

Produtividade, variação da eficiência técnica e tecnológica na agricultura dos municípios cearenses

Productivity, growth of technical efficiency in agriculture and technology of cearenses municipalities

Productivite, la croissance de l'efficacite technique dans l'agriculture et de la technologie des municipalités cearenses

Productividad, el crecimiento de la eficiencia técnica en la agricultura y la tecnología de municipios cearenses

William Bruno Cerqueira Araújo*

(mancalansu@yahoo.com.br)

Jair Andrade Araujo*

(jaraujoce@gmail.com)

Recebido em 05/11/2014; revisado e aprovado em 12/04/2015; aceito em 17/11/2015

DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/1984042X2016206>

Resumo: O artigo analisa a produtividade total, a eficiência técnica e a variação tecnológica do valor total da produção agrícola dos municípios cearenses no período entre 1970 a 2006, e utiliza o índice de produtividade total de Malmquist e o modelo de fronteira de produção estocástica. Verifica-se que o aumento dos investimentos pode contribuir para a redução das ineficiências técnicas na agricultura.

Palavras-chave: produtividade; eficiência; fronteira estocástica.

Abstract: The article analyzes the overall productivity, technical efficiency and technological change in total value of agricultural production of the municipalities of Ceará the period 1970-2006, we use the total productivity index and Malmquist model of stochastic frontier. It appears that the increase in investment can contribute to reducing technical inefficiencies in agriculture.

Key words: productivity; efficiency; frontier stochastic.

Résumé: Le document analyse la productivité globale, l'efficacité technique et le changement technologique dans la valeur totale de la production agricole des municipalités Ceará dans la période 1970-2006, et utilise l'indice de productivité totale Malmquist et le modèle de frontière stochastique. Il semble que l'augmentation de l'investissement peut contribuer à réduire les inefficacités techniques dans l'agriculture.

Mots-clés: productivité; efficacité ; frontier stochastique.

Resumen: El trabajo analiza la productividad en general, la eficiencia técnica y el cambio tecnológico en el valor total de la producción agrícola de los municipios de Ceará en el período de 1970 a 2006, y utiliza el índice de productividad total de Malmquist y el modelo de frontera estocástica. Parece ser que el incremento de la inversión puede contribuir a reducir ineficiencias técnicas en la agricultura.

Palabras clave: productividad; eficiencia; frontier estocásticos.

1 INTRODUÇÃO

A agropecuária desempenha importante função na economia brasileira, desde o descobrimento até os dias atuais, agindo como grande gerador de renda, empregos e divisas internacionais. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2012), a agropecuária brasileira contribuiu direta e indiretamente para a formação de 26% do Produto Interno Bruto (PIB), sendo responsável por 36% das exportações e por cerca de 40 milhões de empregos em 2011.

Dessa forma, sucederam transformações importantes a partir da década de 1960 na agropecuária brasileira por conta do processo de modernização e da atuação de políticas públicas destinadas a esse setor (STUKER, 2003). Porém, conforme Ferreira (2003), essa modernização não aconteceu de maneira homogênea entre as regiões do Brasil, favorecendo o Centro-Sul em detrimento da região Nordeste.

No Ceará, assim como na região Nordeste, esse setor tem exibido entraves, como a baixa produtividade dos fatores

* Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

empregados e a diferenciação de níveis tecnológicos praticados por pequenos e grandes produtores, sendo que parte considerável dos pequenos produtores cearenses se dedicam à agricultura de subsistência e não possuem organizações que forneçam assistência técnica, comercialização, transporte e comunicação (OLIVEIRA et al., 2005).

Admitindo a importância do setor agropecuário para a economia do Estado do Ceará, torna-se necessário analisar a eficiência técnica dos municípios cearenses, tendo em vista que trabalhos que se submetem a avaliar a eficiência técnica do setor agropecuário nesse Estado ainda são escassos. Exposto isto, o objetivo do artigo é estimar o modelo de fronteira estocástica e analisar a Produtividade Total dos Fatores (PTF), a eficiência técnica e tecnológica nos municípios cearenses. Trata-se de uma contribuição para a literatura empírica para a melhor compreensão dos reais fatores que contribuíram para o desempenho econômico do Ceará ao longo de 36 anos. Utilizaram-se dados dos censos agropecuários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) no período de 1970 a 2006.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Na intenção de quantificar e analisar os ganhos PTF agregada para a economia existem diversas metodologias, sendo que a contabilidade do crescimento é a mais habitual. O uso combinado dos métodos não-paramétricos Malmquist e DEA, que aceita que o crescimento da PTF seja decomposto entre a variação de eficiência e a taxa de progresso técnico foi utilizado pela primeira vez por Färe et al. (1994), ao recomendar essa metodologia e aplicá-la a um grupo de 17 países da OCDE¹.

Quanto ao Brasil, foi a partir dos anos 1990 que passou a existir uma maior abundância de estudos abarcando o tema da produtividade de um modo geral, com ênfase para o crescente interesse pela questão da sua mensuração, notadamente da PTF, de modo que tem se expandido consideravelmente a literatura de trabalhos empíricos aplicados

à economia brasileira a respeito desse tema. Após um período inicial de intenso e controverso debate sobre a produtividade no Brasil, pode-se dizer que se chegou a um consenso de que, de fato, a partir dos anos 1990, houve um aumento da produtividade no Brasil. No entanto, a PTF agregada brasileira é pouco explorada, pois a maioria dos estudos centra-se na mensuração da PTF em setores da indústria ou na agricultura (SILVA FILHO, 2001).

