

# **Medidas de eficiência probabilísticas na avaliação de covariáveis em modelos de produção**

**Geraldo da Silva e Souza**

**Eliane Gonçalves Gomes**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) – SGE  
Parque Estação Biológica, Av. W3 Norte final, 70770-901, Brasília, DF

geraldo.souza@embrapa.br

eliane.gomes@embrapa.br

**Roberta Blass Staub**

Banco Central do Brasil

Setor Bancário Sul, Quadra 3, Bloco B, 9º andar, Ed. Sede do BACEN, 70074-900,  
Brasília, DF

roberta.blass@bcb.gov.br

## **Resumo**

De importância para a gerência de uma instituição de pesquisa é a identificação de práticas gerenciais que influenciam a eficiência de produção. Neste artigo avalia-se a significância estatística das variáveis contextuais geração de recursos externos para pesquisa, nível de parcerias, melhoria de processos administrativos e mudança gerencial em uma medida de eficiência técnica condicional derivada do FDH (*Free Disposal Hull*). É calculada para o painel dos centros de pesquisa da Embrapa no período 1999-2006. A análise estatística é levada a efeito com o uso de modelos de painel dinâmico não-paramétricos. Conclui-se da análise que as variáveis nível de parceria e melhoria de processos influenciam positivamente o processo de produção; geração de recursos e a mudança administrativa têm efeitos negativos. A única variável estatisticamente significativa é a geração de recursos. A componente inercial da medida de eficiência condicional também é estatisticamente significativa e positiva.

**Palavras-Chave:** FDH; Variáveis contextuais; Pesquisa Agropecuária.

## Abstract

In a research institution it's important to identify which management practices have influence on its production efficiency. In this paper we evaluate the statistical significance of the contextual variables financial resources acquisition, partnerships, processes improvement and management changes to a conditional FDH (Free Disposal Hull) efficiency measurement. This measurement was computed for the panel of Embrapa's research centers in the period 1999-2006. The statistical analysis was carried out using dynamic panel data non-parametric models. We concluded that partnerships and processes improvement have positive influence in the production process. Resources and management changes have negative effects. Resources acquisition was the only variable with statistical significance. The inertial component of the conditional efficiency measurement is also statistically significant and positive.

**Key-Words:** FDH; Contextual Variables; Agricultural Research.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde 1996 a Embrapa faz uso de um sistema de acompanhamento de sua produção de pesquisa, que tem por objetivo medir a eficiência técnica desse processo. O interesse da análise concentra-se na identificação, por um lado, de centros de pesquisa eficientes que possam servir de *benchmarks* e, por outro, de fatores associados ao processo de produção que causem ou estejam associados à eficiência técnica. A identificação de *benchmarks* resulta da análise da distribuição das medidas de eficiência e, nesse sentido, é mais direta. A identificação de fatores causais de eficiência é mais delicada e exige modelagem estatística adequada.

No universo Embrapa de produção calculam-se medidas DEA sob retornos constantes à escala. Recentemente, Souza (2006) e Souza et al. (2007) avaliaram a influência de variáveis contextuais na medida de eficiência técnica DEA, utilizando métodos de análise de variância, painel dinâmico e máxima verossimilhança. Um dos

problemas de modelagem associados à técnica DEA tem a ver com a definição apropriada de um mecanismo gerador de dados que viabilize a análise estatística. Tipicamente, com a avaliação da eficiência de produção medida via métodos de programação linear, a análise dos efeitos de variáveis contextuais é feita em dois estágios. Primeiramente, obtém-se as medidas de ineficiência do tipo DEA. Ulteriormente, procede-se à análise estatística dessas medidas via modelos de regressão. A abordagem é conhecida como DEA em dois estágios e tem sido criticada na literatura, embora existam situações onde o procedimento coincide com práticas tradicionais. Por exemplo, a análise em dois estágios em problemas de Análise de Variância com insumo unitário conduzem às estatísticas F e t usuais para avaliação dos efeitos de interesse.

