

Avaliação Inter/Intra-regional de Absorção e Difusão Tecnológica no Brasil: Uma Abordagem Não-Paramétrica¹

Emerson Marinho

- * Doutor em Economia pela Fundação Getúlio Vargas/Rio de Janeiro.
- * Professor do Curso de Pós-graduação em Economia (CAEN/Universidade Federal do Ceará/UFC).

Maurício Benegas

- * Mestre em Economia pelo CAEN-UFC.
- * Professor do Departamento de Teoria Econômica – UFC.

Resumo

Este artigo analisa a eficiência técnica dos estados e regiões brasileiras no período de 1985 a 1998. Para isso, utilizamos o conceito de meta-fronteira de produção e estimamos as eficiências técnicas através do modelo não paramétrico *Data Envelopment Analysis*. Adicionalmente, fazemos uso do índice de produtividade total de Malmquist para decompor os ganhos de produtividade dos estados brasileiros em: variação de eficiência técnica e variação tecnológica.

Palavras-chave:

Eficiência técnica, Produtividade total, Variação tecnológica

¹ Laureado com o 3º lugar no 6º Prêmio Banco do Nordeste de Economia Regional (Fortaleza-2002)

1 - INTRODUÇÃO

Uma das questões mais importantes da análise econômica diz respeito à eficiência das unidades produtivas na produção de bens e serviços. Grande parte da literatura destina-se a apresentar a teoria da produção considerando que as unidades produtivas, a partir de pressupostos comportamentais, como minimização do custo ou maximização da receita, produzem num ponto que corresponde à produção máxima dada a tecnologia disponível; este é o teor da maioria dos manuais de microeconomia. No entanto, investigações empíricas têm constatado a existência de diferenciais de produtividade entre diferentes unidades produtivas que utilizam a mesma tecnologia.

É neste sentido que o presente trabalho é desenvolvido. Nós tratamos a questão da eficiência seguindo o que propõe a literatura, isto é, a unidade produtiva plenamente eficiente é aquela que atua num ponto sobre a fronteira de produção. Diante disso faz-se necessário estimar tal fronteira, que na prática não é conhecida, e então comparar as atividades observadas com a fronteira estimada.

As unidades produtivas consideradas neste estudo são os Estados e regiões brasileiras. Não há dúvidas de que é extremamente importante saber quais são os Estados e regiões do país que mais se destacam em termos da produção eficiente de bens e serviços.

Recentemente, alguns trabalhos foram desenvolvidos no Brasil utilizando a abordagem de fronteira de produção estocástica para a análise de eficiência. Marinho e Barreto (2000) estimam a fronteira tecnológica utilizando a teoria da fronteira estocástica, originalmente proposta por Aigner, Lovell e Schmidt (1977), para a região Nordeste, a fim de analisar os efeitos da inovação tecnológica nos ganhos de produtividade dos Estados dessa região usando o índice de Malmquist (1953). Soares (2000) utiliza a mesma abordagem para investigar o mesmo problema para todo o Brasil.

Os trabalhos citados acima se valem da teoria da fronteira estocástica que consiste em estimar uma fronteira de produção teórica utilizando métodos econométricos para analisar a eficiência técnica das unidades produtivas. Em adição a isso, os autores também empregam o índice de produtividade total de Malmquist para analisar ganhos de produtividade decompondo-os em variação na eficiência técnica (aproximação da fronteira de produção – efeito *catching up*) e variação tecnológica (deslocamento da fronteira de produção – difusão tecnológica).

Chavas e Cox (1990) analisam diferenciais de produtividade entre as indústrias japonesa e americana empregando métodos não-paramétricos. Färe et al (1994) empregam o modelo *Data Envelopment Analysis*, conhecido mais sinteticamente como o modelo *Data Envelopment Analysis* (DEA) para analisar os ganhos tecnológicos e de produtividade para uma amostra de 17 países da OECD no período de 1979 a 1988. A metodologia, originalmente desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), consiste num método igualmente não-paramétrico para a construção de uma fronteira de produção, definida pelos processos produtivos mais eficientes¹, e que se baseia na solução de um conjunto de problemas de programação linear.

Recentemente, alguns trabalhos também destinados a comparações multilaterais de eficiência, utilizam o conceito de metafronteira de produção, originalmente proposto por Hayani (1969) e Hayani e Ruttan (1970, 1971) como sendo a envoltória dos pontos de produção das regiões mais eficientes de um país.

A proposta deste trabalho é analisar a eficiência técnica das regiões brasileiras utilizando o conceito de metafronteira de produção com o emprego de métodos não-paramétricos, mais especificamente com o uso do modelo DEA. Em adição, utilizamos o índice de produtividade total de Malmquist para

¹ Uma das atratividades do modelo DEA consiste justamente neste ponto, ou seja, porque a fronteira é definida pelas melhores técnicas produtivas ela não é teórica e, portanto, dispensa forma funcional para a estimação.

analisar ganhos de produtividade dos Estados brasileiros decompondo tais ganhos (se houver) em variação tecnológica, variação da eficiência técnica pura e variação da escala de produção. Para levar a cabo a investigação pretendida faz-se necessário uma série de modificações metodológicas em relação à teoria da fronteira estocástica.

Este trabalho se distribui em cinco seções além desta introdução. A seção II se destina a apresentar a estrutura teórica que fundamenta a análise pretendida. Nela são apresentados conceitos fundamentais, tais como a eficiência técnica de Farrell, a função distância de Shepard e o modelo DEA através do qual os escores de eficiência técnica são estimados. Na seção III, discute-se a noção de metafronteira de produção e a versão estocástica de análise de eficiência técnica juntamente com as modificações necessárias para a análise não-paramétrica. Na seção IV, são apresentados os principais resultados obtidos com o emprego da metodologia sugerida. Na seção V, faz-se uma análise dos ganhos de produtividade dos Estados brasileiros decompondo-os em variação da eficiência técnica (que por sua vez é decomposta em variação da eficiência técnica pura e variação da escala de produção), utilizando o índice de produtividade total de Malmquist. Na última seção, apresentamos as principais conclusões do trabalho.

2 - ESTRUTURA TEÓRICA

2.1 Eficiência técnica

Esta seção tem por objetivo apresentar brevemente as medidas de eficiência técnica mais comumente utilizadas na teoria e discutir como tais medidas podem ser calculadas relativamente a uma dada tecnologia, em geral representadas por uma fronteira de produção. Um tratamento mais detalhado a esse respeito pode ser encontrado em Färe; Grosskopf e Lovell (1985, 1994); Lovell (1993) e Coelli et al. (1998).

Dentro da teoria microeconômica da firma, a condição de eficiência é sempre vista como a combinação de fatores de produção que conduz à produção máxima permitida pela tecnologia disponível.

Tecnicamente, isso significa que o ponto de atividade eficiente é um ponto sobre a fronteira do conjunto de possibilidades de produção. No entanto, a teoria da firma tradicional não explica como podemos relacionar os pontos que são interiores ao conjunto de possibilidades de produção e sua fronteira. Um primeiro trabalho nessa direção foi realizado por Debreu (1951), que define o chamado coeficiente de utilização de recursos como uma medida de distância de um ponto interior ao conjunto de possibilidades de produção e sua fronteira². Anos mais tarde, num artigo clássico, Farrel (1957) introduz o conceito de eficiência técnica e eficiência alocativa, como sendo dois componentes que, combinados, resultam na chamada eficiência econômica ou eficiência *overall*, ambas definidas como a razão de distâncias sobre a mesma expansão radial em direção à atividade observada. A medida de eficiência técnica de Farrel é atualmente o conceito mais utilizado para análise de eficiência na produção, isto porque, ao contrário da noção de eficiência alocativa, dispensa informações sobre preços para medir a *performance* de uma firma. Outra questão importante que torna a medida de eficiência de Farrel muito atrativa é o método computacional utilizado para se obtê-la. A vantagem de medidas radiais de eficiência é que elas são invariantes com relação às unidades de medida³. Medidas não-radiais como a distância mínima do ponto de atividade para a fronteira de produção manifestam um apelo bastante intuitivo, no entanto, tais medidas não são invariantes com relação às unidades de medida.⁴ Antes de apresentarmos as definições envolvendo as medidas de Farrel, damos um apelo intuitivo às suas idéias, como ilustrado na FIGURA 1.

² Mais adiante veremos que o coeficiente de utilização de recursos de Debreu é a função distância de Shepard.

³ Para uma discussão mais detalhada a respeito das propriedades de medidas radiais, ver Coelli et al. (1998) e Färe et al. (1985).

⁴ Existe um grande número de medidas não-radiais que sacrificam a invariabilidade, mas que possuem outras propriedades importantes. Para exemplos, ver Färe e Lovell (1978) e Kopp (1981).