Em se abordando os estudos específicos a respeito da PTF na economia agregada, as contribuições que apoiam o debate no assunto aplicam, em sua multiplicidade, a metodologia de contabilidade do crescimento, sugerida por Solow (1957). O procedimento de DEA Malmquist é utilizado, sobretudo, em exames da PTF de regiões, comparativamente. Embora a teoria neoclássica tradicional pautar o comportamento de longo prazo do produto *per capita* à trajetória da PTF, é pequena a literatura que busca relacionar a estagnação dos anos 80, por exemplo, com o desempenho da PTF no Brasil.

Bonelli e Fonseca (1998) calcularam a PTF agregada a partir do produto potencial, usando como insumos, capital físico e trabalho. Utilizando o método da contabilidade do crescimento, eles estimaram uma função Cobb-Douglas agregada para a economia brasileira para o período de 1974 a 1996. Os resultados apontam elevadas taxas de crescimento da PTF de 1971 a 1973, período do milagre econômico, e queda nos anos até cerca de 1980, creditada ao avanço do estoque de capital, que reduziu excessivamente o crescimento da PTF. Ademais, eles chegaram à conclusão de que, na recessão de 1981/1983, houve nova desaceleração da PTF.

Em 2001, Castelar, Ataliba e Tavares (2001) estudaram a PTF para estados brasileiros no período 1986 a 1998, sobressaindo a influência da educação como decisivo na produtividade, a partir da contabilidade do crescimento. Em relação à mensuração da PTF, Pernambuco configurou-se como o primeiro (apesar de ter ficado na décima posição quando se passou a avaliar a contribuição da PTF ao crescimento econômico), seguido pelos estados do Sudeste.

Também baseado na teoria neoclássica e partindo da suposição que PTF é um conceito relativo, Gomes, Pessôa e Veloso (2003) su-

¹ A Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) é integrada por países ricos.

geriram uma decomposição alternativa do crescimento e, a partir dela, avaliaram comparativamente o desempenho da economia brasileira em relação a um conjunto de países. Para 1950/2000, eles procuraram identificar em que grau a PTF reflete características particulares de sua própria economia ou fatores comuns a outras também e, para isso, dividiram a produtividade em duas parcelas: evolução da produtividade total dos fatores descontada (PTFD), que é a componente de produtividade específica do país, correspondente à diferença entre a evolução da PTF e a fronteira tecnológica e evolução da fronteira tecnológica, constante e comum a todas as economias².

Ferreira e Araujo (2014) também estudaram a PTF agrícola no Brasil e sua decomposição no período 1970 a 2006, com informações do Censo Agropecuário. Os resultados mostram uma variação na PTF agropecuária brasileira positiva, tendo o estado do Mato Grosso expressado maior variação, seguido por Rio Grande do Norte, Amapá e Piauí. Estados importantes para a agropecuária brasileira, como Bahia, Minas Gerais e São Paulo, permaneceram com as variações na PTF positivas. Espírito Santo e Minas Gerais foram os únicos estados que apresentaram variação maior que em relação à eficiência técnica.

3 FRONTEIRA DE PRODUÇÃO ESTOCÁSTICA

Na agricultura do Brasil, uma das iniciais adoções do modelo de fronteiras estocásticas se deu por Taylor e Shonkwiler (1986). Os autores tinham o objetivo de comparar a eficiência técnica entre estabelecimentos recebedores e não recebedores de crédito do Banco Mundial por meio do Programa de Desenvolvimento Integrado da Zona da Mata, voltado à microprodutores dessa região de Minas Gerais. Por meio do modelo de fronteiras estocásticas, os autores mediram que as médias de eficiência para participantes e não participantes seriam 0,714 e 0,704, respectivamente, não sendo significativamente distintos.

² Com cálculo baseado no comportamento de longo prazo do produto por trabalhador verificado nos Estados Unidos.

Dando atenção a outra região do país, Iglioni (2005) analisou a eficiência técnica dos produtores agropecuários da Amazônia Legal. Para tanto, foram usados dados de 257 áreas mínimas comparáveis (AMCs) da região, com base no Censo Agropecuário de 1996. Em meio aos principais resultados do modelo de efeitos de ineficiência estimado por Iglioni (2005), apresenta-se que o custo de transporte em relação a São Paulo afetaria negativamente a eficiência dos produtores agrícolas na Amazônia, como é acreditado pela teoria da economia espacial, conforme aponta o autor.

Magalhães et al. (2011) estudaram os determinantes da ineficiência técnica de beneficiários do programa de reforma agrária "Cédula da Terra" em cinco estados da região norte do país, entre os anos de 2002 e 2003. Entre seus resultados, sobressaem aqueles em que o fator que causa a produção seria essencialmente o trabalho. Em relação às variáveis do modelo de efeitos de ineficiência, para afora das *dummies* estaduais, apenas a respectiva ao autoconsumo da produção pelos estabelecimentos revelou-se significativa - seu efeito negativo a propósito da eficiência seria lógico com a ideia de tal variável como indicadora de beneficiários em estágios iniciais de utilização das soluções providos pelo projeto "Cédula da Terra".