Os principais problemas na abordagem DEA em dois estágios são apontados por Simar e Wilson (2007). Dizem respeito à correlação entre as unidades produtoras e à possível associação das variáveis contextuais com a medida de erro. Como solução, sob certas condições de regularidade, sugerem o uso do *bootstrap* viés corrigido na avaliação das covariáveis. Souza e Staub (2007) e Banker e Natarajan (2004, 2008) validam o procedimento em dois estágios, assintoticamente, assumindo independência entre resíduos, variáveis de insumos e variáveis contextuais. Banker e Natarajan (2008) também mostram que é possível especificar o modelo de produção DEA (determinístico) no caso univariado, de tal modo que a formulação estocástica da fronteira com resposta DEA é capturada sob as condições estudadas em Banker (1993) e Souza e Staub (2007). Dessa forma, é possível a análise estatística das medidas DEA via o método de máxima verossimilhança.

Na procura de um mecanismo mais adequado de geração de dados de produção e de avaliação da fronteira do ponto de vista da influência de variáveis contextuais, Daraio e Simar (2007) estendem a noção do FDH de Deprins et al. (1984), de modo a obter uma medida condicional de eficiência técnica não paramétrica, que permite investigar os efeitos das variáveis contextuais no processo de produção. Aqui faz-se uso dessa medida para investigar os efeitos de algumas variáveis contextuais no processo de produção da Embrapa. A idéia é explorar a interpretação probabilística do FDH condicional para, em um esquema em dois estágios, avaliar a significância estatística das covariáveis.

A abordagem aqui proposta procede como segue. Na Seção 2 apresentam-se as medidas FDH e FDH condicional, e a transformação dessas medidas que vai funcionar na avaliação estatística das variáveis contextuais. Apresenta-se também o modelo de

painel dinâmico subjacente à avaliação estatística. A Seção 3 apresenta o modelo de produção da Embrapa. Na Seção 4 discutem-se os resultados encontrados para o sistema de produção da Embrapa. Finalmente, na Seção 5 apresentam-se as considerações finais.

## 2. MEDIDAS FDH E FDH CONDICIONAL

Como acentuam Daraio e Simar (2007), a medida de eficiência FDH, proposta na literatura por Deprins et al. (1984), generaliza o DEA para tecnologias não convexas que exibem apenas disponibilidade plena no conjunto de produção. Sob hipóteses de convexidade, as duas abordagens produzem medidas consistentes do mesmo parâmetro populacional, embora a convergência do DEA seja mais rápida.

Considerem-se as observações de produção  $(x_j, y_j)$ ,  $j = 1 \dots n$ , de  $n$  unidades produtoras. Assume-se que  $x_j$  é um vetor de insumos em  $R^p$  com componentes não negativas e pelo menos uma estritamente positiva;  $y_j$  é um vetor de produtos em  $R^l$  com componentes não negativas e pelo menos uma estritamente positiva. A medida de eficiência FDH de uma unidade produtora  $\tau$  é medida relativamente à fronteira de disponibilidade plena (*Free Disposal Hull*) do conjunto (1).

$$\psi = \left\{ (x, y) \in R_+^{p+l}, y \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j, x \geq \sum_{j=1}^n \gamma_j x_j, \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1, \gamma_j \in \{0,1\}, j = 1 \dots n \right\} \quad (1)$$

A medida FDH de  $\tau$  orientada para insumos vem dada por (2) e a medida orientada para produtos vem dada por (3). Neste artigo a orientação escolhida foi para insumos.

$$\hat{\theta}(x_\tau, y_\tau) = \text{Min} \left\{ \theta; y_\tau \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j, \theta x_\tau \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j x_j, \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1, \gamma_j \in \{0,1\} \right\} \quad (2)$$

$$\hat{\lambda}(x_\tau, y_\tau) = \text{Max} \left\{ \lambda; \lambda y_\tau \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j, x_\tau \geq \sum_{j=1}^n \gamma_j x_j, \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1, \gamma_j \in \{0,1\} \right\} \quad (3)$$

Demonstra-se que  $\hat{\theta}(x_\tau, y_\tau) = \text{Min}_{j=1\dots n} \left\{ \text{Max}_{i=1\dots p} \left\{ \frac{x_j^i}{x_\tau^i} \right\} \right\}$  e que

$$\hat{\lambda}(x_\tau, y_\tau) = \text{Max}_{j=1\dots n} \left\{ \text{Min}_{i=1\dots l} \left\{ \frac{y_j^i}{y_\tau^i} \right\} \right\}.$$

