

## A EFICIÊNCIA TÉCNICA E O MELHORAMENTO GENÉTICO DO SETOR CANAVIEIRO DO ESTADO DE SÃO PAULO

**Autor(es):** Marcos Aurelio Rodrigues<sup>1</sup>; Giovanna Miranda Mendes<sup>1</sup>; Marcelo Lopes de Moraes<sup>2</sup>; Paulo Fernando Cidade de Araújo<sup>1</sup>.

**Filiação:** <sup>1</sup>ESALQ/USP; <sup>2</sup>UNIOESTE

**E-mail:** rodriguesmarcosaurelio@gmail.com; giovannamendes@usp.br;  
marcelomoraes.unioeste@gmail.com; pfcaraujo@gmail.com

**Grupo de Pesquisa:** Evolução e Estrutura da Agropecuária no Brasil

### **Resumo**

O Estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, concentra a maior parte da estrutura de pesquisa do setor sucroalcooleiro. As pesquisas geradas têm contribuído para o aumento contínuo da produção da cultura no Estado, bem como nos significativos aumentos de produtividade ao longo dos últimos anos. O objetivo deste estudo foi analisar a eficiência técnica canavieira paulista, por meio da Análise de Fronteira Estocástica a partir dos dados de produção de cana-de-açúcar, área, mão de obra, capital representado pelo trator e sementes melhoradas como *proxy* para o melhoramento genético, obtidos no Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agropecuária do Estado de São Paulo (LUPA) de 2008. Os resultados mostraram que a eficiência técnica média estimada foi de 0,75 e que a utilização de sementes melhoradas reduz a ineficiência técnica. Além disso, os municípios com maior grau de eficiência técnica estão situados na região centro-leste do Estado, região de tradição na produção da cana-de-açúcar e de concentração locacional dos programas de melhoramento.

**Palavras-chave:** Fronteira Estocástica, cana-de-açúcar, melhoramento genético.

### **Abstract**

*The State of São Paulo, the largest producer of sugarcane of Brazil, possesses the major research structure of sugarcane industry. The researches generated have contributed to the continuous increase in crop production in this state, as well as in significant yield increases over the past years. The goal of this study was to analyze the São Paulo sugarcane technical efficiency by Stochastic Frontier Analysis of sugarcane production, area, labor, capital represented by tractor and improved seeds as a proxy for genetic breeding, from Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agropecuária do Estado de São Paulo (LUPA) data of 2008. The results exhibited an estimated technical efficiency average of 0.75 and that the use of improved seed reduces the technical inefficiency. In addition, the cities with the highest degree of technical efficiency are located in the central-eastern region of the state, a region characterized by traditional in sugarcane production and which possess the major sugarcane breeding programs of São Paulo state.*

**Keywords:** *Stochastic Frontier, sugarcane, genetic breeding.*

## 1. Introdução<sup>1</sup>

A indústria sucroalcooleira é uma das mais tradicionais no Brasil e, também, se destaca na produção mundial uma vez que é o maior produtor de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor de etanol. Segundo dados da FAO (2015), em 2012, a produção brasileira de cana-de-açúcar representou 42,34% da produção mundial, considerando os vinte maiores produtores. No âmbito da produção nacional, o maior produtor é o Estado de São Paulo cuja participação na produção do país tem sido cerca de 60% desde a década de 1990, segundo os dados do IPEADATA (2015).

Segundo Furtado, Scandiffio e Cortez (2011), o aumento da produção de cana-de-açúcar em São Paulo ocorreu em função do uso de técnicas de produção mais modernas e pela proximidade de um complexo industrial e de instituições de pesquisa. A expansão do sistema de inovação sucroalcooleiro ocorreu de forma mais dinâmica do que em nos outros estados do país em função de recursos naturais abundantes, principalmente terras, melhor infraestrutura de transporte e energia, proximidade de um grande mercado consumidor e um sistema de inovação formado por produtores, indústrias de bens de capital, institutos de pesquisas e universidades.

Desta forma, a atuação desses agentes que compõem o sistema de inovação paulista tem contribuído ao longo dos anos para o crescimento da produtividade da cana-de-açúcar no Estado, superando a produtividade nacional desde meados da década de 1940, como demonstrado na Figura 1. Nota-se também que, em ambas as séries, o aumento da produtividade tem sido contínuo, sendo a produção do Brasil, em grande parte explicada pelo aumento da produção paulista.

---

<sup>1</sup> Os autores agradecem à José Alberto Ângelo (IEA) e Carlos Fredo (IEA) no auxílio à coleta e filtragem dos dados disponibilizados do Projeto LUPA. Também agradecemos aos comentários e sugestões de Daiana Schmidt em relação ao estudo da genética, bem como aos esclarecimentos de Arne Henningsen sobre os procedimentos metodológicos. Este artigo é uma versão preliminar do projeto 51209-4/2012 financiado pela FAPESP, a qual agradecemos.