Recentemente, Souza e Teixeira (2013) estudaram a estimativa PTF, via índice de Malmquist, para as culturas de cana-de-açúcar, milho e soja, na agricultura de Goiânia no Brasil. Concluíram que, no primeiro estágio considerado, ou seja, de 1985-2006, a grande maioria das microrregiões produtoras obtiveram consideráveis ganhos em produtividade, ilustrando que, no ano de 2006, os níveis de produtividade foram maiores do que os observados em 1985. Esse resultado foi condicionado, em grande medida, pela variação positiva do subíndice de mudança tecnológica.

No Ceará, Sousa Júnior (2003) usou DEA para realizar a análise da eficiência técnica, alocativa e econômica de uma amostra com 68 produtores de camarão, representando uma população de 210 produtores. Os insumos que o autor utilizou na pesquisa foram: pós-larvas, trabalho contratado, produtos para correção, ração,

fertilizante, defensivos e energia elétrica. Da totalidade, foram avaliados 38 como eficientes. Foi constatada uma possível diminuição de insumos dos produtores ineficientes em torno de 19,11%.

Um aspecto muito importante a ser lembrando nesta revisão de literatura é que diferentes autores, com distintos objetos de estudo e bases de dados, abordaram o problema de medir o desempenho dos produtores agropecuários de jeitos bastante distintos. A especificação tomada no presente trabalho baseou-se na literatura referente à eficiência técnica da agropecuária, porém foi também limitada pela base de dados, indicada a seguir.

4 METODOLOGIA

Base de dados

A área geográfica do estudo é o estado do Ceará, localizado na região Nordeste do Brasil, que possui uma área de 148.825,602 Km² e uma população de 8.778.575, segundo o IBGE. A região tem 341.479 estabelecimentos agropecuários que ocupam uma área de 7.922.214 ha (IBGE, 2006).

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes do IPEA e IBGE, no qual abrangem insumos referentes a valor da produção, área colhida, pessoal ocupado, número de tratores e investimento dos municípios cearenses.

O Valor da produção corresponde aos setores de lavouras (permanentes e temporárias), que representa quase 85% do valor total da produção do setor agrícola. A área colhida foi obtida a partir das áreas colhidas com lavouras temporárias e permanentes. O trabalho diz respeito ao pessoal ocupado, abrangendo os responsáveis e membros da família, empregados temporários e permanentes, parceiros e outras condições; o Valor total dos bens representado pelo valor total dos bens de cada município.

Para modelar a ineficiência, foi utilizada a seguinte informação: Investimento em capital, que assume a parcela da renda designada ao aumento do estoque de capital. Foi medido a partir da relação entre o valor da produção do setor de lavouras e os gastos anuais com investimento em capital.

Cento e trinta e seis³ municípios foram pesquisados nas sete mesorregiões⁴ cearenses (Centro-Sul, Jaguaribe, Fortaleza, Noroeste, Norte, Sertões e Sul). Os dados são séries temporais organizadas em painel e referem-se aos Censos Agropecuários dos anos 1970, 1975, 1980, 1985, 1995⁵, 2006. Ressalta-se que todos os valores monetários foram corrigidos para o ano de 2006 por meio do deflator do PIB agropecuário.

A escolha do valor da produção total como variável dependente reside no fato de que essa variável é a que melhor representa o ganho (ou receita) de cada propriedade agropecuária.

5 FRONTEIRA ESTOCÁSTICA E DECOMPOSIÇÃO DA PTF

Utiliza-se a análise de Fronteira Estocástica de Produção, que constitui um dos métodos adotados na literatura sobre ineficiência técnica, por meio do qual se obtém um dos componentes da PTF.

A análise de fronteira estocástica tem sua origem nos artigos de Aigner, Lovell e Schmidt (1977), seguidos dos trabalhos de Battese e Corra (1977). Esses trabalhos originais apresentam dentro do contexto de fronteira de produção, o termo de erro definido de modo estruturalmente composto. A partir daí, surgiram diversas colaborações de diferentes autores, sendo a de Battese e Coelli (1995) a que modela a ineficiência técnica como sendo variante ao longo do tempo, formalizando a ineficiência técnica de produção de fronteira estocástica para dados em painel. No presente artigo, adota-se o modelo proposto por Battese e Coelli (1995). Dessa forma, o modelo de fronteira estocástica de produção pode ser descrito pela equação abaixo, onde Y_{it} é o vetor de quantidades produzidas pelos vários municípios no período t , x_{it} é o vetor de fatores de produção usados no período t e β é o vetor de parâmetros definindo a tecnologia de produção.

³ Foram utilizados apenas 136 em vez de 184 municípios por conta da necessidade de excluir municípios que possuíam dados em falta.

⁴ Os valores encontrados no DEA-Malmquist referem-se aos municípios, mas, por questão de organização, os resultados foram alocados em mesorregiões.

