_29	0,4979	0,4421
DMU_11	0,4936	0,4978	DMU_30	0,6236	0,5533
DMU_12	0,4438	1,0000	DMU_31	0,5445	0,4916
DMU_13	1,0000	1,0000	DMU_32	0,4483	0,3710
DMU_14	0,5856	0,4978	DMU_33	0,3084	0,2653
DMU_15	0,3764	0,4322	DMU_34	0,5664	0,6456
DMU_16	0,3437	0,4099	DMU_35	0,6040	0,5498
DMU_17	0,3850	0,4039	DMU_36	0,6069	0,6750
DMU_18	0,6534	0,3612	DMU_37	1,0000	1,0000
DMU_19	1,0000	1,0000			

Acompanhando a evolução do sistema, verifica-se que o número de critérios têm aumentado ao longo dos anos. Por exemplo, em 1999 eram usados 4 critérios, desagregados em 10 subcritérios; em 2003 foram empregados na avaliação 7 critérios, divididos em 14 subcritérios. Essa evolução é função da estratégia que a empresa adota em cada ano base, o que provoca mudanças tanto nos critérios quanto nos pesos (mesmo para um critério que se mantenha de um ano para outro).

A atribuição de pesos como forma de representar a estrutura de preferências do decisor, apesar da suposta simplicidade, é uma tarefa para a qual muitos decisores não estão técnica nem psicologicamente preparados (Gomes et al., 2002). Por outro lado, uma vez dados os pesos, o decisor pode sentir-se alijado do processo de decisão, sendo-lhe apresentado um resultado final do qual pode julgar não ter participado. Na literatura do Apoio Multicritério à Decisão são encontrados alguns argumentos contra a utilização de pesos para deduzir e representar a informação de preferências do decisor (Steuer, 1986; Korhonen e Wallenius, 1989), em especial quando o número de critérios é elevado.

Uma maneira de contornar a dificuldade de arbitrar pesos é usar DEA. Dessa forma, além de ao decisor não ser imputada a tarefa de explicitar os pesos, a atribuição dos pesos é feita pelos PPLs de DEA de forma que melhor beneficie cada alternativa (DMU); em DEA os pesos são calculados de forma que cada DMU apresente o melhor índice de eficiência quando comparada com as demais. Além disso, é facultada a inserção do decisor neste processo, feita por meio da incorporação de restrições aos pesos, o que permite que seus julgamentos sejam, de alguma forma, considerados.

Nesse cenário, DEA é usada como uma abordagem multicritério, na qual os *inputs* são os critérios de minimização e os *outputs*, os de maximização. No caso aqui apresentado, pretende-se construir um índice de desempenho (“eficiência”), no qual os *outputs* são seis indicadores de desempenho do IDI: eficiência técnica; melhoria de processos administrativos; racionalização de custos; crescimento da produtividade; capacidade captação de recursos externos ao tesouro (receita própria) e intensidade de parcerias. Com exceção do indicador de crescimento da produtividade, cujo uso começou em 2000, os demais indicadores sempre fizeram parte do IDI desde sua proposição. Destaca-se ainda, que no modelo de índice de

desempenho aqui proposto, o indicador de eficiência técnica é substituído pelo índice de eficiência econômica, calculado segundo o modelo DEA BCC orientado a *inputs*, com restrições aos pesos, conforme apresentado no item 3.1.

Como esses *outputs* são indicadores que já incorporam os possíveis *inputs*, o modelo não deveria ter *inputs*, o que geraria impossibilidades matemáticas, conforme abordado em Lovell e Pastor (1999). Para contornar esta dificuldade, foi considerado um *input* único e unitário, em abordagem semelhante à usada por Gomes e Souza (2005), Leta et al. (2005) e Soares de Mello e Gomes (2004). Esse modelo é equivalente a um modelo multicritério aditivo, com a particularidade de que as próprias alternativas atribuem pesos a cada critério. Ou seja, as medidas de DEA não são usadas como medidas de eficiência clássica, mas sim como ferramenta multicritério, a qual gera um índice de síntese que agrega os diversos critérios.