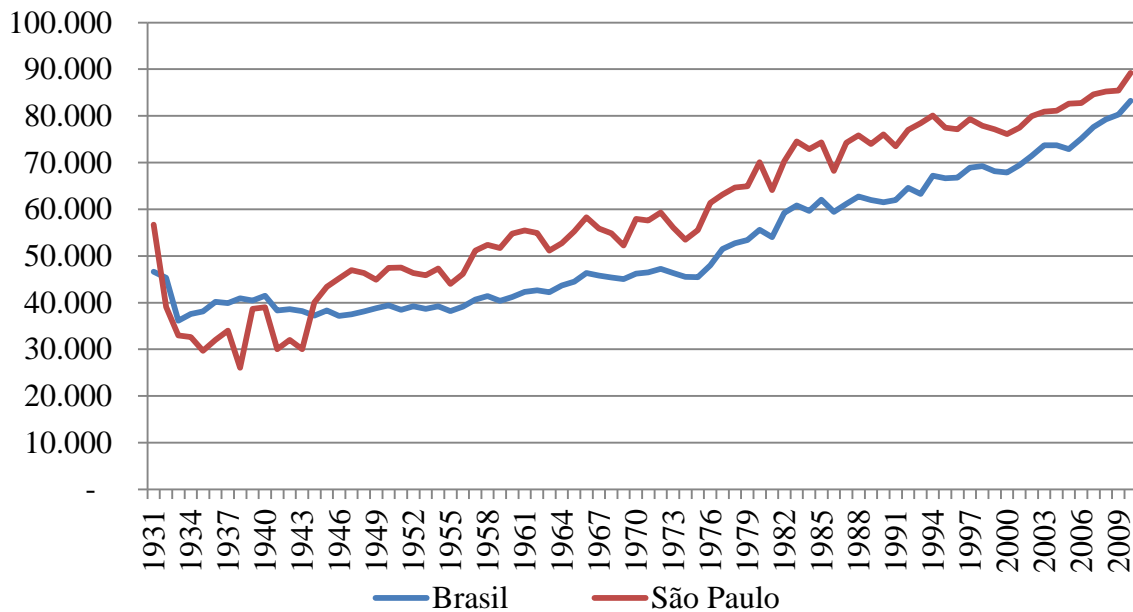


Figura 1 - Produtividade da cana-de-açúcar (Kg/ha) - São Paulo e Brasil de 1931 a 2012  
Fonte: Elaboração dos autores com base nos dados do IPEADATA

Outra característica que foi significativa para o desenvolvimento da pesquisa no Estado foi a crise do *mosaico* que ocorreu na década de 1920. De acordo com Dunham, Bomtempo e Fleck (2011), esta contribuiu, principalmente, para a aproximação entre as usinas e os institutos de pesquisa, além de incentivar as pesquisas do setor e, conseqüentemente, propiciar ganhos de produtividade oriundos do uso de tecnologias mais modernas.

Embora o crescimento da produtividade no estado tenha sido crescente ao longo dos anos, o desempenho dos municípios pode ter sido distinto uma vez que os ganhos de produtividade dependem do uso eficiente dos insumos e da estrutura tecnológica adotada pelos produtores. Estudos como os de Khanna (2007), Carambas (2011), Tchereni, Ngalawa e Sekhampu (2012) analisaram a eficiência técnica do setor canavieiro para Índia, Filipinas e Malawi, respectivamente. E, dois estudos analisaram o setor em Fiji, Reddy e Yanagida (1999) e Kingi e Kompas (2005) e para o Brasil, Alves (2008). De maneira geral, os autores encontraram resultados que permitem inferir que é possível aumentar a eficiência técnica do setor nestes países analisados.

O objetivo deste estudo é estimar e analisar a eficiência técnica do setor canavieiro dos municípios paulistas, por meio da análise de fronteira estocástica e dos dados obtidos do Projeto Levantamento de Unidades de Produção Agrícola (LUPA) e disponibilizados no Instituto de Economia Agrícola – IEA. Esta permite verificar a eficiência técnica dos produtores sujeitos aos fatores de produção, tais como área, mão de obra e capital, representado por tratores, bem como do fator sementes melhoradas, o qual que pode afetar a ineficiência técnica, devido aos programas de melhoramentos genéticos. Em particular, a análise foca no fator sementes melhoradas, sob a ótica desses programas. Ademais, pretende-

se analisar a formação de *clusters* espaciais de eficiência técnica para os municípios produtores de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, uma vez que a proximidade desses institutos de pesquisas pode influenciar a eficiência técnica dos municípios produtores mais próximos.