⁵ No ano de 1995, o IBGE aceitou como período de referência ao ano agrícola (95/96) o oposto dos anos anteriores, que foi o ano civil.

$$y_{it} = f(t, x_{it}, \beta) \cdot \exp(v_{it}) \cdot \exp(-u_{it}), u_{it} \geq 0 \quad i=1, \dots, N, t=1, \dots, T \quad (1)$$

Os termos v_{it} e y_{it} são vetores que representam componentes distintos do erro. O primeiro refere-se à parte aleatória do erro, com distribuição normal, independente e identicamente distribuída, truncada em zero e com variância constante σ_v^2 , enquanto o segundo termo representa a ineficiência técnica, ou seja, a parte que constitui um desvio para baixo com relação à fronteira de produção, o que pode ser inferido pelo sinal negativo e pela restrição $u \geq 0$. São variáveis aleatórias não negativas com distribuição normal truncada em zero, independentemente distribuída (não identicamente) com média μ_{it} e variância constante σ_u^2 . Os componentes de erro são independentes entre si e x_{it} é suposto ser exógeno, portanto, o modelo pode ser estimado pela técnica de máxima verossimilhança.

Os efeitos da ineficiência técnica, e_{it} , têm sua especificação expressa sob as seguintes características: $e_{it} = z_{it}\delta + w_{it}$, em que z_{it} é um vetor de variáveis explicativas da ineficiência técnica da i -ésima unidade produtiva (município) e medida no tempo t ; δ é um vetor de parâmetros associados às variáveis z_{it} ; w_{it} é uma variável aleatória com distribuição normal com média zero e variância σ_w^2 .

6 DECOMPOSIÇÃO - O ÍNDICE DE MALMQUIST

Utiliza-se o método de análise descrito por Coelli et al, (1998) para a obtenção da estimação de variação na PTF e a decomposição em seus componentes de mudança - mudança técnica e mudança na eficiência técnica.

Funções de distância são muito utilizadas para analisar a eficiência e a produtividade. Uma função distância insumo-orientada coloca a tecnologia da produção como a mínima contração proporcional do vetor insumo, dado um vetor produto, já uma função distância produto-orientada considera a máxima expansão proporcional do vetor produto, dado um vetor insumo (COELLI et al., 1998). Neste estudo, foi considerada a função distância produto-orientada, que, segundo Coelli et al. (1998), é definida no conjunto de produção $P(x)$ como:

$$d_0(x, q) = \inf\{\delta : (q|\delta) \in P(x)\} \quad (2)$$

A função distância assumirá o valor um,

se “ q ” estiver localizado sobre a fronteira do conjunto de produção factível, e assumirá um valor maior que um, se “ q ” estiver fora do conjunto de produção factível; além disso, a função distância $d_0(x, q)$ terá um valor menor ou igual a um, se o vetor de produto “ q ” for um elemento do conjunto de produção factível, $P(x)$.

A função distância orientada pelo produto terá o valor, para o município que utiliza o nível de insumo “ x ” no período “ t ” para produzir o produto “ q_t ”, correspondente à razão entre a distância do produto “ q_t ” do i -ésimo município e a fronteira de produção, que pode ser representado da seguinte maneira:

$$d_0^t(x_t, q_t) = q_t / F(x_t) \quad (3)$$

Onde:

$$F(x_t) = \max\{q_t : (x_t, q_t) \in P(x)\} \quad (4)$$

$F(x_t)$ indica a produção máxima na qual pode ser obtida dada a tecnologia e o nível de insumo dado. O índice de Malmquist é determinado empregando o conceito de funções distâncias, as quais permitem apresentar uma tecnologia de produção sem apontar uma função objetivo comportamental; essas funções distâncias podem ser definidas como orientadas pelo insumo ou orientadas pelo produto.

O índice de PTF de Malmquist afere a mudança na PTF dentre dois períodos, calculando a razão da distância de cada período relacionado a uma tecnologia comum; se a tecnologia do período “ t ” for usado como referência, o índice de mudança de PTF de Malmquist (Produto-orientado) entre período “ s ” e período “ t ” pode ser descrito da seguinte forma (COELLI et al., 1998):

$$m_0^t(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^t(q_s, x_s)} \quad (5)$$

Se a tecnologia do período “ s ” for usada como referência, esse índice é definido como:

$$m_0^s(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \quad (6)$$

em que $d_0^t(q_t, x_t)$: é a função distância orientada pelo produto no período “ t ”; $d_0^s(q_s, x_s)$: é a função distância orientada pelo produto no período “ s ”.

Rearranjado o índice de produtividade representada pela função distância para

mostrar que é equivalente ao produto de índice de variação da eficiência técnica e o índice de mudança técnica tem-se:

$$\text{variação da eficiência técnica} = \frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \quad (7)$$

e

$$\text{variação técnica} = \left[\frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \times \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^t(q_s, x_s)} \right]^{1/2} \quad (8)$$

Isto mostra que é possível decompor o índice de produtividade total de Malmquist nos índices de variação de eficiência técnica e variação técnica, podendo, dessa forma, identificar qual dos índices representa a maior influência sobre a variação da produtividade total dos fatores.