No modelo aqui proposto, a atribuição de pesos em DEA, ao invés de ignorar qualquer opinião de um eventual decisor, segue as preferências indicadas pela Diretoria Executiva nos anos em análise. Ou seja, são inseridas restrições aos pesos do tipo ARI, que modelam as preferências do decisor: eficiência \geq receita própria \geq parcerias \geq produtividade \geq melhoria de processos \geq racionalização de custos.

A Tabela 2 resume os resultados do índice de desempenho, calculado segundo o modelo DEA CCR de *input* unitário e 6 *outputs*, e com as restrições aos pesos acima descritas.

Tabela 2: Índice de desempenho calculado com DEA.

	2002	2003		2002	2003
DMU_1	1,0000	1,0000	DMU_20	0,7453	0,5875
DMU_2	0,8267	0,9298	DMU_21	0,7130	0,6498
DMU_3	0,6351	0,9369	DMU_22	0,8086	0,6175
DMU_4	0,8235	0,6383	DMU_23	0,6080	0,3299
DMU_5	0,5300	0,4608	DMU_24	0,5690	0,4137
DMU_6	0,6775	0,4464	DMU_25	0,7248	0,7488
DMU_7	1,0000	1,0000	DMU_26	0,7729	0,5733
DMU_8	0,7757	0,7486	DMU_27	0,6130	0,5729
DMU_9	0,6966	0,4989	DMU_28	0,6854	0,5885
DMU_10	1,0000	0,8173	DMU_29	0,8965	0,5268
DMU_11	0,7167	0,5556	DMU_30	0,6483	0,6831
DMU_12	0,6074	1,0000	DMU_31	0,7133	0,5318
DMU_13	1,0000	1,0000	DMU_32	0,6675	0,4885
DMU_14	0,6389	0,6611	DMU_33	0,5703	0,5179
DMU_15	0,6102	0,6606	DMU_34	1,0000	0,8269
DMU_16	0,8110	0,4955	DMU_35	0,6613	0,5498
DMU_17	1,0000	0,9656	DMU_36	0,7248	0,6750
DMU_18	0,7284	0,8785	DMU_37	1,0000	1,0000
DMU_19	1,0000	1,0000			

Dos 37 centros de pesquisa, 5 foram eficientes em ambos os anos: DMU_1 (centro de tamanho grande e do tipo temático), DMU_7 (centro temático pequeno), DMU_13 (centro de produto e de tamanho médio), DMU_19 (centro temático pequeno) e DMU_37 (centro temático pequeno). DMU_10 (centro de produto de tamanho grande), DMU_17 (centro de produto grande), DMU_34 (centro de produto de médio) foram eficientes somente em 2002 e DMU_12 (centro temático médio) somente em 2003.

4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A fim de avaliar estatisticamente os efeitos de tamanho e tipo de centro nas medidas de eficiência e de desempenho, foram considerados dois modelos estatísticos. Para a

eficiência econômica postulou-se a especificação apresentada em (4).

$$\log(\theta_{kt}) = \beta_0 + \beta_1 \log(\delta_{k(t-1)}) + \beta_2 \text{tema}_k + \beta_3 \text{prod}_k + \beta_4 \text{med}_k + \beta_5 \text{gran}_k + \varepsilon_k \quad (4)$$

Em (4), θ_{kt} é eficiência econômica da DMU k no período sob análise $t = 2003$; $\delta_{k(t-1)}$ é o índice de desempenho (IDI) da unidade k no período anterior; *tema*, *prod*, *med* e *gran* são as variáveis indicadoras dos centros temáticos, de produto, médios e grandes, respectivamente. Para o IDI postulou-se a expressão (5).