Este artigo está dividido em seis seções, além desta introdução. A segunda seção apresenta os programas de melhoramento; a terceira, a revisão de literatura dos estudos sobre eficiência técnica da produção de cana-de-açúcar; a quarta, a metodologia; a quinta os resultados e discussões e; por último, as considerações finais.

## 2. Os programas do melhoramento genético da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo, há um fator que marca o início das pesquisas agrícolas do setor sucroalcooleiro: crise do *mosaico*. Segundo Oliver (2001), no período anterior à crise do mosaico, houve a criação da Secretaria da Agricultura de Comércio e Obras públicas e a parceria entre o Instituto Agrônomo de Campinas - IAC e a Escola Agrícola de Piracicaba, nome anterior à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, nas pesquisas sobre cana-de-açúcar. O resultado da criação da secretaria, bem como desta parceria foi a criação do Serviço de Distribuição de Mudanças e Sementes em que estas duas instituições determinavam conjuntamente as melhores variedades de cana-de-açúcar para os solos do Estado. Após o surgimento do mosaico, o autor cita a criação da Estação Experimental de Cana de Piracicaba (EECP) com o objetivo de impedir crises como a ocorrida durante o mosaico, a partir das pesquisas agrícolas.

Atualmente, existem no Brasil quatro programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar desenvolvidos pelo Instituto Agrônomo (IAC, responsável pelas variedades IAC), pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC, responsável pelas variedades CTC e SP), pela CanaVialis (responsável pela variedade CV) e pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA<sup>2</sup>, responsável pelas variedades RB). Os três primeiros estão no Estado de São Paulo e, na RIDESA, a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) é uma das universidades que compõe a rede.

O primeiro programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo foi criado, em 1934, pelo IAC. Embora o instituto iniciou a pesquisa com a cana-de-açúcar em 1892, foi, a partir da crise do *mosaico* que incentivou a criação deste programa genético que introduzia novas variedades. No final da década de 1980, a reestruturação institucional do instituto e da demanda de usinas resultou na criação do ProCana em 1994. Com pesquisas em diversas áreas da cana-de-açúcar, o objetivo do programa foi o melhoramento genético com foco em características que resultassem em ganhos econômicos, além de maior produtividade e maior teor de açúcar.

O ProCana, caracterizado por atuar em forma de rede e não como um centro de pesquisa, possui três pólos regionais: Centro Sul (Piracicaba), Centro Leste (Ribeirão Preto) e

---

<sup>2</sup> O Plano Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR) foi criado pelo IAA em 1971. Diante da descontinuidade da Planalsucar, em função da extinção do IAA, sete universidades se uniram e assumiram os trabalhos de melhoramento genético da cana-de-açúcar, utilizando seus antigos ativos e pesquisadores. Assim, em 1991, é criada a RIDESA.

Centro Oeste (Jaú) (LANDELL, 2003). Na região de Ribeirão Preto, o IAC implementou o Centro Avançado da Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana em 1995 e, em 2006, inaugurou um laboratório de biologia molecular que permitiu reduzir o prazo lançamento de uma nova variedade, que geralmente necessitava de dez a doze anos (IAC, 2015).

O Centro de Tecnologia Copersucar - CTC está diretamente ligado à Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (COPERSUCAR). Como instituição de pesquisa da Copersucar, o CTC nasceu em 1969 e, em 1983, lançou uma primeira variedade (CTC, 2015). Furtado, Scandiffio e Cortez (2010) descrevem que programa do CTC foi um sucesso, já que no início da década de 1990, 65,7% da área plantada em São Paulo era de variedades CTC. Mas, uma crise atingiu a Copersucar, fato que resultou no surgimento de oposições às pesquisas.

Em 2004, o CTC passou a ser nomeado de Centro de Tecnologia Canavieira, expandindo suas atividades em todas as regiões canavieiras do país. Em 2011, o CTC tornou-se uma Sociedade Anônima, cujos acionistas representam cerca de 60% da moagem decana-de-açúcar na região Centro-Sul. Em relação à difusão de tecnologias, são 12 polos regionais distribuídos pelo país, além de parcerias com instituições nacionais e internacionais. Em toda sua história, o Centro recebeu aproximadamente R\$ 4 bilhões para seus projetos de investimento (CTC, 2015). Segundo Furtado, Scandiffio e Cortez (2010), o CTC contava com um orçamento de R\$ 30 milhões e 150 pesquisadores, em 2010.