7 MODELO ECONOMÉTRICO

Os dados amostrais utilizados para a estimação do modelo econométrico foram obtidos dos Censos Agropecuários (IBGE) e do IPEA,

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^{24} \alpha_k + \sum_{i=1}^4 \beta_k \ln X_{kit} + 2 \sum_{k < l=1}^4 \beta_{kl} (\ln X_{kit}) (\ln X_{lit}) \quad (9)$$

$$+ \sum_{k=l=1}^4 \beta_{kl} (\ln X_{kit}) (\ln X_{lit}) + \sum_{k=1}^4 \beta_{kt} \ln(X_{kit}) \cdot t + \beta_t t + \beta_{tt} t^2 + V_{it} - U_{it}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, N_j \text{ e } t = 1, 2, 3, \dots, T$$

A ineficiência técnica, U_{it} , é modelada de acordo com a equação:

$$U_{it} = \delta_0 + \sum_{k=1}^6 \delta_k Z_{kit} + w_{it} \quad (5), \text{ onde } i = 1, 2, 3, \dots, N_j \text{ e } t = 1, 2, 3, \dots, T$$

no qual os subscritos i e t são, respectivamente, a i -ésima unidade dos municípios do Ceará e o t -ésimo período de tempo; Y representa o valor produção agrícola, em R\$1.000,00; X_1 representa área colhida, em hectares; X_2 representa o trabalho; X_3 refere-se ao valor total dos bens, em R\$1.000,00; e, t é o ano da observação, em que $t = 1, 2, \dots, 5$ representa os anos entre 1970 e 2006; V_{it} e U_{it} são variáveis aleatórias definidas anteriormente; Z_1 representa o investimento em capital; Z_2 refere-se ao tempo; W_{it} são variáveis aleatórias não observáveis, independentes e normalmente distribuídas com média zero e variância constante σ_w^2 .

e são dados anuais referentes a 136 municípios cearenses no período de 1970 a 2006, formando um painel de dados com 816 observações.

Os níveis de eficiência foram obtidos empregando-se o modelo paramétrico de estimação de fronteira estocástica, com distribuição normal-truncada, por meio do Método de Máxima Verossimilhança. A função de produção translog é utilizada como suposição básica quanto à função de produção para depois estimar os índices Malmquist.

Outro ponto a destacar é que a estimação da fronteira de produção foi feita com a agregação de todos os produtos, utilizando como variável dependente a valor da produção total agropecuária. As variáveis exógenas foram: área total colhida, pessoal ocupado, valor total dos bens e investimento como fator de ineficiência.

A forma em função especificada para representar a tecnologia de produção agrícola dos municípios cearenses (função de produção) para dados em painel é uma função translog⁶ descrita por:

⁶ Geralmente a forma funcional Cobb-Douglas é empregada em virtude da simplicidade de sua estimação. Contudo, utilizando-se os dados amostrais, fez-se o teste da razão de verossimilhança generalizada o qual sugeriu que a forma funcional translog é mais adequada do que a Cobb-Douglas. Além disso, a translog é uma aproximação de segunda ordem para qualquer outra função de produção e também produz elasticidades variáveis, diferente do que ocorre com a Cobb-Douglas. Outro ponto a salientar é que o produto na translog é elucidado pelas interações entre os fatores de produção.

A função de máxima verossimilhança foi reparametrizada em termos do parâmetro $\gamma = \sigma_u / (\sigma_u + \sigma_v)$ para que os efeitos da ineficiência técnica do modelo possam ser verificados por meio de testes estatísticos. Considerando γ estatisticamente igual a zero, não há influência da ineficiência técnica no modelo, permitindo-se então aplicar mínimos quadrados ordinários para efeito de estimação dos parâmetros. Quão mais perto γ estiver de um, maior é a importância da ineficiência técnica.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na presente seção, primeiramente são apresentados e debatidos os resultados dos ajustamentos das fronteiras de produção. As estimações dos parâmetros das fronteiras de produção e os valores dos testes estatísticos estão apresentados na Tabela 1. Foi estimada a função de produção com retornos constantes de escala, impedindo assim que parâmetros

associados a algumas variáveis sejam estimados, sendo posteriormente calculados com base nos valores de outros parâmetros, desse modo não apresentando as estatísticas.

Para averiguar se há influência dos efeitos da ineficiência técnica no modelo foram avaliadas as hipóteses nula e alternativa, $H_0: \gamma = 0$ versus $H_1: \gamma > 0$, empregando-se o teste da razão de verossimilhança (LR). Aplicou-se também o teste para verificar a melhor forma funcional e posteriormente determinar se a função possui ou não progresso técnico. Nesse último, o H_0 representou a translog sem progresso técnico e H_1 representou a translog com progresso técnico, baseado nesse teste verificou-se que a hipótese nula foi rejeitada para a fronteira de produção⁷. Desse modo, o método de estimação proposto é mais adequado que a translog sem progresso técnico. O valor de γ para a função de produção indicou que 73,54% das variações residuais se devem aos efeitos da ineficiência técnica.

Tabela 1 – Estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros da fronteira de produção agrícola e do modelo de ineficiência técnica dos municípios cearenses - 1970 a 2006.