$$\log(\delta_{kt}) = \alpha_0 + \alpha_1 \log(\delta_{k(t-1)}) + \alpha_2 \log(\theta_{k(t-1)}) + \alpha_3 \text{tema}_k + \alpha_4 \text{prod}_k + \alpha_5 \text{med}_k + \alpha_6 \text{gran}_k + \eta_k \quad (5)$$

Os resultados do exercício de inferência estatística levado a efeito são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

A Tabela 3 mostra o ajuste da equação de eficiência pelo método de mínimos quadrados ordinários. Para este ajuste, $R^2 = 59\%$ e não há indicação de correlação residual significativa induzida pelo cálculo da eficiência. Os centros temáticos são significativamente ($<1\%$) os mais eficientes. Os centros médios e grandes, na média, apresentam eficiência equivalente. Os centros médios não diferem significativamente dos pequenos, e os grandes têm eficiência significativamente (2%) menor do que os pequenos. Os testes estatísticos aqui não obedecem à lei da transitividade. O efeito conjunto dos níveis de tamanho é apenas marginalmente significativo (7%).

A Tabela 4 mostra o ajuste da equação do IDI com o uso de estimação M, com o estimador de Huber (Souza, 1998). A presença de observações influentes nesta instância exigiu o uso de métodos robustos. A medida robusta de R^2 vale 57%. Também neste caso, não há evidência de influência da correlação serial induzida pelo cálculo do IDI. Os centros temáticos apresentam IDI significativamente melhores na média (1,7%).

Dessa forma, os resultados estatísticos suportam os resultados descritivos apresentados nas seções anteriores.

Tabela 3: Resultados do método de mínimos quadrados ordinários para análise da medida de eficiência.

Variável	GL	Estimativa	Desvio padrão	Valor t	Pr > t
intercepto	1	0,40675	0,13865	2,93	0,0063
y_3	1	0,86317	0,27957	3,09	0,0042
<i>tema</i>	1	-0,53415	0,13428	-3,98	0,0004
<i>prod</i>	1	-0,14058	0,12990	-1,08	0,2875
<i>med</i>	1	0,17237	0,12205	1,41	0,1678
<i>gran</i>	1	0,31696	0,13360	2,37	0,0241

Tabela 4: Estimação M para análise do índice de desempenho.

Variável	GL	Estimativa	Desvio padrão	Limites de confiança a 95%		χ^2	Pr > χ^2
intercepto	1	0,1882	0,1136	-0,0345	0,4109	2,74	0,0977
y_1	1	0,3116	0,1530	0,0117	0,6115	4,15	0,0417
y_3	1	0,5819	0,2449	0,1019	10,618	5,65	0,0175
<i>tema</i>	1	-0,1929	0,1106	-0,4095	0,0238	3,04	0,0811
<i>prod</i>	1	-0,0195	0,0982	-0,2119	0,1729	0,04	0,8425
<i>med</i>	1	-0,0962	0,0948	-0,2820	0,0896	1,03	0,3103
<i>gran</i>	1	-0,1459	0,1078	-0,3571	0,0654	1,83	0,1759
<i>escala</i>	1	0,1821	-	-	-	-	-

5. CONCLUSÕES

Os modelos de medida de eficiência e avaliação de desempenho dos centros de pesquisa da Embrapa propostos neste artigo mostram-se mais abrangentes que os atualmente

usados pela empresa. A medida de eficiência econômica que supõe retornos variáveis à escala é mais geral, e permite a inserção das diretrizes da empresa pelas restrições aos pesos dos indicadores de produção. Essa modelagem evita a definição *a priori* de um conjunto de pesos específicos para essas categorias, tarefa freqüentemente não trivial.

O uso de um modelo DEA com restrições aos pesos para o cálculo de um índice de desempenho que agregue diferentes resultados dos centros de pesquisa é igualmente uma abordagem interessante, por gerar um índice relativo, que incorporou, no caso aqui modelado, igualmente restrições aos pesos dos critérios considerados. Essas restrições simbolizam direcionamentos estratégicos da diretoria da empresa em relação à gestão de seus centros de pesquisa.