No setor privado, as empresas CanaViallis e Alellyx, trabalham com desenvolvimento biotecnológico e melhorias de variedades, respectivamente. De acordo com Furtado, Scandiffio e Cortez (2010), a CanaViallis foi fundada por pesquisadores da UFSCar que fizeram parte do programa de melhoramento genético do Planalsucar, na década de 1970. Diante do objetivo de biotecnologia, o grupo não abandonou a pesquisa do melhoramento tradicional através da Alellyx.

Segundo CanaViallis (2015), são quatro as estações de pesquisa em melhoramento genético: Maceió/AL, Araçatuba/SP, Conchal/SP e Mandaguáçu/PR. Segundo Furtado, Scandiffio e Cortez (2010), dentre as 34 usinas parceiras, quase metade pertence a empresa Cosan. A estação de Maceió/AL obtém 1,5 milhões de mudas/ano de sementes híbridas, fato que a caracteriza como maior programa de reprodução do mundo. Outro programa de melhoramento genético da cana é RIDESA, a qual deu continuidade ao programa com a extinção do Planalsucar. Inicialmente, sete universidades se uniram e assumiram os trabalhos de melhoramento genético da cana-de-açúcar e, recentemente, três universidades federais foram incluídas na Ridesa (FURTADO, SCANDIFFIO, CORTEZ, 2010). Dentre as universidades, a UFSCar é a única paulista. O Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar (PMGCA) da UFSCar está sediado em Araras/SP.

A fonte de financiamento da RIDESA é formada por grupo privado (248 usinas associadas), grupos de interesse (sindicatos e cooperativas de usinas) e projetos submetidos a FINEP, FAPESP, BNB e Fundações estaduais de amparo à pesquisa (FAPs). Sua atuação é em forma rede de P&D com outros institutos de pesquisa, com participação ativa a Embrapa, o IAC e o CTC, entre outros (ROSÁRIO, 2008). Em relação à difusão de tecnologias, segundo RIDESA (2010), a mesma tem parcerias com 95% das empresas do setor sucroalcooleiro. Furtado, Scandiffio e Cortez (2010) descrevem que a Ridesa possui 21

estações experimentais em locais estratégicos, ou seja, em estados que possuem importância na cultura da cana-de-açúcar. A Rede possui 142 pesquisadores e 82 técnicos.

Além de apoio financeiro às universidades e aos institutos de pesquisas, destaca-se o Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia (Bioen) e o Genoma Cana, conhecido oficialmente como Projeto FAPESP Sucest (Sugar Cane EST), cujo objetivo foi o de sequenciar o genoma da cana-de-açúcar (MARQUES, 2012).

### 3. Revisão de Literatura

A análise de eficiência técnica tem sido utilizada em estudos de mercados agrícolas, como também, em estudos sobre o setor canavieiro no Brasil e no mundo. Nos *surveys* de Battese (1992) e Darku, Malla e Tran (2013), os autores apresentam trabalhos que analisaram a eficiência técnica em diversos países com dados agregados ou em nível de fazenda e, a forma funcional predominante utilizada nestes estudos foi a Cobb-Douglas e em outros trabalhos a forma funcional *translog*. De forma geral, os estudos indicaram a possibilidade de elevação da eficiência técnica, uma vez que as estimativas estiveram abaixo da fronteira estocástica de produção. Além disso, as diferentes suposições para os termos de erros aleatórios propiciam similaridade no ranking ordinal da estimação da eficiência, o que demonstra que a escolha da forma funcional e da distribuição dos erros não é significativa nas estimativas de eficiência.

Para o Brasil, Scherer e Porsse (2014) estimaram a fronteira de produção agrícola de culturas permanentes e temporárias. A partir do corte seccional, obtido por meio do Censo Agropecuário de 2006, suas análises foram procedidas por microrregiões, sendo escolhida a forma funcional *translog*.

As estimativas de eficiência técnica também tem sido realizadas para o setor canavieiro. A partir do arcabouço revisto pelos autores acima, nota-se similaridade metodológica nas aplicações empíricas posteriores aplicadas à cana-de-açúcar. As aplicações dessa metodologia a tal produto agrícola são a seguir revistas. Os trabalhos realizados sobre o setor canavieiro são sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Revisão dos estudos sobre eficiência técnica no setor canavieiro

Autores	País	Eficiência técnica média
Johnson, Zapata e Heagler (1995)	Estados Unidos (Lousiana)	> 90 %*
Reddy e Yanagida (1999)	Fiji	95%
Kingi e Kompas (2005)	Fiji	82%
Khanna (2007)	Índia	85%
Carambas (2011)	Filipinas	82%
Tchereni, Ngalawa e Sekhampu (2012)	Malawi	89%
Alves (2008)	Brasil	74%*

Fonte: Elaborado pelos autores.