Uma interpretação muito interessante da medida FDH aparece quando o processo de produção é descrito por uma medida probabilística produto, definida pelas variáveis aleatórias  $(X, Y)$ , em  $R_+^{p+l}$ . Tem-se interesse aqui na probabilidade de dominância apresentada em (4).

$$H(x, y) = \text{Prob}(X \leq x, Y \geq y) = \text{Prob}(X \leq x | Y \geq y) \text{Prob}(Y \geq y) \quad (4)$$

Denote-se por  $F(x|y) = \text{Prob}(X \leq x | Y \geq y)$ . Com base nesta ordem de idéias, a medida de eficiência técnica orientada para insumos é dada por (5) (Daraio e Simar, 2007).

$$\theta(x, y) = \inf \{ \theta; H(\theta x, y) > 0 \} = \inf \{ \theta; F(\theta x | y) > 0 \} \quad (5)$$

A versão empírica de  $\theta(x, y)$  vem dada por (6), onde  $I(\cdot)$  denota uma função indicadora. Esta medida, para as unidades produtoras, é precisamente o FDH relativamente ao conjunto  $\psi$ . Argumento análogo pode ser desenvolvido com a orientação a produtos.

$$\hat{\theta}(x, y) = \frac{\sum_{j=1}^n I(X_j \leq x, Y_j \geq y)}{\sum_{j=1}^n I(Y_j \geq y)} \quad (6)$$

Considere-se agora a inclusão de um terceiro componente no processo de produção, definido pelo vetor de variáveis aleatórias contextuais  $Z$  com valores em  $R^k$ . A idéia básica é de que a distribuição condicional de  $(X, Y)$  dado que  $Z = z$ , define o processo de produção. Neste caso tem-se a medida FDH de eficiência técnica condicional a  $Z = z$  mostrada em (7), que é estimada por (8), quando  $Z$  é do tipo

absolutamente contínuo. Em (8),  $K(\cdot)$  é um núcleo simétrico, não normal, concentrado em  $[-1,1]^k$  e  $h$  é a janela correspondente.

$$\hat{\theta}(x, y|z) = \inf \{ \theta; H(\theta x, y|z) > 0 \} = \inf \{ \theta; F(\theta x|y, z) > 0 \} \quad (7)$$

$$\hat{\theta}(x, y|z) = \frac{\sum_{j=1}^n I(X_j \leq x, Y_j \geq y) K((z - z_j)/h)}{\sum_{j=1}^n I(Y_j \geq y) K((z - z_j)/h)} \quad (8)$$

Na aplicação aqui em estudo tomou-se como núcleo conjunto o produto de núcleos univariados de Epanechnikov (Silverman, 1986). A janela foi escolhida minimizando o erro médio quadrático integrado aproximado (Silverman, 1986). Demonstra-se que  $\hat{\theta}(x, y|z) = \text{Min}_{\{j|y_j \geq y, |z_j - z| \leq h\}} \{ \text{Max}_{i=1 \dots p} \{ x_j^i / x^i \} \}$ .

Deste modo, o cálculo da medida de eficiência técnica condicional só depende do núcleo através de  $h$ .

Para a análise da influência de  $Z$  no processo de produção, Daraio e Simar (2007) sugerem a análise estatística não paramétrica nas observações do quociente (9).

$$q(z_j) = \frac{\hat{\theta}(x_j, y_j|z_j)}{\hat{\theta}(x_j, y_j)} \quad (9)$$

Uma variante desta abordagem é adotada aqui para um painel balanceado de observações temporais de produção  $(x_{jt}, y_{jt}, z_{jt})$ ,  $j=1 \dots n$ ,  $t=1 \dots T$ . Como aqui  $T$  é pequeno em relação a  $n$ , propõe-se o uso do modelo de Arellano e Bond (1991), conforme (10).

$$R(q(z_{jt})) = c + \alpha R(q(z_{jt-1})) + \sum_{f=1}^k \beta_f R(z_{jt}^f) + v_j + \varepsilon_{jt} \quad (10)$$

A transformação  $R(\cdot)$  denota o posto do argumento medido dentro de cada ano;  $\alpha$  e  $\beta_f$  são parâmetros desconhecidos;  $v_j$  são efeitos aleatórios específicos da

painel;  $\varepsilon_{jt}$  são variáveis aleatórias *iid* (resíduos) com variância comum  $\sigma_\varepsilon^2$ . A análise estatística, via o Método de Momentos Generalizados, é robusta à presença de correlação serial de primeira ordem na estrutura residual. A utilização de postos empresta propriedades não paramétricas ao modelo (Connover, 1998).