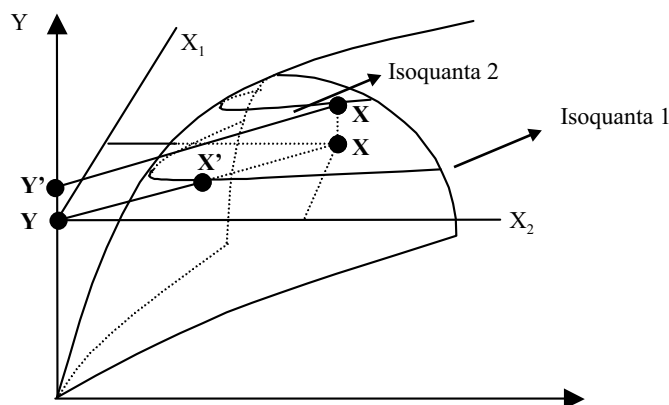


FIGURA 1
EFICIÊNCIA TÉCNICA

FONTE: Construído pelos autores

Na FIGURA 1, temos a representação de uma função produção côncava cujo produto (único) Y depende de dois insumos (x_1, x_2) . A translação dos eixos que correspondem às quantidades dos insumos 1 e 2 indica que estamos analisando as atividades no conjunto de nível acima da produção Y . Analisando a atividade Y , vemos que a combinação de insumos $X = (x_1, x_2)$ é ineficiente desde que se pode reduzir a quantidade de insumos utilizados sem alterar a quantidade de produto (pela projeção de X sobre a isoquanta 1). A contração dos insumos é feita obedecendo à tecnologia disponível para a firma. Na FIGURA 1, a contração máxima dos insumos, respeitando a tecnologia disponível, cessa na fronteira do conjunto de produção, isto é, no ponto $X' = (x'_1, x'_2)$, onde a produção Y combina os insumos 1 e 2 sobre a isoquanta 1. O tamanho dessa contração máxima nos insumos é chamado *eficiência técnica de Farrell orientada pelo insumo e*, em nosso exemplo, é calculada por $\|x'\|/\|x\|$. Em palavras, a *eficiência técnica de Farrell orientada pelo insumo* é o fator proporcional que, multiplicando o ponto de atividade ineficiente, o torna eficiente. Semelhantemente o produto Y pode ser majorado sem alterar a quantidade de insumos atualmente utilizados (pela manutenção da mesma combinação de insumos sobre a isoquanta 2). Esse aumento do produto novamente deve respeitar a tecnologia disponível. A expansão máxima do produto

na FIGURA 1 cessa na fronteira como no caso anterior, onde a produção $Y' > Y$ combina os insumos 1 e 2 sobre a isoquanta 2. Chamamos de *eficiência técnica de Farrell orientada pelo produto* o tamanho da expansão máxima do nível de produto que, nesse exemplo, é dada por $\|Y'\|/\|Y\|$, ou seja, é o fator proporcional que, dividindo o produto ineficiente, o torna eficiente.

Na ilustração acima, supomos que a função produção é conhecida; no entanto, na prática, isto não acontece e, portanto, tal fronteira necessita ser estimada. Farrell (1957) sugere duas maneiras de fazê-lo: (a) utilizando métodos econométricos para estimar uma função produção; (b) utilizando métodos não-paramétricos para estimar uma fronteira linear em pedaços em que, no caso de uma isoquanta, os pontos à esquerda e abaixo da fronteira não são observados. A seguir nós definimos mais formalmente as idéias apresentadas acima.

Definição 1: Seja $x \in \mathfrak{R}_+^N$ o vetor de insumos utilizados para a produção do vetor de produtos $y \in \mathfrak{R}_+^M$ sob a tecnologia T . A medida de eficiência técnica orientada pelo produto de Farrell é uma função $F_0 : \mathfrak{R}_+^M \times \mathfrak{R}_+^N \rightarrow (0,1]$ definida por $F_0(x, y) = \inf \{ \varphi, (x, y/\varphi) \in T \}$ e a medida de efici-

ência técnica orientada pelo insumo de Farrel é uma função $F_i: \mathfrak{R}_+^M \times \mathfrak{R}_+^N \rightarrow (0,1]$ definida como $F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \inf \{ \phi, (\mathbf{x}\phi, \mathbf{y}) \in T \}$.

No exemplo ilustrado pela FIGURA 1 acima, temos $F_0(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \|\mathbf{Y}\|/\|\mathbf{Y}\|$ e $F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \|\mathbf{X}\|/\|\mathbf{X}\|^5$. Assim, as medidas de eficiência acima definidas nos dão um indicativo de *performance* da firma analisada, segundo, a qual, $F_0(\mathbf{x}, \mathbf{y})=1$, indica atividade eficiente e, $F_0(\mathbf{x}, \mathbf{y})<1$, indica atividade ineficiente. O mesmo se aplica para a eficiência técnica orientada pelo insumo.

A seguir, nós definimos a tecnologia de produção que representaremos pelo conjunto de requerimento de insumos.

Definição 2: A tecnologia é definida pelo conjunto $T(\mathbf{y}) = \{ \mathbf{x}; \mathbf{x} \text{ pode produzir } \mathbf{y} \}$, $\mathbf{y} \in \mathfrak{R}_+^M$.

É suposto que a tecnologia de produção acima definida é um conjunto compacto, convexo e satisfaz livre descarte.

Outra medida de eficiência importante, que será usada mais adiante, é a medida de eficiência de escala, que indica a eficiência da firma quanto à escala de produção. A FIGURA 2 a seguir ilustra a idéia da medida de eficiência de escala.

A medida de eficiência de escala é calculada a partir da construção das fronteiras sob retornos variáveis de escala e retornos constantes. A medida de eficiência técnica é então decomposta em eficiência técnica sob retornos constantes de escala, denotada por $F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | C)$, e eficiência técnica sob retornos variáveis, também chamada de eficiência técnica pura, denotada por $F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | V)$. Se existe diferença entre estas duas medidas, então a firma analisada exibe ineficiência de escala. Na FIGURA 2, no ponto de atividade P, temos que $F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | C) = APc/AP$ e $F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | V) = APv/AP$. Denotando a eficiência de escala por S, temos que $S = APc/APv = (APc/AP) / (APv/AP) = F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | C) / F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | V)$. Pela figura 2 acima, podemos observar que $0 < S < 1$.

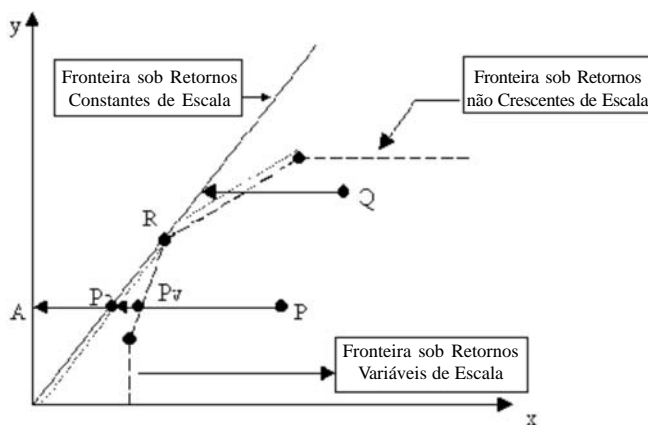


FIGURA 2
EFICIÊNCIA DE ESCALA

FONTE: Coelli et al. (1988)

⁵ Note que, se a tecnologia exibe retornos constantes de escala, então $F_0(\cdot, \cdot) = F_i(\cdot, \cdot)$.

A seguir, nós apresentamos os diferentes conceitos de retornos de escala resumidos na definição 3 abaixo e, em seguida, definimos mais formalmente a medida de eficiência de escala discutida acima:

Definição 3: Retornos de escala - Färe, Grosskopf e Lovell (1994): A tecnologia T exibe retornos constantes de escala (globalmente) se: $\lambda T = T$, para $\forall \lambda > 0$, i. e., se a tecnologia T é um cone. Ela exibe retornos não-crescentes de escala se: $\lambda T \subseteq T$ para $\forall \lambda \in (0, 1]$. Ela exibe retornos não-decrescentes se: $T \subseteq \lambda T$ para $\forall \lambda \in (0, 1]$. E, finalmente, T exibe retornos variáveis de escala, quando retornos constantes, não-crescentes e não-decrescentes de escala, são observados (localmente) sobre alguns subconjuntos de T.

Definição 4: A eficiência de escala de Farrell é definida como $S = F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | C) / F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | V)$.

O objetivo deste trabalho é estimar, via DEA, os escores de eficiência técnica dos Estados brasileiros relativamente à fronteira definida pelo(s) Estado(s) mais eficiente(s), dentro das respectivas regiões. Neste trabalho, optamos por utilizar a medida de eficiência técnica orientada pelo insumo, pois a maioria dos resultados encontrados na literatura com relação à função distância (recíproca da eficiência técnica como se verá) é referente à orientação pelo insumo.

2.2 Função Distância de Shepard

Uma forma alternativa de representar as medidas de eficiência de Farrell é através das funções distância de Shepard⁶. A vantagem na utilização das funções distância reside no fato de que tais funções caracterizam completamente a tecnologia, propriedade bastante útil na construção do modelo DEA para a estimação dos escores de eficiência. Nos parágrafos seguintes, nós definimos formalmente as funções distância orientadas pelo insumo e pelo produto e sua relação com as medidas de eficiência técnica de Farrell; além disso, enunciamos suas principais propriedades.

⁶ Uma discussão mais detalhada sobre função distância pode ser encontrada em Shepard (1970) e Färe et al. (1985, 1994).