\* média do período em análise.

Johnson, Zapata e Heagler (1995) mensuraram a eficiência técnica dos processadores de cana-de-açúcar do Estado de Lousiana, nos Estados Unidos. Com base na fronteira de produção estocástica estimada, do tipo Cobb-Douglas, concluem que existe elevada eficiência técnica na indústria de processamento de açúcar.

Com o uso do arcabouço de fronteira estocástica composto por variáveis explicativas de ineficiência, Reddy e Yanagida (1999) e Kingi e Kompas (2005) analisaram a eficiência do setor canavieiro em Fiji. A função de produção do tipo Cobb-Douglas foi escolhida em ambos os estudos. Enquanto que Reddy e Yanagida (1999) estimaram a eficiência técnica média em aproximadamente 95%, elevada comparativamente aos estudos revistos por Battese (1992) e Darku, Malla e Tran (2013), Kingi e Kompas (2005) encontraram eficiência média inferior a de Reddy e Yanagida (1999), aproximadamente 82%, sendo mais compatível aos demais estudos revistos nesses *surveys*.

Com foco nos recursos hídricos, Khanna (2007) analisa a eficiência técnica das fazendas de cana-de-açúcar na Índia. Utilizando-se de dados de corte seccional, indicaram a Cobb-Douglas como mais adequada à esses dados do que a *translog*, por meio de testes. Os resultados mostram que os agentes possuidores de reservatórios de água são mais eficientes do que aqueles que compartilham os reservatórios ou os que compram água. Na média, os produtores estiveram aquém da fronteira de eficiência em 15% e argumentam que a ineficiência pode ser reduzida ao redistribuir o conjunto de insumos utilizados na produção.

Tchereni, Ngalawa e Sekhampu (2012) analisaram a eficiência técnica dos produtores de cana-de-açúcar em Malawi. Utilizaram a Cobb-Douglas, justificando seu uso devido a quantidade amostral relativamente baixa em seu estudo, sendo mais apropriada que a proporcionada pela flseu us mas computacionalmente intensiva *translog*. Suas estimativas apontaram para uma eficiência técnica média de 89%. Seu estudo destaca-se dos demais estudos correlatos ao abordar variáveis explicativas para a eficiência técnica com o uso de um modelo Tobit, ao invés do uso dessas variáveis como termos de ineficiência. Porém, por ser procedida em dois passos, tal abordagem metodológica é tido como inapropriada por Fried, Lovell e Schmidt (2008).

Com foco no capital humano, Alves (2008) analisa a eficiência técnica e produtividade total dos fatores do setor canavieiro brasileiro. Demonstrou que o nível educacional dos trabalhadores do setor é relevante, sendo que ocorreram ganhos de eficiência técnica nas regiões Nordeste e Sudeste, concomitante a elevações de produtividade.

Marin e Carvalho (2012) analisaram a variabilidade espacial e temporal da eficiência produtiva canavieira paulista, assim como o *déficit* de produtividade (a diferença entre a produtividade máxima e a observada). Com dados para as safras 1990/1991 a 2005/2006, encontraram que os fatores climáticos explicam 43% da variabilidade da eficiência enquanto que os fatores socioeconômicos bióticos e de manejo explicam 42% da variabilidade.

Além da análise de eficiência, Scherer e Porsse (2014), utilizaram-se da análise exploratória de dados espaciais com intuito de avaliar o padrão espacial da eficiência produtiva estimada. Em particular, para os Estados de Pernambuco e São Paulo, observou-se agrupamento de microrregiões de elevada produtividade, nos quais há predominância da cultura canavieira.

## 4. Metodologia

As estimativas da eficiência podem ser obtidas por métodos paramétricos, a partir de estimações econométricas ou não paramétricos, por meio de técnicas de programação matemática. Neste trabalho, as eficiências, bem como as ineficiências técnicas serão estimadas por meio da Fronteira Estocástica que será melhor detalhada a seguir.

### 4.1. Análise da Fronteira Estocástica

A análise da eficiência produtiva possui, ou pelo menos deve possuir dois componentes. O primeiro componente consiste na estimação da fronteira de produção estocástica, a qual serve como referência para estimar a eficiência técnica dos produtores. Seu objetivo é estimar a eficiência dos produtores na alocação de insumos e produtos. O segundo componente, igualmente importante, apesar de ser frequentemente menos explorado, consiste na incorporação de variáveis exógenas, as quais influenciam à performance produtiva. Seu objetivo é associar a variação do desempenho produtivo com respeito a variações nas variáveis exógenas que caracterizam o ambiente no qual a produção ocorre (KUMBHAKAR E LOVELL, 2000).