Variável		Coefficientes	Z	P> z
Fronteira Estocástica				
Constante	β_0	-0.9729208	-3.79	0.000
Terra	β_1	-0.7519189	-	-
Trabalho	β_2	-0.5502611	-2.34	0.019
Valor Total dos Bens	β_3	2.30218	12.17	0.000
Terra x Trabalho	β_{12}	0.3886474	8.57	0.000
Terra x Valor Total dos Bens	β_{13}	-0.1636903	-3.69	0.000
Trabalho x Valor Total dos Bens	β_{23}	-0.1963654	-3.43	0.001
(Terra) ²	β_{11}	-0.2249571	-	-
(Trabalho) ²	β_{22}	-0.192282	-	-
(Valor Total dos Bens) ²	β_{33}	0.3600557	-	-
Terra x Tempo	β_{1t}	0.1144959	-	-
Trabalho x Tempo	β_{2t}	0.0010331	0.03	0.974
Valor Total dos Bens x Tempo	β_{3t}	-0.115529	-3.66	0.000
(Tempo) ²	β_{tt}	0.4638843	13.96	0.000
Ineficiência				
Constante	δ_0	-0.07535	-1,69	0.0920
Investimento	δ_1	-0.0332	-9.25	0.0000
Tempo	δ_2	1.216889	10.86	0.0000
Variância				
	σ^2	0.003891	-	-
	γ	0.7354588	-	-
	LR	176.4131	-	-
Verossimilhança		1255.4008	-	-

Fonte: estimativa do autor.

⁷ O valor crítico para um teste de tamanho $\alpha = 0.05$ é igual ao valor 8.76, que obedece a $X_1^2(2\alpha)$. O LR é dado por $LR = -2\{\ln[L(H_0)] - \ln[L(H_1)]\}$, onde $\ln[L(H_0)]$ e $\ln[L(H_1)]$ são, concomitantemente, os valores das funções de logverossimilhança sob as hipóteses nula e alternativa (COELLI; RAO; BATTESE,1998).

Verificando-se os parâmetros do modelo de ineficiência associado à fronteira de produção, constatou-se que o coeficiente relacionado à variável “investimento” mostrou-se significativo e com sinal esperado. De tal modo, verifica-se que o investimento contribui para a redução da ineficiência técnica da produção agrícola. O sinal associado à variável “Investimento” indica que a ineficiência diminui à medida que cresce o capital aplicado nos municípios estudados (Tabela 1).

Porém a variável “Terra”, que representa a área colhida, apresentou sinal negativo, provavelmente indicando uma colheita abaixo do esperado em relação aos insumos utilizados. O motivo se dá, talvez, pela sensibilidade agrícola às mais variadas intempéries, como pragas, doenças, secas, entre outros. A variável “Valor Total dos Bens” apresenta sinal esperado, sugerindo que um valor alto relacionado ao valor total dos bens contribui para uma elevada eficiência técnica (Tabela 1).

Tabela 2 – Índices de variação da produtividade total dos fatores, variação da eficiência técnica e variação tecnológica das mesorregiões cearenses de 1970 a 2006.

Ano	Centro-Sul	Jaguaribe	Fortaleza	Noroeste	Norte	Sertões	Sul
Variação da Eficiência Técnica							
1970	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1975	1.0587	1.0460	1.0212	1.0573	1.0648	1.0794	1.0413
1980	1.0045	1.0229	0.9913	1.0326	1.0201	1.0581	1.0089
1985	1.0427	1.0489	1.0089	1.0583	1.0447	1.0790	1.0077
1995	1.0979	1.1596	1.0738	1.1551	1.1312	1.2483	1.0607
2006	1.0645	1.1558	0.9677	1.1309	1.1851	1.2564	0.9511
Variação Tecnológica							
1970	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1975	0.9718	0.9695	0.9812	0.9656	0.9692	0.9680	0.9683
1980	0.9909	0.9850	1.0222	0.9693	0.9801	0.9816	0.9793
1985	0.9906	0.9821	1.0167	0.9648	0.9783	0.9826	0.9802
1995	0.8960	0.8790	0.9616	0.8582	0.8751	0.8799	0.8797
2006	1.2241	1.1658	1.3612	1.1058	1.1572	1.1783	1.1619
Variação na PTF							
1970	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1975	1.0288	1.0141	1.0017	1.0207	1.0320	1.0450	1.0083
1980	0.9949	1.0075	1.0129	1.0009	0.9995	1.0387	0.9880
1985	1.0329	1.0302	1.0253	1.0211	1.0219	1.0604	0.9875
1995	0.9835	1.0197	1.0255	0.9913	0.9897	1.0984	0.9326
2006	1.3003	1.3499	1.3036	1.2470	1.3721	1.4790	1.1024

Fonte: estimativa do autor.

Nota-se, ainda, que as variáveis que representam a interação entre a terra e o tempo, trabalho e terra e tempo² apresentaram sinais positivos, ou seja, contribuem para a produção nos municípios cearenses (Tabela 1).

Na Tabela 2, são apresentados os resultados referentes às variações da eficiência técnica e as variações tecnológicas para as mesorregiões cearenses⁸, que constituem a decomposição da produtividade total dos

fatores, considerando-se as tecnologias disponíveis para os municípios. Observa-se que, na variação da eficiência técnica, houve ganhos para a maioria das mesorregiões no período analisado.

Em relação à variação tecnológica, apresentaram progresso, ou seja, tiveram deslocamento da fronteira de produção na maioria das mesorregiões (Tabela 2). Gomes, Alcantara Filho e Scalco (2009) demonstraram que a função agropecuária no Nordeste deixou de ser exclusivamente forte em relação ao trabalho empregado para o ser em capital, o que corrobora com os resultados encontrados.

⁸ Os 136 municípios cearenses abrangidos por esse estudo foram alocados em mesorregiões para que se tenha um melhor aproveitamento do espaço, em anexo é possível visualizar as mesorregiões que cada município pertence.