Definição 5: Seja $\mathbf{x} \in \mathfrak{R}_+^N$ os insumos utilizados para produzir $\mathbf{y} \in \mathfrak{R}_+^M$ produtos sob a tecnologia T. A função $D_i : \mathfrak{R}_+^M \times \mathfrak{R}_+^N \rightarrow \mathfrak{R}_+$ definida por $D_i(x, y) = \sup \{ \delta \in \mathfrak{R}_+ ; (x/\delta, y) \in T \}$ é chamada função distância de Shepard orientada pelo insumo, e a função $D_o : \mathfrak{R}_+^M \times \mathfrak{R}_+^N \rightarrow \mathfrak{R}_+$ definida por $D_o(x, y) = \inf \{ \delta \in \mathfrak{R}_+ ; (x, y/\delta) \in T \}$ é chamada função distância orientada pelo produto de Shepard.

A FIGURA 3 ilustra melhor a idéia da definição 5 acima. A tecnologia de produção é representada por uma isoquanta sobre a qual toda combinação de insumo produz o mesmo nível de produto. O ponto **X** representa a combinação (x_1, x_2) dos insumos 1 e 2, que é ineficiente pois é interior ao conjunto de produção. De acordo com a definição 5, a função distância orientada pelo insumo é o fator proporcional máximo que, dividindo a atividade interior **X**, a contrai até a fronteira, que, na FIGURA 3, é representada pela isoquanta **q**.

Observe que pelas definições 1 e 5, $D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = 1 / F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$. Mais formalmente, temos que

$D_i(x, y) = \sup \{ \delta \in \mathfrak{R}_+ ; (x/\delta, y) \in T \} = \left[\inf \{ \delta \in \mathfrak{R}_+ ; (\delta \mathbf{x}, \mathbf{y}) \in T \} \right]^{-1} = 1 / F_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$, isto é, a função distância orientada pelo insumo de Shepard é a recíproca da eficiência técnica de Farrell orientada pelo insumo. Esta relação nos permite utilizar a função distância de Shepard (1970) para obter a medida de eficiência técnica da firma. A seguir, nós enunciaremos as principais propriedades da função distância orientada pelo insumo.

Lema - A função distância orientada pelo insumo de Shepard satisfaz as seguintes propriedades:

- D1 - $T = \{ \mathbf{x}; D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \geq 1 \}$
 - D2 - isoquanta de T = $\{ \mathbf{x}; D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = 1 \}$
 - D3 - $D_i(\lambda \mathbf{x}, \mathbf{y}) = \lambda D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ (Homogeneidade de grau +1)
 - D4 - $D_i(\mathbf{x}_1 + \mathbf{x}_2, \mathbf{y}) \geq D_i(\mathbf{x}_1, \mathbf{y}) + D_i(\mathbf{x}_2, \mathbf{y})$ (Superaditividade)
 - D5 - $D_i(\mathbf{x}', \mathbf{y}) \geq D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ se $\mathbf{x}' \geq \mathbf{x}$ (Monotonicidade em x)
- } (Completa caracterização da tecnologia)

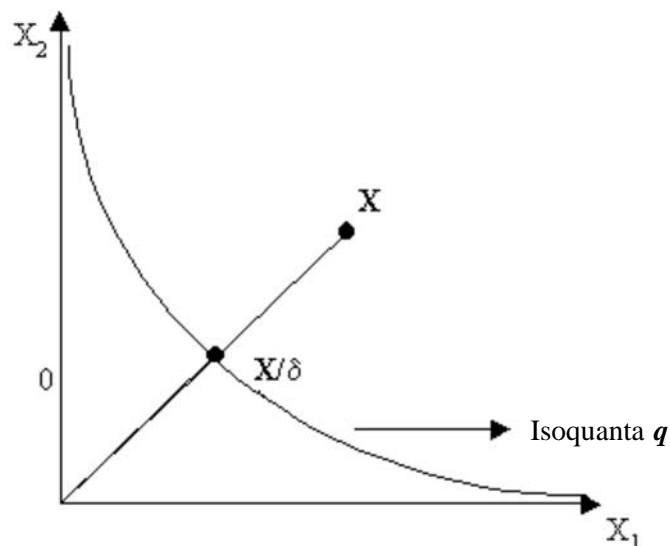


FIGURA 3
FUNÇÃO DISTÂNCIA DE SHEPARD

FONTE: Construído pelos autores.

D6 - $D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ é uma função côncava de \mathbf{x} (Concavidade)
Prova: Shepard (1970)

Note que a função distância não é uma métrica, pois não satisfaz a desigualdade triangular. A seguir, nós apresentamos o modelo DEA, através do qual os escores de eficiência técnica serão estimados utilizando a função distância de Shepard orientada pelo insumo.

2.3 - O Modelo DEA

Nesta seção, nós apresentamos o modelo DEA originalmente proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) através do qual estimamos as eficiências técnicas orientadas pelo insumo para cada firma dentro de uma determinada indústria.

O modelo envolve o uso de métodos de programação linear para a construção de fronteiras não-paramétricas sobre os dados. As medidas de eficiência são então calculadas relativamente a esta fronteira. Revisões desta metodologia podem ser encontradas em Seiford e Thrall (1990), Charnes et al. (1995) e Seiford (1996).

A abordagem da estimação não-paramétrica de fronteiras, proposta por Farrell (1957), foi utilizada por alguns poucos autores nas duas décadas que se seguiram ao trabalho de Farrell. Boles (1966) e Afriat (1972) sugerem métodos de programação matemática para alcançar tal objetivo, mas o método não recebeu atenção até o trabalho de Charnes, Cooper e Seiford (1978), no qual o termo *Data Envelopment Analysis* (DEA) é pela primeira vez introduzido.

Charnes, Cooper e Seiford (1978) propõem um modelo orientado pelo insumo sob retornos constantes de escala. Este é o modelo que será apresentado nesta seção. As eficiências técnicas são estimadas resolvendo-se o seguinte problema de programação linear:

$$\begin{aligned}
 & \min_{\theta, \lambda} \theta^{k'} \\
 & \text{sujeito a} \\
 & y_m^{k'} \leq \sum_{k=1}^K \lambda^k y_m^k \quad m = 1, \dots, M \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda^k x_n^k \leq \theta^{k'} x_n^{k'} \quad n = 1, \dots, N \\
 & \lambda^k \geq 0 \quad k = 1, \dots, K
 \end{aligned} \tag{7}$$

No programa acima, temos que a fronteira tecnológica para a região k é construída dos dados como:

$$T = \left\{ (\mathbf{x}^k, \mathbf{y}^k) \left| \sum_{k=1}^K \lambda^k x_n^k \leq x_n^{k'} \quad n = 1, \dots, N; y_m^{k'} \leq \sum_{k=1}^K \lambda^k y_m^k \quad m = 1, \dots, M; \lambda^k \geq 0 \right. \right\},$$

que exhibe retornos constantes de escala e é definida por um cone poliedral (fechado pela igualdade) formado pela interseção dos hiperplanos gerados pelas restrições de disponibilidade de insumo, definida por:

$$\sum_{k=1}^K \lambda^k x_n^k \leq x_n^{k'} \quad n = 1, \dots, N$$

e pela restrição de capacidade definida acima por

$$\sum_{k=1}^K \lambda^k y_m^k \leq y_m^{k'} \quad m = 1, \dots, M$$

Os λ^k 's são variáveis de intensidade, indicando em que nível de intensidade uma atividade em particular pode ser empregada na produção. As restrições quanto às disponibilidades permitem a construção de uma fronteira não-paramétrica onde os pontos à esquerda e abaixo de uma isoquanta não-paramétrica, por exemplo, não são observados, seguindo a sugestão de Farrell (1957). A estimação da eficiência técnica orientada pelo insumo para uma determinada firma é feita resolvendo-se o programa acima. Usando a definição de função distância orientada pelo insumo e sua reciprocidade com a medida de eficiência técnica orientada pelo insumo, podemos reescrever o programa acima na seguinte forma:

$$\left[D_i(\mathbf{x}^{k'}, \mathbf{y}^{k'}) \right]^{-1} = \min \theta^{k'}$$

tal que

$$\begin{aligned} y_m^{k'} &\leq \sum_{k=1}^K \lambda^k y_m^k & m = 1, \dots, M \\ \sum_{k=1}^K \lambda^k x_n^k &\leq \theta^{k'} x_n^{k'} & n = 1, \dots, N \\ \lambda^k &\geq 0 & k = 1, \dots, K \end{aligned} \quad (2.1)$$

A solução⁷ do problema acima, para as K firmas dentro de uma determinada indústria, resulta nos escores de eficiência técnica para cada uma das firmas. A fronteira é então construída a partir das firmas mais eficientes e as demais posicionadas relativamente a tal fronteira. O programa acima é resolvido para cada uma das K firmas nas R indústrias e, com isso, as fronteiras tecnológicas são construídas para cada indústria.

3 - FUNÇÃO METAPRODUÇÃO

O conceito de função metaprodução foi primeiramente proposto por Hayami (1969) e Hayami e Ruttan (1970, 1971) como sendo a envoltória das tecnologias disponíveis às regiões de um país. Alguns anos mais tarde, Ruttan et al. (1978), reformulam o conceito de função metaprodução estabelecendo que: "We now define the metaproduction as the envelope of the production points of the most efficient countries". As FIGURAS 4a e 4b ilustram estas duas abordagens para a função metaprodução.