### **3. MODELO DE PRODUÇÃO DA EMBRAPA**

As variáveis de produção monitoradas no sistema de produção de pesquisa da Embrapa considera como medida de produto univariada ( $y$ ) uma média ponderada de 28 indicadores adimensionais de produção e como insumos um vetor  $(x^1, x^2, x^3)$  de dimensão 3, formado por indicadores adimensionais de capital, trabalho e custeio. Para o período 1999-2006, estão disponíveis indicadores de produção para cada um dos 37 centros de pesquisa que compreendem o universo de atuação da Embrapa. As variáveis de produção de interesse envolvem atributos nas categorias produção técnico-científica, produção de publicações técnicas, desenvolvimento de tecnologias, produtos e processos, transferência de tecnologia e promoção de imagem. O sistema de pesos utilizado é complexo. Não é objetivo discutir aqui os detalhes da obtenção das variáveis do processo de produção. Uma discussão detalhada e literatura específica sobre os métodos utilizados pode ser vista em Souza et al. (2007).

A Embrapa monitora o seu sistema de produção de pesquisa desde 1996 com o cálculo de medidas de eficiência e produtividade, as quais são utilizadas com vários objetivos gerenciais. É de interesse gerencial detectar atributos controláveis pela instituição que estejam associados ou que causem as melhores práticas observadas de eficiência técnica, e variáveis contextuais que potencialmente possam inibir a integração das unidades na produção de pesquisa. Neste último enfoque, muito tem-se discutido no âmbito da instituição sobre os efeitos do nível de parcerias entre instituições no processo de determinação da eficiência técnica. Uma correlação negativa seria indicativa de competição excessiva entre os centros de pesquisa, com implicações indesejáveis no contexto do conjunto de objetivos e metas estabelecido pelo planejamento estratégico da Embrapa.

Várias tentativas foram realizadas na Embrapa para avaliar os efeitos de variáveis contextuais para a fronteira de produção de pesquisa. Vale citar os trabalhos de Souza et al. (1999), que se concentra na avaliação dos efeitos de tipo de centro, e de

Souza (2006) e Souza et al. (2007), que avaliam os efeitos, sob óticas e períodos distintos, das variáveis racionalização de custos, melhoria de processos, nível de parcerias, tipo e tamanho. Essas análises fazem uso de respostas do tipo DEA em modelos de dois estágios e do ajuste da variável de produção  $y$  em modelos que postulam a existência de uma fronteira estocástica.

Os problemas potencialmente embebidos nessas análises dizem respeito às críticas ao procedimento em dois estágios e à aparente falta de representatividade dos modelos de fronteira estocástica, pela ausência de um sistema de preços adequado e pela especificação paramétrica não flexível da função de produção. Na proposta aqui apresentada procura-se evidência adicional sobre as variáveis contextuais de interesse, com o uso da medida proposta por Daraio e Simar (2007) no contexto probabilístico. Os dados de variáveis de interesse ao presente trabalho dizem respeito ao vetor de variáveis contextuais  $(z_1, z_2, z_3, z_4)$  que corresponde, respectivamente a: nível de parcerias, geração de recursos, melhoria de processos e mudança administrativa ocorrida na Embrapa em 2003 por conta da mudança de governo. A variável  $z_4$  é indicadora e não é utilizada diretamente no cálculo do FDH condicional. As componentes do subvetor  $(z_1, z_2, z_3)$  foram normalizadas pelo máximo dentro de anos.

#### 4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A Figura 1 mostra a evolução das medidas FDH e DEA CCR (Charnes et al., 1978) para os 37 centros de pesquisa da Embrapa, no período de tempo em estudo. Verifica-se que, na maioria dos casos, não há evidências de convergência das medidas. Isto pode ser decorrência do período de tempo considerado ou de características da tecnologia de produção quanto à convexidade.