Com base nesses dados, as mesorregiões do Ceará apresentaram ganhos na variação da eficiência técnica e também obtiveram ganhos na variação tecnológica.

Na mesorregião Centro-Sul a variação tecnológica foi de aproximadamente 22,41%, enquanto obteve ganho de eficiência de 6,45%. Em termos de variação tecnológica, as mesorregiões que mais se destacaram foram a Região Metropolitana de Fortaleza e Centro-Sul, com variações de 36,12% e 22,41%, respectivamente. De outro modo, a mesorregião Noroeste apresentou o pior desempenho, apresentando uma variação de 10,58%.

Ao longo do tempo compreendido dentre os anos de 1970 e 2006, a agricultura apresentou perdas e ganhos de produtividade. A mesorregião Sertões exibiu o ganho de produtividade mais acentuado, aproximadamente 47,90%. Seguidas por Norte (37,21%) e Jaguaribe (34,99). As mesorregiões Centro-Sul, Região Metropolitana de Fortaleza e Noroeste apresentaram ganhos na (PTF) com 30,03%, 30,36% e 24,70% respectivamente. A mesorregião Sertões teve um acréscimo de apenas 10,24%.

Trabalhos referentes à eficiência técnica e fronteiras de produção são escassos no que tange às mesorregiões cearenses. Comparando-se esses resultados com o de Barbosa e Sousa (2012), verificam-se diferenças aos dos obtidos pelo autor, que, utilizando o índice de Malmquist, verificou que o ganho de produtividade da agricultura das mesorregiões cearenses Jaguaribe e Centro-Sul foram piores, e que a mesorregião Metropolitana de Fortaleza obteve os melhores índices de eficiência técnica. As diferenças talvez sejam explicadas porque Barbosa e Sousa (2012) utilizaram um total de 167 municípios cearenses, enquanto neste trabalho foram utilizados apenas 136; outro fator importante é que o insumo "terra" utilizado para efeito de cálculo foi diferente, ao invés de utilizar área colhida como neste trabalho, foi utilizado área plantada.

Um ponto a ser mais bem entendido a partir dos resultados exibidos é o motivo pelo qual as mesorregiões cearenses mostraram divergências em relação ao modelo de evolução da produtividade total dos fatores e a eficiência técnica no setor agropecuário. Apesar do modelo exposto não deixar que se faça nenhuma dedução em questão aos

fatores geradores desse comportamento, a literatura que analisa o crescimento endógeno das economias tem buscado explicar, tanto do aspecto teórico quanto empírico, esse padrão diferenciado relacionando-o às diferenças na dotação de capital humano entre as regiões (LUCAS, 1988).

Os métodos de concepção, difusão e incorporação de novas técnicas agropecuárias em cada mesorregião estão inteiramente associados aos seus graus de investimentos diretos na qualificação de capital humano e em pesquisa e desenvolvimento. Desse modo, a condição de qualificação dos trabalhadores rurais impõe a adoção de novas tecnologias agrícolas. As mesorregiões Norte, Centro-Sul, Sertões, Jaguaribe e Região Metropolitana de Fortaleza oferecem os maiores agrupamentos relativos de institutos de pesquisas agrícolas e capital humano com boa qualificação, enquanto nas regiões Noroeste e Sul estão os mais baixos índices.

Na Tabela 3, são expostos os resultados do índice acumulado das variações tecnológicas, variações da eficiência técnica e da produtividade total dos fatores na agropecuária dos municípios cearenses.

Tabela 3 - Índices cumulativos de variação tecnológica, variação na eficiência técnica e variação na Produtividade Total dos Fatores do setor agropecuário dos municípios cearenses.

Período	VET	VT	PTF
1970	1.0000	1.0000	1.0000
1975	1.0560	0.9690	1.0230
1980	1.0243	0.9816	1.0046
1985	1.0427	0.9797	1.0215
1995	1.1290	0.8797	0.9910
2006	1.0646	1.1648	1.2360
Média	1.0305	0.9923	1.0428

Fonte: estimativa do autor.

De acordo com a tabela 3, verifica-se que ocorreram ganhos em alguns anos e crescimento em outros, mas o índice cumulado mostra ganhos de produtividade.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi avaliar a importância de insumos como valor da produção, área colhida, pessoal ocupado, número de tratores e investimento em relação

à eficiência técnica do setor agropecuário nos principais municípios cearenses. Utiliza-se a fronteira de produção estocástica por meio da agregação de culturas produzidas por cada município e comparação da produtividade total, variação da eficiência técnica e variação tecnológica da agricultura no Ceará e obteve-se as conclusões a seguir.

Com base nos resultados obtidos da estimativa da função de produção, pode-se concluir que os investimentos e o valor total dos bens têm importante influência na atividade agrícola dos municípios cearenses. As duas atuam no sentido de aumentar a eficiência técnica da produção agrícola. Contudo a variável Trabalho e variável Terra apresentaram efeitos negativos, o que indica que o aumento do uso dos fatores trabalho e terra não aumentarão o valor da produção.