A FIGURA 4a ilustra a noção de função metaprodução segundo Hayami (1969) e Hayami e Ruttan (1970, 1971). A isoquanta maior representa a fronteira de tecnologia em todo o país ou a metafronteira de produção, que é a envoltória das tecnologias regionais representadas pelas isoquantas menores. Na FIGURA 4b, a isoquanta maior novamente representa a metafronteira de produção, mas, agora, como a envoltória dos pontos eficientes de produção representados pelas isoquantas menores que tangenciam a isoquanta maior ou a metafronteira de produção, este é o conceito de metafronteira de produção segundo Ruttan et al. (1978) e que será a abordagem utilizada neste trabalho.

Recentemente, Battese et al. (2001) empregaram a teoria da fronteira estocástica, originalmente

⁷ Note que cada uma das restrições em (2.1) forma um semi-espaço fechado. Em geral, a interseção de semi-espaços fechados forma um conjunto poliedral convexo, o que garante a solução de (2.1). A esse respeito, ver Intriligator (1971) e Arrow et al. (1951) para detalhes. O mapa de contorno em (2.1) é dado pelos valores de θ^k no intervalo $[0,1]$.

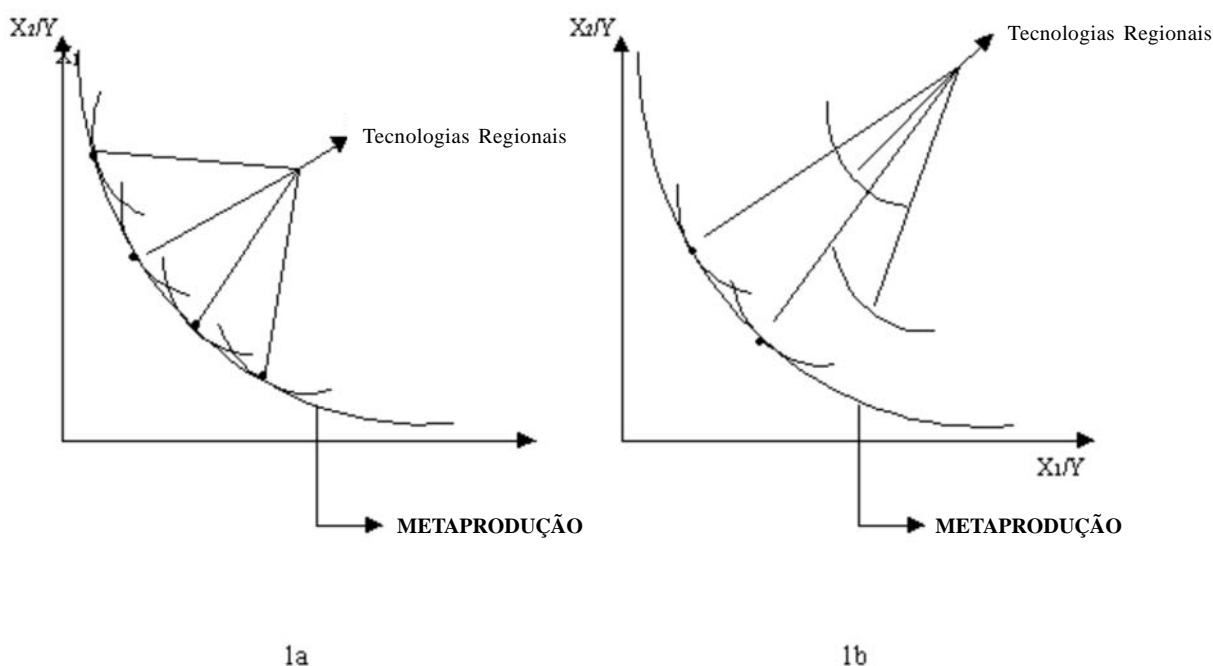


FIGURA 4
METAFRONTEIRA DE PRODUÇÃO

FONTE: Construído pelos autores.

proposta por Aigner, Lovell e Schmidt (1977), usando a função metaprodução para analisar a indústria têxtil na Indonésia, comparando diferentes regiões. Segundo Battese e Rao (2001), o modelo de fronteira estocástica, utilizando a função metaprodução, é construído estimando-se funções de produção teóricas para as regiões, utilizando dados amostrais das firmas (ou Estados) em cada região. Por outro lado, a função metaprodução é estimada utilizando dados de toda a amostra.

4 - RESULTADOS

Esta seção se destina a analisar os resultados obtidos com o uso da metodologia apresentada nas seções anteriores. Nós analisamos todos os Estados brasileiros no período de 1985 a 1998, com exceção do Distrito Federal e o Estado de Tocantins; o primeiro, por sua relação amorfa com as demais unidades da Federação, e o segundo, pela carência de dados na década de 80. Os dados utilizados como produto são os Produto Interno Bruto (PIB's) estaduais a preços de 1995, defla-

cionados pelo INPC, retirados das contas regionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1985 a 1998. Como *proxy* do capital, utilizou-se o consumo não-residencial de energia elétrica publicado no anuário estatístico do IBGE de 1985 a 1998; para a variável trabalho, utilizaram-se horas trabalhadas anuais, extraídas da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)⁸. Os resultados são obtidos pela estimação da fronteira de produção não-paramétrica para cada uma das regiões brasileiras e a metafronteira não-paramétrica de produção de toda a nação em cada um dos anos e para a média do período.

4.1 - Fronteiras não-paramétricas regionais e a metafronteira produtiva do Brasil

A fim de simplificar a leitura dos resultados, nós apresentaremos os resultados em termos da média

⁸ Para o ano de 1994, utilizamos interpolação simples para completar a série.

do período, referindo-nos aos resultados anuais sempre que se fizer necessário.

A TABELA 1, sintetiza os resultados estimados pelo modelo DEA para a construção das fronteiras regionais de produção. De acordo com os resultados obtidos, os Estados do Acre, Amazonas e Pará são os que definem a fronteira produtiva na região Norte, pois os escores de eficiência técnica desses Estados são iguais à unidade. Vemos ainda que Roraima, com eficiência técnica de 0,73, é o Estado que apresenta a pior *performance* da região em termos de eficiência técnica. Em outras palavras, para tornar-se eficiente, o Estado de Roraima deveria reduzir em 27% a utilização de capital e trabalho sem que o seu nível de produção se altere.

Cumpramos alguns esclarecimentos a respeito dos resultados apresentados na TABELA 1. As projeções radiais se referem aos pontos de atividade (combinação dos insumos), que tornam o Estado em questão eficiente, ou seja, a projeção radial é o ponto sobre a fronteira de produção projetado ao longo da expansão radial em direção ao ponto de atividade observado. Esse ponto projetado é obtido pela multiplicação da eficiência técnica estimada para determinado Estado pelo seu ponto de atividade observado. Por exemplo, o Estado de Rondônia, na TABELA 1, acima, produz utilizando a relação $K/Y = 0,1835$ e $L/Y = 0,0233$ de capital e trabalho, respectivamente. Além disso, observamos que Rondônia é um Estado ineficiente, dado que seu nível de eficiência técnica é igual a 0,93. A projeção radial para o Estado de Rondônia é obtida pela multiplicação $0,93(0,1835;0,0233) = (0,1708;0,0217)$, a qual é o ponto que representa a atividade do Estado de Rondônia sobre a fronteira da região Norte.

O *benchmark* representa os Estados eficientes e, portanto, localizados sobre a fronteira estimada e que são referências para os Estados ineficientes. Utilizando a região Nordeste como exemplo, vemos que, se projetarmos radialmente os pontos referentes aos Estados de Sergipe, Rio

Grande do Norte, Alagoas e Paraíba sobre a fronteira, os pontos projetados se localizarão num intervalo entre os Estados do Ceará e Piauí. Assim, os Estados do Ceará e Piauí são os *benchmark's* para aqueles Estados. Já os *benchmark's* para o Estado do Maranhão são Bahia e Pernambuco, pois a projeção radial do ponto que representa aquele Estado se localizará entre esses dois Estados. Um dos pontos que merecem destaque na análise para a região Norte é o fato de que os escores de eficiência técnica são bastante altos entre todos os Estados. No entanto, é importante salientar que as eficiências técnicas estimadas para região Norte se referem à tecnologia disponível à região Norte, que, por construção, é a mesma para todos os Estados da região. Portanto esses escores não necessariamente se replicam quando as eficiências estimadas se referem ao país.

As eficiências técnicas estimadas para os Estados da região Nordeste mostram que os Estados do Piauí, Ceará, Pernambuco e Bahia são os que definem a fronteira produtiva desta região, cada qual com eficiência técnica igual à unidade, como mostram os resultados na TABELA 1. O Maranhão é o Estado com o mais baixo nível de eficiência técnica na região (0,26), ou seja, o Estado, para se tornar eficiente, teria que reduzir em 74% a utilização dos insumos sem que o seu nível de produção se altere.

Os resultados para a região Sudeste do país apontam os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro como os que definem a fronteira tecnológica desta região, com níveis de eficiência técnica iguais à unidade. O Estado de Minas Gerais é o de mais baixa eficiência técnica na região, com nível de 0,62; assim, para tornar-se eficiente, o Estado de Minas Gerais teria que reduzir a utilização de seus insumos em 38% sem que o produto se altere.