A análise estatística dos dados foi levada a efeito com o uso do modelo de painel dinâmico de Arellano e Bond (1991), descrito na Seção 2. Tem-se  $n=37$  e  $T=8$ . A Tabela 1 mostra os resultados do exercício estatístico. O programa utilizado foi o Stata/SE 10. Os desvios padrão são robustos e não há presença de correlação serial de segunda ordem, o que invalidaria a abordagem. O  $p$ -valor deste teste é aproximadamente 11%. O teste de Sargan, realizado com o estimador de dois estágios, tem  $p$ -valor de 76% e não é indicativo de erros de especificação do modelo. Os instrumentos utilizados na análise são as diferenças de segunda ordem da resposta e das

variáveis contextuais, as duas variáveis indicadoras de tamanho, as duas variáveis indicadoras de tipo e o tempo. Esses efeitos compõe o termo estocástico  $v_j$  e não são avaliados diretamente, pois se anulam no cálculo de diferenças.

As variáveis estatisticamente significantes na análise são o efeito inercial da medida de eficiência e a geração de receitas. A correlação positiva com a componente defasada indica perpetuidade no processo de avaliação. Unidades com bom desempenho tendem a se manter neste *status*. O efeito negativo da geração de receitas reflete uma preocupação demasiada na instituição na obtenção de recursos para financiamento da pesquisa externos ao Tesouro Nacional. Este esforço é notório a partir de 2004, quando a gerência da instituição aumentou significativamente a percepção de importância deste item no modelo de avaliação dos centros de pesquisa. Os procedimentos estatísticos dão forte indicação que esta percepção não se tem traduzido positivamente em produção de pesquisa.

Os sinais positivos do nível de parcerias e melhoria de processos e o negativo de mudança administrativa são consistentes com os sinais encontrados em Souza et al. (2007), que utilizam a medida DEA como resposta. Contudo, ao contrário desse estudo, essas variáveis não são estatisticamente significantes para o FDH probabilístico.

Tabela 1: Modelo de Painel Dinâmico. Listagem do Stata/SE 10.

	<b>Coefficiente</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>z</b>	<b>P&gt; z </b>	<b>Intervalo de confiança (95%)</b>
lag	0,2549	0,0864	2,95	0,003	[0,0857, 0,4242]
$z_1$ (parc)	0,0052	0,0490	0,11	0,915	[-0,0908, 0,1012]
$z_2$ (rec)	-0,1874	0,0723	-2,59	0,010	[-0,3292, -0,0457]
$z_3$ (mproc)	0,0136	0,0549	0,25	0,804	[-0,0940, 0,1212]
$z_4$ (adm)	-0,0974	0,9742	-0,10	0,920	[-2,0070, 1,8121]
constante	17,4155	2,8089	6,20	0,000	[11,9102, 22,9208]

A Figura 2 mostra a evolução das média do *rank* da variável resposta (quociente entre a medida FDH condicional e FDH), segundo as combinações de tipo (Ecorregional, de Produto, Temático) e tamanho de centro de pesquisa (Pequeno, Médio, Grande). Nesta figura nota-se que há interação entre as classes de unidades, ou seja, tipo e tamanho de centro de pesquisa influenciam nas medida de eficiência.

Na Figura 3 apresenta-se a mediana da variável resposta considerando os oito períodos de tempo. Verifica-se que os centros Ecorregionais Grandes (4 unidades) e Médios (3) e de Produtos Grandes (3) dominam as medidas de eficiência (*rank* da variável resposta), com influência da escala de operação.