Com base nessas noções à eficiência, adota-se a proposta Battese e Coelli (1995) na estimação da fronteira de produção canavieira do tipo Cobb-Douglas, adicionada do componente explicativo à eficiência e adaptada a dados de corte seccional. Tal proposta pode ser definida como

$$y_i = f(x_i; \beta) \exp\{v_i - u_i(z_i; \gamma)\}, \quad (1)$$

tal que  $y_i$  é a produção de cana-de-açúcar observada, com o limite superior a fronteira de produção estocástica definida por  $f(x_i; \beta) \exp\{v_i - u_i(z_i; \gamma)\}$ . Os insumos área, mão de obra e tratores de rodas (*proxy* para capital) são denotado por  $x$ , os quais espera-se encontrar sinal positivo;  $\beta$  denota o parâmetro que caracteriza a estrutura tecnológica de produção;  $i = 1, \dots, I$ , o indexador de municípios do Estado de São Paulo. Os termos aleatórios  $v_i$  e  $u_i$  permitem capturar os efeitos do ruído estatístico observado e o efeito da eficiência técnica sobre o produto observado, respectivamente. Ademais,  $z_i$  é definido como influência das sementes modificadas na ineficiência técnica, o qual esperasse ter sinal negativo; e  $\gamma$  o parâmetro das potenciais influências. A distribuição seminormal foi adotada nessa estimação devido a sua parcimônia, conforme sugerem Coelli et al. (2005) e Fried, Lovell e Schmidt (2008).

Seguindo as notações de Kumbhakar e Lovell (2000), a eficiência técnica do  $i$ -ésimo município produtor de cana-de-açúcar pode ser obtida por

$$ET_i = \exp\{-\mu\} = \exp\{-\gamma_i - \varepsilon_i\}, \quad (2)$$

sendo seus preditores obtidos pela

$$E[\exp\{-\mu_i\} | (v_i - \mu_i)] = \left[ \exp\left\{-\mu_{*i} + \frac{1}{2} \sigma_*^2\right\} \right] \left[ \frac{\Phi[(\mu_{*i}/\sigma_*) - \sigma_*]}{\Phi(\mu_{*i}/\sigma_*)} \right], \quad (3)$$

tal que



$$\mu_{*i} = \frac{\sigma_v^2(\gamma z_i) - \sigma_\mu^2(\varepsilon_i)}{\sigma_v^2 + \sigma_\mu^2}$$

e

$$\sigma_*^2 = \frac{\sigma_v^2 \sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2}.$$

Com base nessa estimativa de eficiência técnica, pode-se classificar e mapear as regiões canavieiras mais eficientes. Além disso, permite verificar se as sementes modificadas (proxy para melhoramento genético) da cana-de-açúcar afeta a eficiência técnica agrícola do setor canavieiro do Estado de São Paulo.

#### 4.1 Base de Dados

Coelli *et al.* (2005) ressaltam que a qualidade e o uso apropriado dos dados na aplicação da análise de fronteira estocástica é tão importante quanto a técnica em si. Nesse sentido, a base de dados foi composta por meio dos microdados do Projeto Levantamento de Unidades de Produção Agrícola (LUPA), edição 2007/2008, disponibilizado no Instituto de Economia Agrícola (IEA).

O Projeto LUPA é um censo agropecuário do Estado de São Paulo. Realizado pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) - órgão integrante da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA) - contou com a colaboração do IEA, o qual ficou responsável pelo controle de qualidade e a análise estatística dos dados (PINO, 2009). Segundo este autor, a unidade amostral utilizada no levantamento foi a “unidade de produção agropecuária” (UPA), a qual coincide, na maioria dos casos, com o conceito de “imóvel rural” do IBGE.

Conforme ressalta Pino (2009), embora possam divergir em números absolutos em alguns casos, as tendências do Projeto LUPA convergem para as apontadas por outras fontes, como, por exemplo, as indicadas no censo agropecuário do IBGE, no CANASAT do INPE e as estatísticas UNICA/MAPA. Ademais, este autor destaca que quando comparadas as edições 2007/2008 e de 1995/1996, a cobertura do levantamento censitário LUPA melhorou.

Assim, para a análise da eficiência canavieira paulista foram escolhidas as seguintes variáveis do Projeto LUPA, edição 2007/2008: produção (quantidade); área ocupada (quantidade); mão de obra temporária (quantidade); mão de obra permanente (quantidade); trator de pneus (quantidade) e sementes melhoradas (binária).