Na região Sul do país, apenas o Rio Grande do Sul define a fronteira produtiva, com nível de eficiência técnica igual à unidade. O Estado de Santa Catarina é o que tem o mais baixo nível de eficiência técnica (0,69). Assim sendo, este Estado,

TABELA 1
ESCORES DE EFICIÊNCIA TÉCNICA
DAS REGIÕES BRASILEIRAS

Região	Eficiência Técnica	Relação capital/produto K/Y	Relação trabalho/produto L/Y	Projeção Radial		Benchmark		Projeção de Folgas			
				K/Y	L/Y			K/Y	L/Y		
NO	RO	0,930	0,184	0,023	0,171	0,022	AM	AC	-	-	
	AC	1,000	0,168	0,074	-	-	-	-	-	-	
	AM	1,000	0,172	0,006	-	-	-	-	-	-	
	RR	0,750	0,225	0,140	0,168	0,074	AC	-	-	0,030	
	PA	1,000	0,802	0,006	-	-	-	-	-	-	
	AP	0,730	0,233	0,065	0,170	0,048	AM	AC	-	-	
NE	MA	0,260	1,712	0,012	0,436	0,003	PE	BA	-	-	
	PI	1,000	0,265	0,021	-	-	-	-	-	-	
	CE	1,000	0,309	0,005	-	-	-	-	-	-	
	RN	0,770	0,379	0,014	0,293	0,011	PI	CE	-	-	
	PB	0,900	0,324	0,012	0,293	0,011	CE	PI	-	-	
	PE	1,000	0,358	0,004	-	-	-	-	-	-	
	AL	0,420	0,727	0,015	0,306	0,006	CE	PI	-	-	
	SE	0,710	0,409	0,016	0,291	0,011	CE	PI	-	-	
	BA	1,000	0,565	0,002	-	-	-	-	-	-	
	SE	MG	0,620	0,647	0,001	0,401	0,001	RJ	SP	-	-
		ES	0,750	0,532	0,006	0,398	0,001	RJ	-	-	0,004
		RJ	1,000	0,398	0,001	0,000	0,000	-	-	-	-
		SP	1,000	0,403	0,000	0,000	0,000	-	-	-	-
	SU	PR	0,840	0,347	0,002	0,290	0,001	RS	-	-	0,000
SC		0,690	0,421	0,003	0,290	0,001	RS	-	-	0,001	
RS		1,000	0,290	0,001	-	-	-	-	-	-	
CO	MS	0,950	0,286	0,011	0,273	0,010	MT	GO	-	-	
	MT	1,000	0,235	0,012	-	-	-	-	-	-	
	GO	1,000	0,385	0,006	-	-	-	-	-	-	

FONTE: Estimativa dos autores.

*Os resultados são obtidos utilizando-se dados médios de produto, capital e trabalho no período 1985-1998.

para se tornar tecnicamente eficiente, teria de reduzir em 31 % a utilização dos seus insumos sem que seu nível de produto se altere.

Finalizando a análise para as regiões, verificamos, pelos resultados obtidos para a região Centro-Oeste do país, que os Estados do Mato Grosso e de Goiás definem a fronteira do Centro-Oeste do país, cada um dos quais com eficiência técnica igual a um. O Estado do Mato Grosso do Sul conta com um nível de eficiência de 0,95. As FIGURAS 5 a 9 mostram as fron-

teiras tecnológicas de cada região, construídas a partir da TABELA 1, acima.

Finalmente, mostramos na TABELA 2, os resultados obtidos para todo o país, segundo a qual, os Estados do Amazonas, Acre, Rio Grande do Sul e São Paulo têm eficiência máxima igual a 1. Os quatro piores resultados ficam com os Estados do Pará, Alagoas, Maranhão e Sergipe, com escores de eficiência técnica, respectivamente, iguais a 0,34, 0,16, 0,30 e 0,42. Seguindo a definição dada em Ruttan et al. (1978),

TABELA 2
RESULTADOS ESTIMADOS PELO MODELO DEA PARA
O BRASIL – METAFRONTIERA NACIONAL

UF	Eficiência Técnica	Relação capital/produto K/Y	Relação trabalho/produto L/Y	Projeção Radial		Benchmark		Projeção de Folgas	
				K/Y	L/Y			K/Y	L/Y
RO	0.93	0.183	1.210	0.171	1.126	AC	AM	-	-
AC	1.00	0.168	3.860	-	-	-	-	-	-
AM	1.00	0.172	0.329	-	-	-	-	-	-
RR	0.75	0.225	7.256	0.168	3.860	AC	-	-	1.559
PA	0.34	0.802	0.298	0.275	0.102	RS	AM	-	-
AP	0.73	0.233	3.394	0.169	2.467	AM	AC	-	-
MA	0.16	1.712	0.645	0.274	0.103	RS	AM	-	-
PI	0.65	0.265	1.068	0.171	0.691	AC	AM	-	-
CE	0.74	0.309	0.271	0.230	0.201	AM	RS	-	-
RN	0.45	0.379	0.726	0.172	0.329	RS	AM	-	-
PB	0.53	0.324	0.618	0.172	0.328	AM	RS	-	-
PE	0.72	0.358	0.194	0.257	0.140	RS	AM	-	-
AL	0.30	0.727	0.777	0.216	0.231	AM	RS	-	-
SE	0.42	0.409	0.827	0.172	0.347	AC	AM	-	-
BA	0.54	0.565	0.114	0.305	0.062	SP	RS	-	-
MG	0.57	0.647	0.056	0.370	0.032	SP	RS	-	-
ES	0.48	0.532	0.304	0.255	0.146	AM	RS	-	-
RJ	0.88	0.398	0.048	0.349	0.042	SP	RS	-	-
SP	1.00	0.403	0.017	-	-	-	-	-	-
PR	0.83	0.347	0.092	0.286	0.076	AM	RS	-	-
SC	0.65	0.421	0.158	0.274	0.103	RS	AM	-	-
RS	1.00	0.290	0.069	-	-	-	-	-	-
MS	0.60	0.286	0.555	0.172	0.333	AC	AM	-	-
MT	0.73	0.235	0.601	0.171	0.438	AM	AC	-	-
GO	0.61	0.385	0.311	0.235	0.189	AM	RS	-	-

FONTE: Estimativa dos autores.

a metafronteira produção é a envoltória das tecnologias regionais mais eficientes do país.

5 - GANHOS DE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DE ESCALA DOS ESTADOS BRASILEIROS

O objetivo desta seção é analisar algumas evidências sobre convergência em produtividade entre os Estados e regiões brasileiras. Analisa-se também a eficiência de escala na produção de bens e serviços dos Estados no Brasil. A fim de levar a

cabo o propósito desta seção, apresentaremos o índice de produtividade total de Malmquist e sua decomposição em variação da eficiência técnica e variação tecnológica.

O índice de Malmquist, originalmente proposto por Caves et al. (1982b), baseia-se no trabalho de Sten Malmquist (1953), segundo o qual índices de quantidade são construídos como razão de funções distância, como definidas na seção 2, no contexto da teoria do consumidor. Anos mais tarde, Färe et al. (1994) utilizam o índice de Malmquist