A análise estatística que avaliou os efeitos do tipo e do tamanho dos centros tanto na medida de eficiência quanto no índice de desempenho mostra-se de importância destacada, por permitir identificar o perfil de centros de melhor desempenho: centros temáticos, de tamanho médio e pequeno.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALLEN, R.; ATHANASSOPOULOS, A.; DYSON, R.G.; THANASSOULIS, E. Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. **Annals of Operations Research**, n. 73, p. 13–34, 1997.
- [2] ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELO, 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 - CLAIO, 2004, La Habana, Cuba. **Memorias...**, 2004.
- [3] ÁVILA, A.F.D. **Avaliação de desempenho das unidades da Embrapa**: metodologia para 2002. Embrapa - Secretaria de Administração Estratégica, Brasília, Agosto, 2002.
- [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] BELTON, V.; STEWART, T.J. DEA and MCDA: competing or complementary approaches? **Working Paper**. Glasgow: University of Strathclyde, Scotland, 1997.
- [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] EMBRAPA. **Avaliação de desempenho das unidades da Embrapa**: metodologia para 2003. Embrapa - Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasília, Maio, 2004.
- [8] FARINACCIO, F.; OSTANELLO, A. Evaluation of DEA validity as a MCDA/M tool: some problems and issues. **Technical Report TR-99-06**. Pisa: Università di Pisa, Italia, 1999.
- [9] GOMES, E.G., SOUZA, G.S. Avaliação de ensaios experimentais com o uso da análise de envoltória de dados: uma aplicação a consórcios. In: 11º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica e 50ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. Londrina, Julho. **Anais...**, 2005.
- [10] GOMES, E.G.; LINS, M.P.E.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Seleção do melhor município: integração SIG-Multicritério. **Investigação Operacional**, v. 22, n. 1, p.59-85, 2002.

- [11] KORHONEN, P.; WALLENIUS, J. A careful look at efficiency and utility in multiple criteria decision making: a tutorial. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, n. 6, p. 46-62, 1989.
- [12] LETA, F.R.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; ANGULO-MEZA, L. Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. **Investigação Operacional**, v. 25, 2005.
- [13] LOVELL, C.A.K.; PASTOR, J.T. Radial DEA models without inputs or without outputs. **European Journal of Operational Research**, v. 118, n. 1, p. 46-51, 1999.
- [14] SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G. Eficiências aeroportuárias: uma abordagem comparativa com análise de envoltória de dados. **Revista de Economia e Administração**, v. 3, n. 1, p. 15-23, 2004.
- [15] SOUZA, G.S. **Introdução aos Modelos de Regressão Linear e Não-Linear**. Serviço de Produção de Informação, Embrapa, Brasília, 1998.
- [16] SOUZA, G.S.; ALVES, E.; ÁVILA, A.F.D. Technical efficiency in agricultural research. **Scientometrics**, v. 46, p. 141-160, 1999.
- [17] SOUZA, G.S.; ALVES, E.; ÁVILA, A.F.D.; CRUZ, E.R. Produtividade e eficiência relativa de produção em sistemas de produção de pesquisa agropecuária. **Revista Brasileira de Economia**, v. 51, n. 3, p. 281-307, 1997.
- [18] SOUZA, G.S.; ÁVILA, A.F.D. A psicometria linear da escalagem ordinal: uma aplicação na caracterização da importância relativa de atividades de produção em ciência e tecnologia. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 3, p. 11-27, 2000.
- [19] STEUER, R.E. **Multiple Criteria Optimization: theory, computation and application**. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- [20] THOMPSON, R.G.; LANGEMEIER, L.N.; LEE, C.T.; LEE, E.; THRALL, R.M. The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming. **Journal of Econometrics**, v. 46, n. 1,2, p. 93-108, 1990.