Com base nos microdados disponibilizados, foram procedidas agregações ao nível geográfico municipal, devido às restrições e sigilo e dos dados, possibilitando demonstrar as eficiências dessa cultura nas análises de fronteira estocástica e, por conseguinte, por meio de mapas.

Primeiramente, com a finalidade de obter dados apenas para a cultura canavieira, as UPAS foram filtradas de forma a eliminar as unidades não produtoras de cana-de-açúcar. Desse modo, foram consideradas apenas as UPAS que efetivamente produzem cana-de-açúcar. Após essa filtragem, a agregação dos dados disponibilizados em quantidades, foram somados para cada município. E, para agregação dos dados binários, utilizou-se a média de cada município.

## 5. Resultados e discussões

Os resíduos das estimativas por mínimos quadrados ordinários podem ser utilizados para testar a presença de assimetria negativa, a qual serve como teste para presença de variações na ineficiência tecnológica (FRIED; LOVELL; SCHMIDT, 2008). Uma vez que foi confirmada a negatividade dos resíduos, cujo valor para a assimetria foi de -2.3562, pode-se, portanto, utilizar os valores dos coeficientes da estimativa por mínimos quadrados como valores iniciais na maximização da verossimilhança. Além disso, valida-se a presença de ineficiência tecnológica - a qual deve ser modelada - justificando o modelo de fronteira estocástica utilizado no presente estudo.

Com base nas estimativas desses parâmetros, foi procedida a maximização da verossimilhança do modelo de fronteira estocástica de Battese e Coelli (1995), adaptada ao corte seccional. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Fronteira estocástica estimada com parâmetro de ineficiência técnica

	Coefficiente	Erro Padrão	Valor-z	Valor-p
Intercepto	11.276	0.055	203.895	0.000
Área cultura	1.025	0.007	157.114	0.000
Mão de obra temporária	0.001	0.001	0.625	0.532
Mão de obra permanente	-0.004	0.004	-1.124	0.261
Trator de pneus	0.004	0.003	1.446	0.148
Z Sementes melhoradas	-0.008	0.004	-2.209	0.027
$\sigma^2$	0.195	0.014	13.268	0.000
$\gamma$	0.847	0.023	36.397	0.000

Fonte: Elaboração dos autores com base nos dados do Projeto LUPA - 2007/2008.

O somatório das elasticidades é superior à unidade, indicando retornos crescentes à escala. Nota-se que a maioria dessas elasticidades possui o sinal esperado na fronteira de produção estocástica. O coeficiente da área foi estatisticamente significativo, ou seja, um incremento de 1% sugere aumento de 1,02% na produção. Com mesmo sinal e magnitude similar, Alves (2008) estimou a elasticidade da mesma variável, mas para o conjunto de dados obtidos a nível estadual em 1,02, o que denota robustez na presente estimativa. Cabe ressaltar que a autora utilizou a área plantada com cana-de-açúcar como *proxy* para o estoque de capital, em função da ausência de alguns dados e pela justificativa utilizada de que a terra é um fator de produção importante na agricultura.

Esta evidência é consistente com os argumentos de Darku, Malla e Tran (2013), uma vez que áreas maiores de produção e, conseqüentemente, os grandes produtores são mais eficientes do que os menores pois tendem a adotar mais rapidamente novas tecnologias, possivelmente devido ao maior acesso à informações e a outros recursos escassos. Também converge com a sugestão de aglomerações e fusões entre os agentes do setor canavieiro, indicado por Reddy e Yanagida (1999) e Kingi e Kompas (2005) para elevação da eficiência produtiva. Essa junção, segundo estes autores, possibilita economias de escala,

compartilhamento de recursos, compra de bens de capital dispendiosos e diminuição dos custos de transação e de custos administrativos.

No entanto, apesar do sinal esperado nas demais elasticidades estimadas na fronteira de produção, estas não foram estatisticamente significativas. A baixa magnitude da variável associadas à mão de obra temporária é similar aos trabalhos de Reddy e Yanagida (1999) e Tchereni, Ngalawa e Sekhampu (2012), nos quais encontraram coeficientes próximos de zero e estatisticamente não significativos, assim como a elasticidade encontrada por Alves (2008).

Conforme se esperava, o fator de produção capital, mensurado a partir da *proxy* quantidade de tratores, a qual está relacionada à mecanização, apresenta sinal positivo na estimação da fronteira estocástica de produção. Entretanto, apesar desse fator proporcionar aumento da eficiência técnica, fato evidenciado por Carambas (2011) ao indicarem que as fazendas que utilizam-se de mecanizações tendem a ser tecnicamente mais eficientes, tal evidência não foi estatisticamente significativa aos níveis tradicionais de confiança no presente estudo. Evidência não estatisticamente significativa também foi encontrada no estudo de Scherer e Porsse (2014), ao utilizarem como *proxy* para o capital, uma medida obtida por componentes principais de peso 90% aos tratores. Segundo estes autores, mesmo não sendo significativa, o aumento em seu uso pode elevar o desempenho das propriedades, já que permitem o acesso a áreas de difícil exploração, além de reduzir o tempo necessário na execução das tarefas.