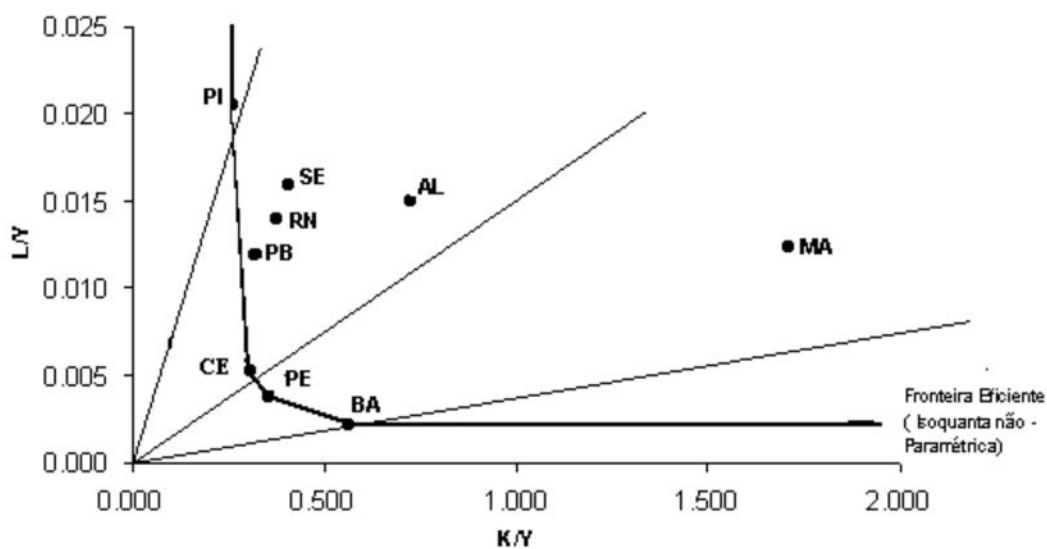


FIGURA 5
FRONTEIRA TECNOLÓGICA DA REGIÃO NORDESTE

FONTE: Tabela 1

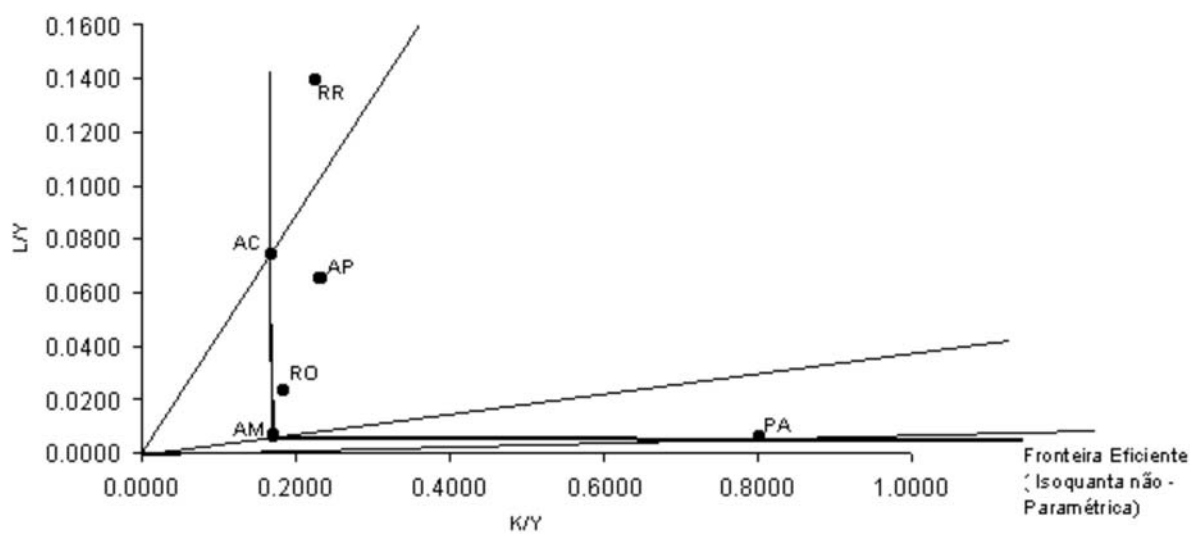


FIGURA 6
FRONTEIRA TECNOLÓGICA DA REGIÃO NORTE

FONTE: Tabela 1

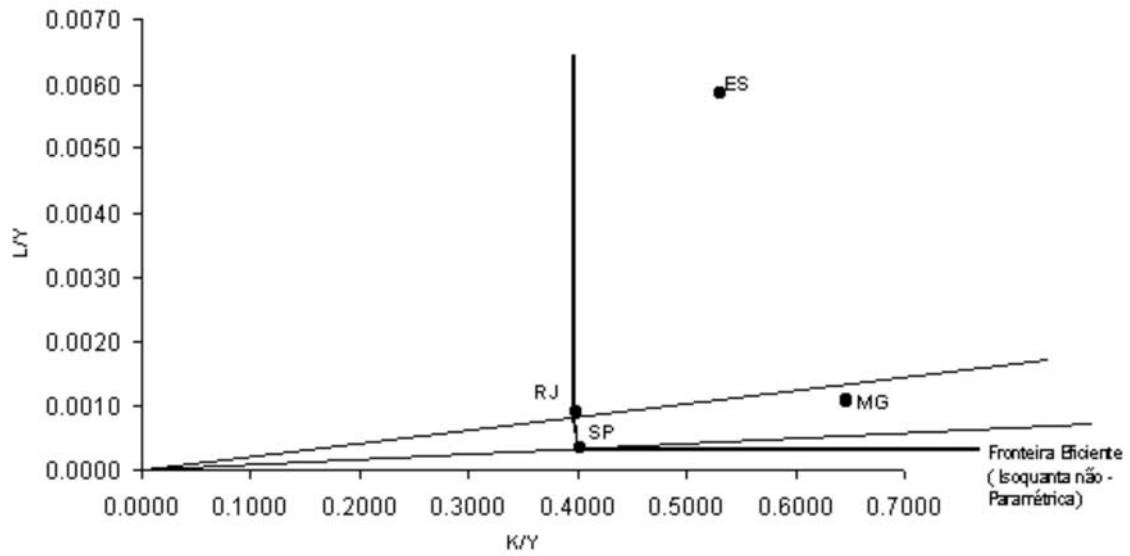


FIGURA 7
FRONTEIRA TECNOLÓGICA DA REGIÃO SUDESTE

FONTE: Tabela 1

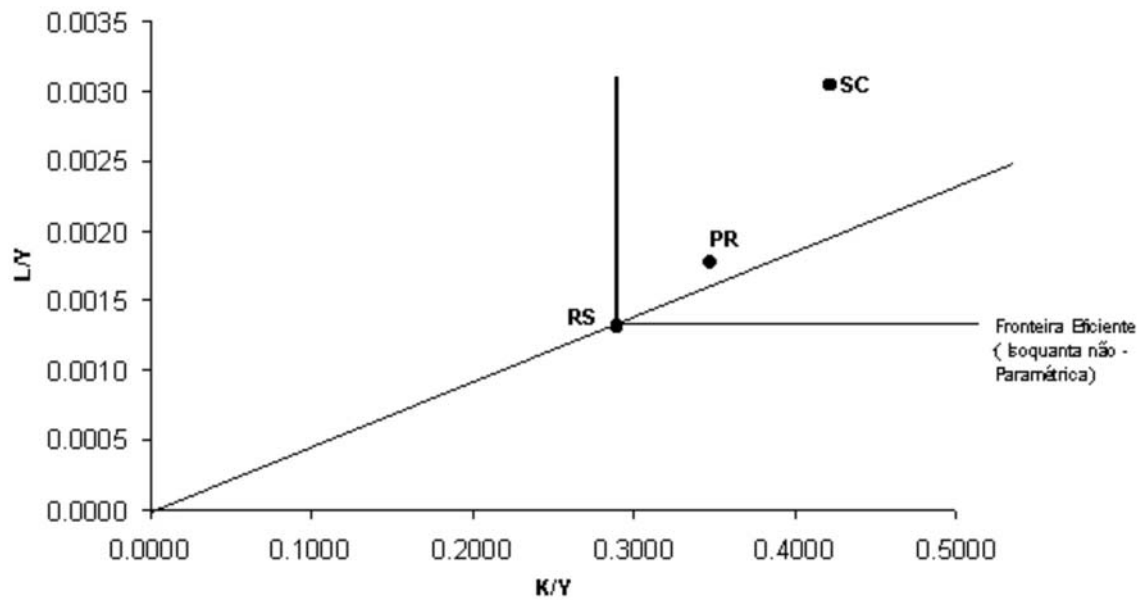


FIGURA 8
FRONTEIRA TECNOLÓGICA DA REGIÃO SUL

FONTE: Tabela 1

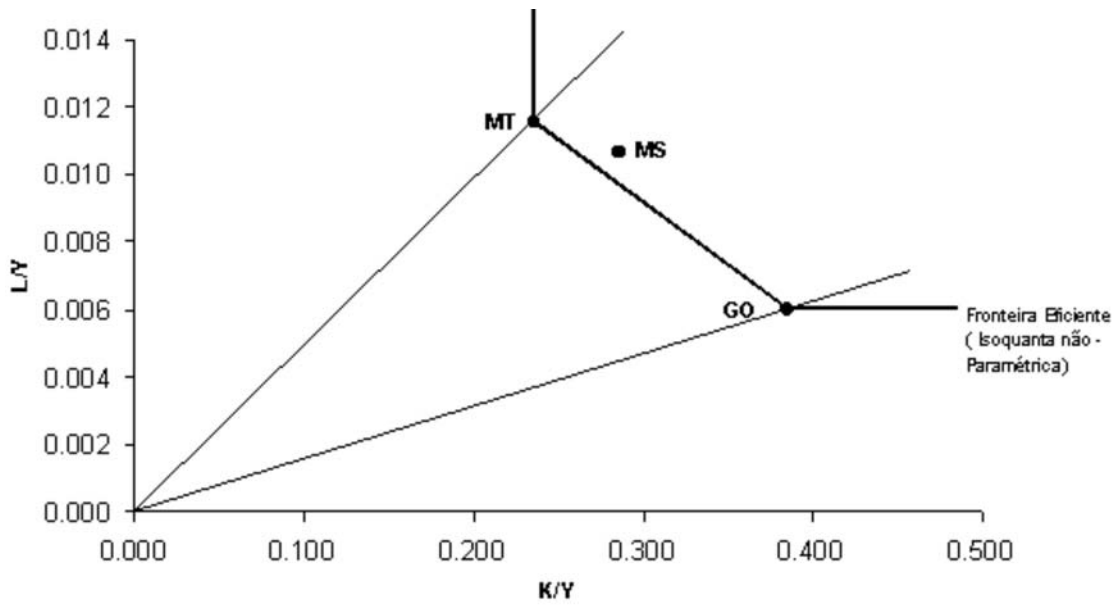


FIGURA 9
FRONTEIRA TECNOLÓGICA DA REGIÃO CENTRO-OESTE

FONTE: Tabela 1

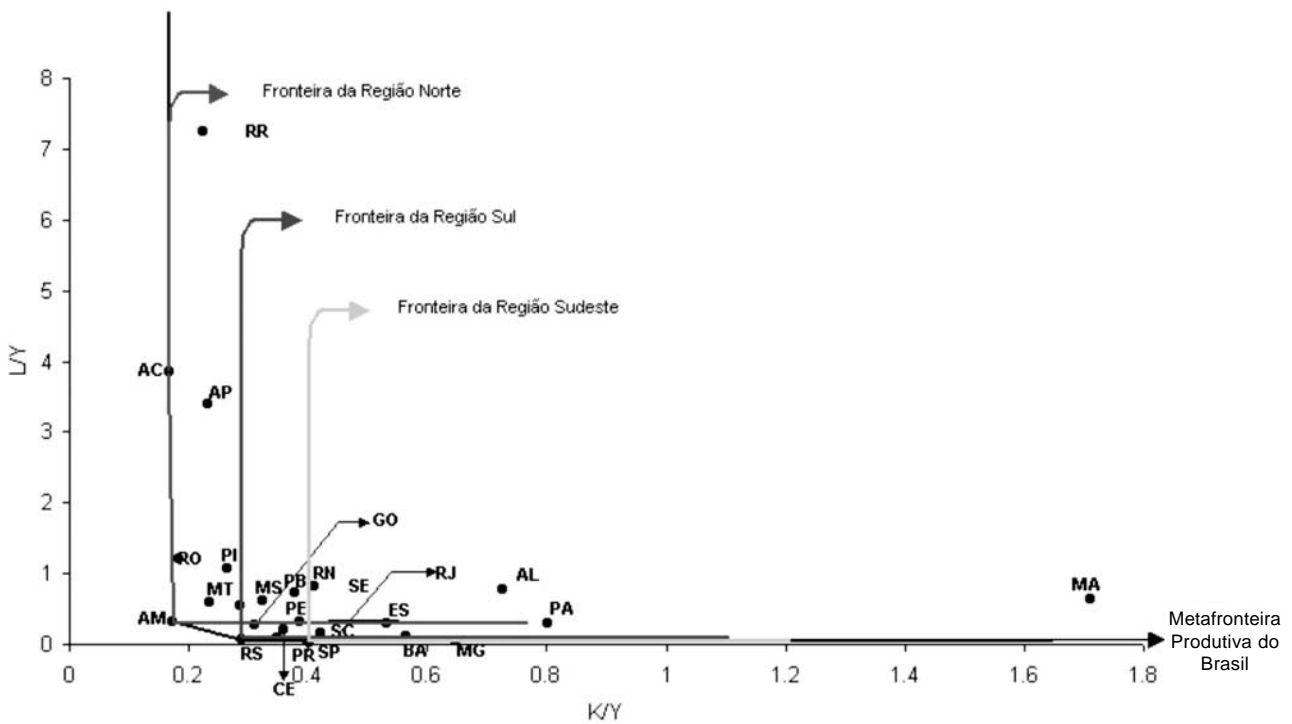


FIGURA 10
METAFRONTEIRA DE PRODUÇÃO DO BRASIL

FONTE: Tabela 2

numa versão reformulada em relação à versão original de Caves et al. (1982b), para analisar ganhos tecnológicos e de eficiência para uma amostra de 17 países da OECD no período de 1979-1988. No Brasil, o trabalho de Marinho e Ataliba (2000) utiliza o índice de produtividade total de Malmquist para analisar os ganhos de produtividade entre os Estados da região Nordeste do país e, mais recentemente, Marinho e Soares (2001) fazem o mesmo para todo o Brasil.

Nós definimos abaixo as duas versões do índice de produtividade total de Malmquist segundo Caves et al. (1982b) (identificado pelo subscrito CCD) e Färe et al. (1994) (identificado pelo subscrito FGMZ). Assim, temos que o índice de produtividade total de Malmquist_{CCD} é definido como:

$$M_{i,CCD}^t = \frac{D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)}, \text{ se a tecnologia referência é a tecnologia no período } t, \text{ e} \quad \text{V.1)}$$

$$M_{i,CCD}^{t+1} = \frac{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \text{ se a tecnologia referência é a tecnologia no período } t+1^9. \quad \text{V.2)}$$

Com o objetivo de evitar qualquer arbitrariedade na escolha da tecnologia de referência, Färe et al. (1994) redefinem o índice de produtividade total de Malmquist como sendo a média geométrica dos índices (V.1) e (V.2), isto é, Malmquist_{FGMZ} é definido como:

$$M_{i,FGMZ}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}; \mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) = \left[\left(\frac{D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \right) \times \left(\frac{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \right) \right]^{1/2} \quad \text{(V.3)}$$

⁹ As funções distância utilizadas na construção dos índices acima são definidas como segue:

$$D_i^s(\mathbf{x}^s, \mathbf{y}^s) = \sup \left\{ \delta; (\mathbf{x}^s / \delta, \mathbf{y}^s) \in T^s \right\} \text{ e}$$

$$D_i^s(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) = \sup \left\{ \delta; (\mathbf{x}^t / \delta, \mathbf{y}^t) \in T^s \right\} \text{ onde } T^s \text{ é a tecnologia disponível no período } s. \text{ Note que, se } s > t \text{ e houve progresso tecnológico, então } T^t \subset T^s.$$

Manipulações algébricas da expressão (V.3) nos permitem escrever a expressão acima como:

$$M_{i,FGMZ}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}; \mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) = \frac{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \times \left[\left(\frac{D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})} \right) \times \left(\frac{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \right) \right]^{1/2} \quad \text{(V.4)}$$

onde, a razão fora dos parênteses mede a variação da eficiência técnica relativa entre os anos t e $t+1$, aqui denominada de VET. A média geométrica das duas razões entre parênteses captura a variação tecnológica, denotada por VTC, entre os dois períodos avaliados em \mathbf{y}^t e \mathbf{y}^{t+1} . Seguindo a denominação utilizada por Färe et al. (1994), temos:

$$\text{VET} = \frac{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)}$$

$$\text{e VTC} = \left[\left(\frac{D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})} \right) \times \left(\frac{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \right) \right]^{1/2} \quad \text{(V.5)}$$

Para calcular a produtividade do Estado k entre t e $t+1$, nós precisamos resolver quatro diferentes problemas de programação linear a fim de se obter $D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)$, $D_i^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)$, $D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$ e $D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$; o primeiro e o último seguem a construção definida na seção 2. Para determinar $D_i^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)$, $D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$, resolvem-se os problemas de programação linear, nos moldes do que foi apresentado na seção 2, com algumas modificações em função da avaliação sob tecnologias diferentes.