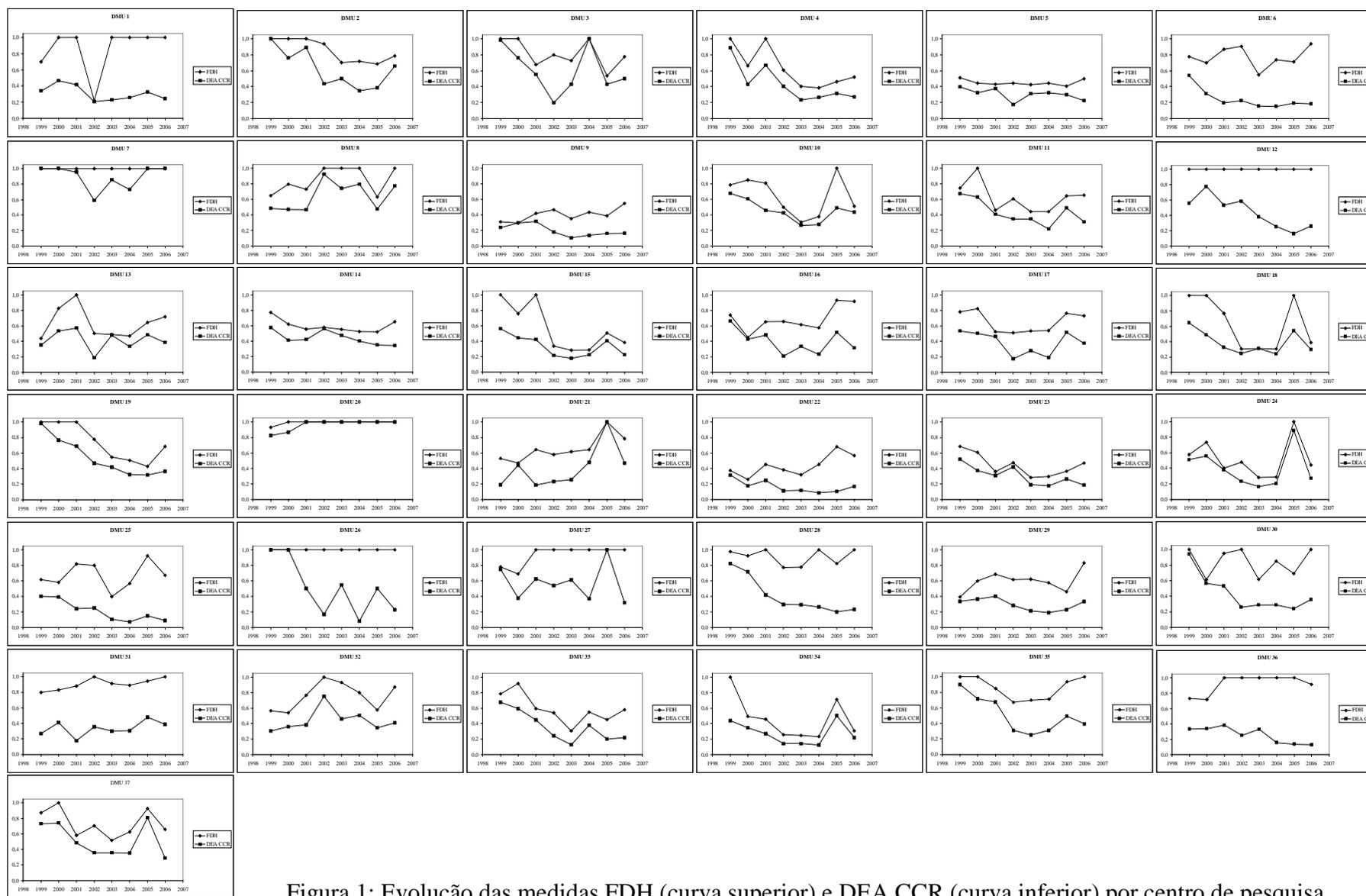


Figura 1: Evolução das medidas FDH (curva superior) e DEA CCR (curva inferior) por centro de pesquisa.