Em relação à produtividade total, todas as mesorregiões cearenses apresentaram ganhos médios de produtividade total, sendo que as variações na eficiência técnica tiveram maior influência que as variações tecnológicas no sentido de explicar os incrementos de produtividade. A mesorregião Região Metropolitana de Fortaleza apresentou perda de variação de eficiência técnica enquanto todas as mesorregiões Centro-Sul, Jaguaribe, Noroeste, Norte, Sertões e Sul obtiveram ganhos. Em relação à variação tecnológica, todas as regiões acumularam ganhos ao longo do período, sendo que as mesorregiões que mais se destacaram foram a Região Metropolitana de Fortaleza e Centro-Sul.

REFERÊNCIAS

- AIGNER, D. J.; LOVELL, C. A. K. SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production functions models. *Journal of Econometrics*, v. 6, p. 21-37, 1977.
- BATTESE, G. E.; CORRA, G. S. Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone of eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Economics*, v. 21, n. 3, p. 169-179, dez. 1977.
- BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. A model for technical inefficiency effects in stochastic frontier production functions for panel data. *Empirical Economics*, Vienna, v. 20, p. 325-332, 1995.
- BARBOSA, W. F.; SOUSA, E. P. *Eficiência técnica e de escala da agropecuária no estado do Ceará*. In: SEMANA DE ECONOMIA DA URCA - SECON, XIV., 2012, Juazeiro do Norte, CE. *Anais...* Juazeiro do Norte: Urca, 2012. p. 1-6. Disponível em: <<http://seconurca.com.br/index.php/anais-xiv-secon-2013/>>. Acesso em: 5 dez. 2013.

BONELLI, R.; FONSECA, R. Ganhos de produtividade e de eficiência: novos resultados para a economia brasileira. *Textos para Discussão - IPEA*, Rio de Janeiro, n. 557, 1998.

CASTELAR, L. I. M.; ATALIBA, F.; TAVARES, J. M. Mensuração da produtividade total dos fatores para os estados brasileiros, sua contribuição ao crescimento do produto e influência da educação: 1986-1998. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 32, número especial, p. 633-653, jul. 2001.

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. United States of America: Springer. 1998.

FÄRE, R. et al. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *American Economic Review*, Pittsburg, v. 84, n. 1, p. 66-83, 1994.

FERREIRA, M. O. *Crescimento e transformações estruturais da agropecuária cearense*. 2003. 118f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

FERREIRA, Caliane, B.; ARAUJO, J.A. Produtividade total dos fatores na agropecuária brasileira: análise de fronteira estocástica e índice de Malmquist. In: ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL - SOBER, 52., 2014, Goiânia. *Anais...* São Paulo: SOBER, 2014. p. 230-300.

GOMES, V.; PESSÔA, S.; VELOSO, F. A. *Evolução da produtividade total dos fatores na economia brasileira: uma análise comparativa*. Rio de Janeiro: EPGE/FGV, nov. 2003.

GOMES, A. P.; ALCANTARA FILHO, J. L.; SCALCO, P. R. Eficiência, tecnologia e produtividade total dos fatores: uma Análise das mudanças recentes na agropecuária do nordeste. In: Encontro Regional de Economia do Nordeste, XIV., 2009, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ANPEC/BNB, 2009. Disponível em: <<http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/eventos/forumbnb2009/docs/eficiencia.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Censos Agropecuários*. Área Territorial Brasileira, 2006. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 ago. 2013.

IGLIORI, D. C. *Determinants of technical efficiency in agriculture and cattle ranching: a spatial analysis for the Brazilian Amazon*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA - ANPEC, 33., 2005. Natal. *Anais...* Natal: ANPEC, 2005.

LUCAS JR., R. E. On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, North-Holland, v. 22, n. 1, p. 3-42, 1988.

MAGALHÃES, M. M. et al. Land reform in NE Brazil: a stochastic frontier production efficiency evaluation. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 49, n. 1, p. 9-29, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. *Contribuição da agropecuária brasileira na construção de uma sociedade sem fome e sem miséria e de uma economia sustentável*. Brasília: MAPA, 2012. 16p.

- OLIVEIRA, M. A. S.; SILVA, R. G.; BAPTISTA, A. J. M. Determinantes da estratificação da eficiência técnica no Ceará: uma abordagem multinomial. *Revista RV Economia*, Rio Verde, GO, v. 6, p. 36-44, 2005.
- SILVA FILHO, T. N. T. Estimando o produto potencial brasileiro: uma abordagem de função de produção. *Trabalhos para Discussão* - Banco Central do Brasil, Brasília, n. 17, p. 1-36, abr. 2001.
- SOLOW, R. Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, Cambridge, v. 39, p. 312-320, ago. 1957.
- SOUZA JÚNIOR, J. P. Análise da eficiência da produção de camarão em cativeiro no estado do Ceará. 2003. 107f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2003.
- SOUZA, R. O.; TEIXEIRA, S. M. Produtividade total dos fatores na agricultura goiana: uma análise para as culturas de cana-de-açúcar, milho e soja. *Revista de Economia e Agronegócio*, Viçosa, v. 11, n. 2, p. 211-234, maio/ago. 2013.
- STUKER, H. *Uma metodologia de avaliação da eficiência agropecuária de municípios*. 2003. 131f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- TAYLOR, T. G.; SHONKWILER, J. S. Alternative stochastic specifications of the frontier production function in the analysis of agricultural credit programs and technical efficiency. *Journal of Development Economics*, North-Holland, v. 21, p. 149-160, 1986.