Na seção 2, nós definimos o conceito de eficiência de escala denotada por S , como sendo a razão entre a eficiência técnica sob retornos constantes e a eficiência técnica sob retornos variáveis, a qual chamamos de eficiência técnica pura. Utilizando a recíproca entre a função distância orientada pelo insumo e a eficiência técnica orientada pelo

insumo, temos a seguinte relação: $S = D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) / D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | V) \Rightarrow D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | V) \times S$ ¹⁰. Substituindo o resultado acima na equação (V.5), obtemos:

$$VET = \frac{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} = \frac{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1} | V)}{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t | V)} \times \frac{S^t}{S^{t+1}},$$

onde S^t = eficiência de escala em t e S^{t+1} = eficiência de escala em $t+1$. Seguindo Färe et al. (1994), o primeiro termo do lado direito da última expressão é denominado de variação da eficiência técnica pura (VETP) e o segundo representa a variação de escala (VS). Assim, temos, respectivamente,

$$VETP = \frac{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1} | V)}{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t | V)} \text{ e } VS = \frac{S^t}{S^{t+1}}.$$

Consequentemente, $VET = VETP \times VS$, e a versão final do índice de produtividade total de Malmquist é definida como:

$$M_{i,FGMZ}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}; \mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) =$$

$$\frac{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1} | V)}{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t | V)} \times \frac{S^t}{S^{t+1}} \times \left[\left(\frac{D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})} \right) \times \left(\frac{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \right) \right]^{1/2}$$

VETP
VS
VTC

Para computar $D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | V)$, resolve-se o problema (2.1), apresentado na seção 2, impondo a restrição adicional $\sum_{k=1}^K \lambda^k = 1$ de convexidade sobre o conjunto que define a tecnologia da região analisada.

Como sempre, se o índice de produtividade total de Malmquist for maior que a unidade, então ocorreu ganho de produtividade. O mesmo ocorre com os componentes do índice, ou seja, se $VET > 1$, então o Estado obteve ganho em eficiência técnica; se, por outro lado, $VTC > 1$, então o

Estado obteve ganho de variação tecnológica. Vale lembrar que, se o índice de produtividade total de Malmquist for maior que a unidade, não significa que ocorreu ganho em todos os componentes do índice.

A seguir, nós apresentamos os principais resultados obtidos com o emprego da metodologia apresentada acima. Para uma visão geral dos resultados, a FIGURA 11, apresenta as trajetórias para as médias do índice de produtividade total e seus componentes.

Nota-se, pela FIGURA 11, que, em média, os ganhos em produtividade total dos Estados brasileiros se devem muito mais às variações tecnológicas que aos outros componentes. Em outras palavras, a inovação tecnológica vem sendo predominantemente a razão dos ganhos de produtividade dos Estados brasileiros.

Observa-se também que os ganhos de eficiência técnica pura são os que menos contribuem para os ganhos em produtividade. Neste sentido, o efeito da aproximação dos Estados na direção da fronteira tecnológica do país (efeito *catching up*) é irrelevante. Intuitivamente, podemos afirmar que esse efeito revela a capacidade de absorção da tecnologia disponível e que se difunde no território nacional. Sendo assim, os resultados desta seção nos mostram que a capacidade de absorção tecnológica é menos intensa quando comparada com a velocidade de difusão.

6 - CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, nas seções anteriores, mostram que as regiões mais eficientes do país no uso dos fatores de produção são Norte, Sudeste e Sul. É importante ressaltar que o fato de tais regiões tangenciarem a fronteira tecnológica nacional nos pontos de eficiência plena não implica que são as que na realidade determinam a tecnologia de referência do país, mas, sim, que são as mais eficientes no uso da tecnologia de que dispõem. Observou-se também que os ganhos em produtividade no país, de 1985 a 1998, se devem muito

¹⁰ $D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y} | V)$ denota a função distância orientada pelo insumo, avaliada numa tecnologia que exhibe retornos variáveis de escala.