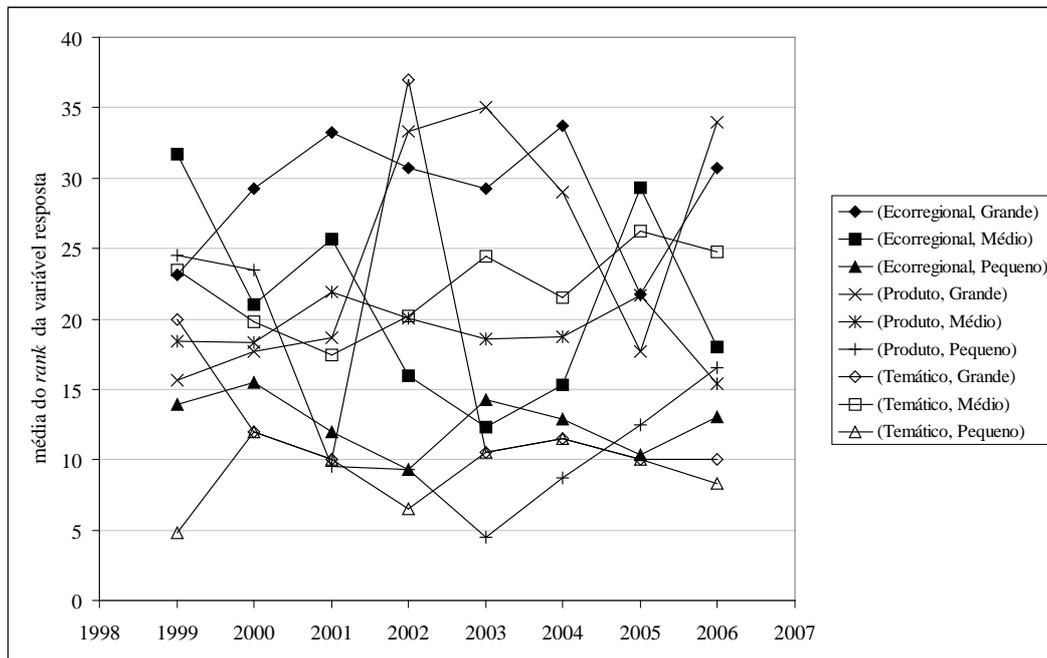


Figura 2: Evolução da média do *rank* da variável resposta, segundo classe de unidade (tipo, tamanho).

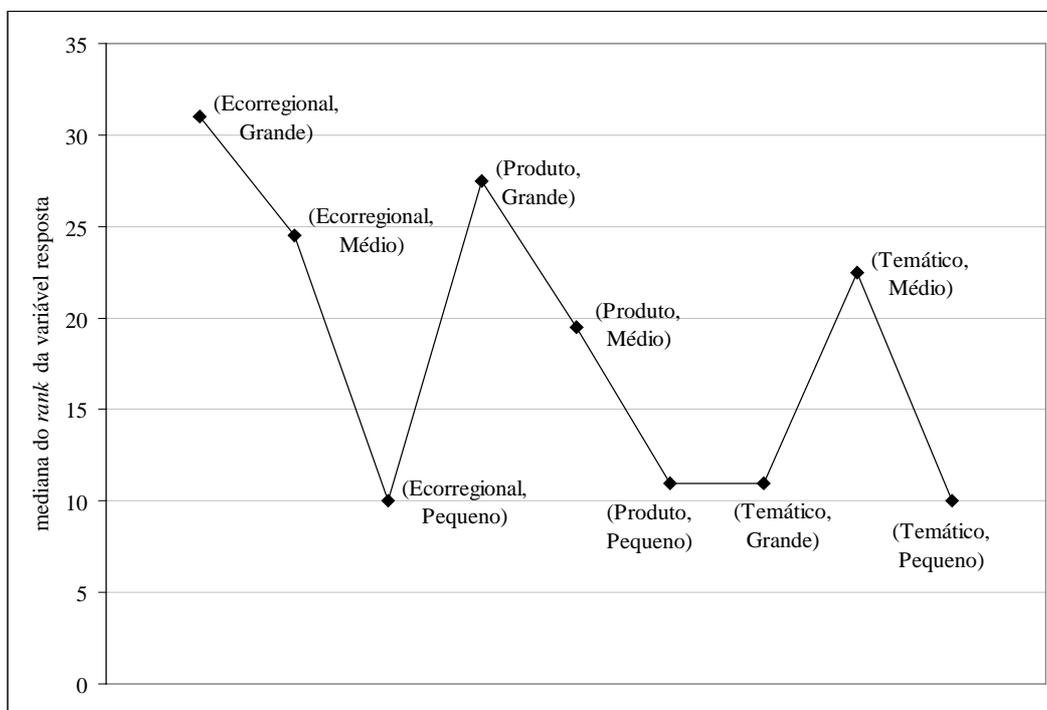


Figura 3: Mediana do *rank* da variável resposta por classe de unidade.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Procedeu-se à avaliação estatística de variáveis contextuais que potencialmente possam afetar o sistema de produção de pesquisa da Embrapa. Com este objetivo, considerou-se como medida de eficiência técnica, a medida FDH. Esta medida tem uma interpretação probabilística quando se supõe que o modelo de produção é descrito por uma distribuição de probabilidade conjunta, definida pelas variáveis de produto, insumos e contextuais. Condicionando nas variáveis contextuais, supostamente absolutamente contínuas, obtém-se uma medida FDH condicional à realização das variáveis contextuais. O quociente do FDH condicional pelo FDH não condicional produz uma medida dependente apenas das variáveis contextuais.

Modelou-se, então, para este quociente uma versão não paramétrica de um modelo de painel dinâmico ajustado via o Método de Momentos Generalizado. As variáveis contextuais de interesse diretamente analisadas foram nível de parcerias, melhoria de processos, geração de recursos e mudança gerencial.

Conclui-se que o processo de produção tem um efeito inercial forte e que a geração de recursos é inversamente associada ao nível de eficiência técnica. Conjetura-se que isto se deve à importância demasiada dada pela administração da empresa à variável em detrimento da atividade de pesquisa em si. O nível de parcerias e a melhoria de processos contribuem positivamente para a eficiência técnica, enquanto observa-se uma associação negativa com a mudança administrativa. Esses resultados, contudo, não são estatisticamente significantes. A ordem de idéias geral que se obtém dos resultados da análise são consistentes com resultados anteriores, que se utilizam de medidas de eficiência econômica medidas por DEA.

## **6 AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

## **7. REFERÊNCIAS**

ARELLANO, M.; BOND, S. Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations. *Review of Economic Studies*, v. 58, n. 2, p. 277-297, 1991.

BANKER, R.D. Maximum likelihood, consistency and DEA: a statistical foundation, *Management Science*, v. 39, n. 10, p. 1265-1273, 1993.

BANKER, R.D.; NATARAJAN, R. Evaluating contextual variables affecting productivity using data envelopment analysis. *Operations Research*, 2008 (forthcoming).

BANKER, R.D.; NATARAJAN, R. Statistical tests based on DEA efficiency scores. In: COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; ZHU, J. (Eds.) *Handbook on Data Envelopment Analysis*. Boston: Kluwer International Series, p. 299-321, 2004.

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.

CONOVER, W.J. *Practical nonparametric statistics*. New York: Wiley, 1998.

DARAIIO, C.; SIMAR, L. Introducing environmental variables in nonparametric frontier models: a probabilistic approach. *Journal of Productivity Analysis*, v. 24, n. 1, p. 93-121, 2005.

DEPRINS, D.; SIMAR, L.; TULKENS, H. Measuring labor inefficiency in post offices. In: Marchand, M.; Pestieau, P.; Tulkens, H. (Eds.) *The Performance of Public Enterprises: concepts and measurements*. Amsterdam: North-Holland, p. 243-267, 1984.

SILVERMAN, B.W. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. London: Chapman and Hall, 1986.

SIMAR, L.; WILSON, P.W. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, v. 136, n. 1, p. 31-64, 2007.

SOUZA, G.S.; ALVES, E.; ÁVILA, A.F.D. Technical efficiency in agricultural research, *Scientometrics*, v. 46, p. 141-160, 1999.

SOUZA, G.S.; GOMES, E.G.; MAGALHÃES, M.C.; AVILA, A.F.D. Economic efficiency of Embrapa's research centers and the influence of contextual variables. *Pesquisa Operacional*, v. 27, p. 15-26, 2007.

SOUZA, G.S. Significância de Efeitos Técnicos na Eficiência de Produção da Pesquisa Agropecuária Brasileira. *Revista Brasileira de Economia*, v. 60, n. 1, p. 94-117, 2006.

SOUZA, G.S.; STAUB, R.B. Two-stage inference using data envelopment analysis efficiency measurements in univariate production models. *International Transactions in Operational Research*, v. 14, p. 245-258, 2007.