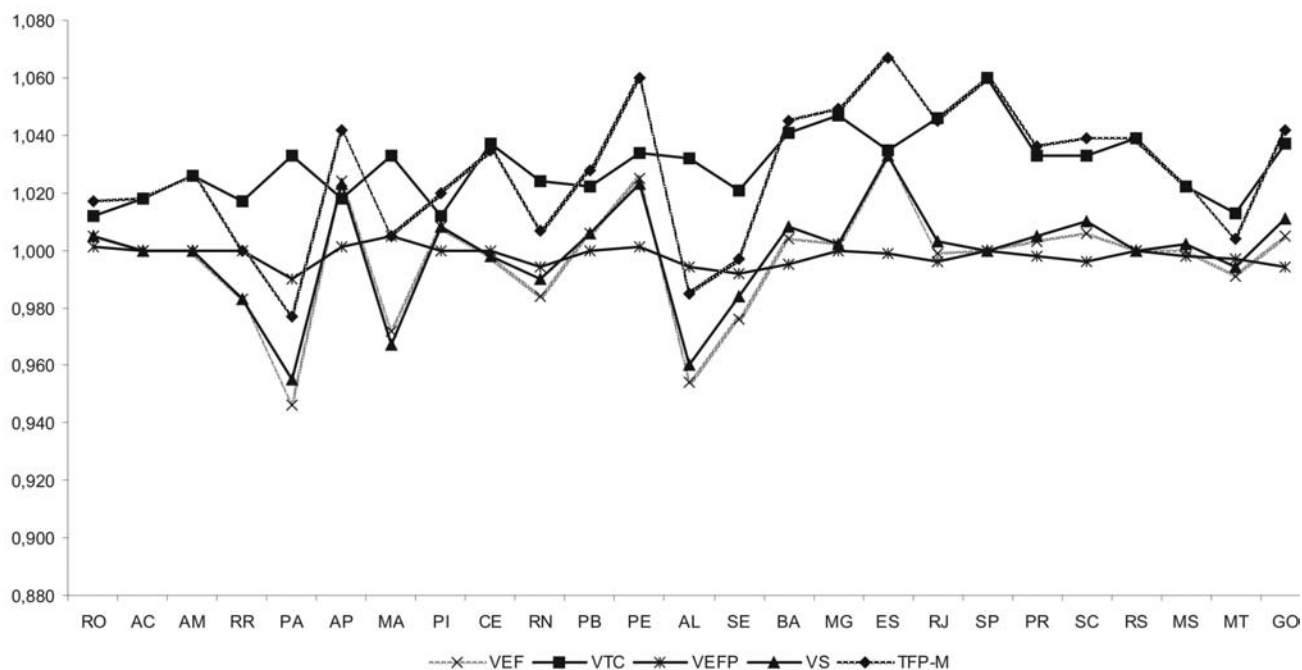


FIGURA 11

ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE DE MALMQUIST, VARIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA, VARIAÇÃO TECNOLÓGICA, VARIAÇÃO NA EFICIÊNCIA TÉCNICA PURA E VARIAÇÃO NA ESCALA MÉDIA DE 1985 A 1998.

FONTE: Tabela A1 no anexo.

mais aos ganhos tecnológicos no período do que aos ganhos em eficiência. Isto é comprovado pela decomposição do Índice de Produtividade Total de Malmquist, cuja estimação mostrou que, na média do período, a variação tecnológica sobressai aos demais componentes em quase todos os Estados brasileiros.

Abstract

This paper analyses the technical efficiency of states and regions of Brazil in the period 1985-1998. The methodological framework is based upon the concept of production frontier, where a non-parametric model estimates technical efficiency through Data Envelopment Analysis technique. In addition, Malmquist's total productivity index has been performed to decompose the gains in productivity into two components: technical efficiency variation and technological variation.

Key-words:

Technical efficiency, Total productivity, Technological variation

8 - REFERÊNCIAS

AFRIAT, S.N. **Efficiency estimation of production functions.** *International Economic Review*, v. 13, p. 568-598, 1972

AIGNER, D.; LOVELL, C.A .K.; SCHMIDT. **Formulation and estimation of estochstic frontier production function models.** *Journal of Econometrics*, v. 6, p. 21-37, 1977.

ARROW, K. J.; HURWICZ, L.; HIROFUMI, U. **Studies in linear and non-linear programming,** *Stanford.* California : Stanford University Press, 1958

BATTESE, G.E.T.J.; COELLI. Frontier production function, technical efficiency and panel data: with applications to paddy farmers in India. **Journal of Productivity Analysis**, v. 3, p. 153-169, 1992.

BATTESE, G.E.; COELLI. A model for technical efficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. **Empirical Economics**, v. 20, p. 325-332, 1995.

BATTESE, G.E.; PRASADA, D.S.; DEDI WALUJADI. **Technical efficiency and productivity potential of garment firms in different regions in Indonesia: a stochastic frontier using time-varying inefficiency model a metaproduction frontier**. Armidale: University of New England, 2001. (CEPA Working Papers, 7).

BOLES, J.N. Efficiency squared: efficiency computation of efficiency indexes. In: PROCEEDINGS OF THE ANNUAL MEETING OF THE WESTERN FARM ECONOMICS ASSOCIATION, 39., 1966. [S.l.], 1966. p. 137-142.

CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W.E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. **Econometrica**, v. 50, n. 6, p. 1393-1414, 1982.

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.

CHAVAS, J.P.; COX, T.L. A non-parametric analysis of productivity: the case of U.S and Japanese manufacturing. **American Economic Review**, v. 80, n. 3, p. 450-464, jun. 1990.

COELLI, T. A guide to DEAP version 2.1: **a data envelopment analysis - computer program**. Armidale: University of New England, 1996. (CEPA Working Paper 96/08).

COELLI, T.; RAO, D.S.P.; BATTESE, G.E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1998.

DEBREU, G. The coefficient of resource utilization. **Econometrica**, v. 16, p. 273-292, 1951.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, C.A. **The measurement of efficiency of production**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1985.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, C.A. **Production frontiers**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Productivity growth, and efficiency change in industrialized countries. **American Economic Review**, v. 84, n. 1, p. 66-83, 1994.

FARRELL, M. J. The measurement of productivity efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, n. 3, p. 253-82, 1957.

HAYAMI, Y. Sources of agricultural gap among selected countries. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 51, p. 564-575, 1969.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V.W. Agricultural productivity differences among countries. **American Economic Review**, v. 69, p. 895-911, 1970.

_____. **Agricultural developments: an international perspective**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1971.

INTRILIGATOR, M. D. **Mathematical optimization and economic theory**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1971.

RUTTAN, V.W. et al. Factor productivity and growth: a historical interpretation. In: BINSWINGER, H.P.; RUTTAN, V.W. (Ed.). **Induced innovation: technology, institution, and developments**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1978.

SEIFORD, L.M.; THRALL, R.M. Recent developments in DEA: the mathematical approach to frontier analysis. **Journal of Econometrics**, v. 46, p. 7-38, 1990.

SEIFORD, L.M. Data envelopment analysis: the evolution of the state of the art (1978-1995). **Journal of Productivity Analysis**, v. 7, p. 99-138, 1996.

SHEPARD, R.W. Theory of cost and production function. Princeton: Princeton University Press, 1970.

Recebido para publicação em 19.JUL.2002

ANEXO

TABELA A1
VARIAÇÃO DE EFICIÊNCIA TÉCNICA, VARIAÇÃO TECNOLÓGICA, VARIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA PURA, VARIAÇÃO DE ESCALA E ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE TOTAL DE MALMQUIST

Estados	VEF	VTC	VEFP	VS	TFP-M
RO	1.005	1.012	1.001	1.005	1.017
AC	1.000	1.018	1.000	1.000	1.018
AM	1.000	1.026	1.000	1.000	1.026
RR	0.983	1.017	1.000	0.983	1.000
PA	0.946	1.033	0.990	0.955	0.977
AP	1.024	1.018	1.001	1.023	1.042
MA	0.972	1.033	1.005	0.967	1.005
PI	1.008	1.012	1.000	1.008	1.020
CE	0.998	1.037	1.000	0.998	1.035
RN	0.984	1.024	0.994	0.990	1.007
PB	1.006	1.022	1.000	1.006	1.028
PE	1.025	1.034	1.001	1.023	1.060
AL	0.954	1.032	0.994	0.960	0.985
SE	0.976	1.021	0.992	0.984	0.997
BA	1.004	1.041	0.995	1.008	1.045
MG	1.002	1.047	1.000	1.002	1.049
ES	1.032	1.035	0.999	1.033	1.067
RJ	0.999	1.046	0.996	1.003	1.045
SP	1.000	1.060	1.000	1.000	1.060
PR	1.003	1.033	0.998	1.005	1.036
SC	1.006	1.033	0.996	1.010	1.039
RS	1.000	1.039	1.000	1.000	1.039
MS	1.000	1.022	0.998	1.002	1.022
MT	0.991	1.013	0.997	0.994	1.004
GO	1.005	1.037	0.994	1.011	1.042

FONTE: Estimativas dos autores.