O parâmetro estimado da variância associada aos efeitos de ineficiência, denotado por  $\gamma$ , foi estatisticamente significativo. A magnitude elevada desse parâmetro (0,84) implica, segundo Battese e Coelli (1995), que os efeitos da ineficiência técnica são relevantes no modelo de fronteira estocástica. E, a função de produção tradicional, sem efeitos de ineficiência técnica, não parece adequada aos dados.

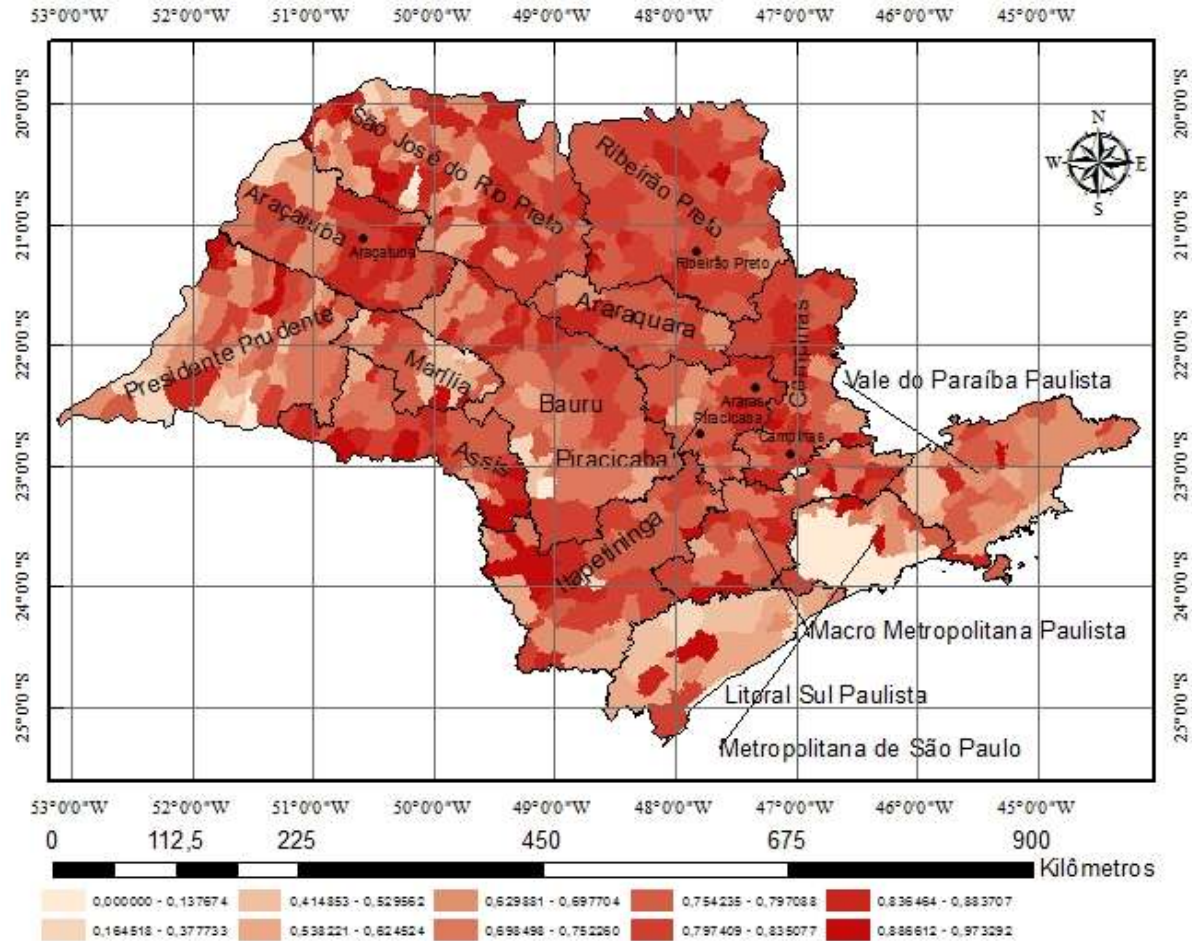
Depreende-se, portanto, que existem efeitos de ineficiência técnica associados à produção de cana-de-açúcar. Uma vez que eficiência técnica média estimada foi de 0,75, há potencial para elevar essa eficiência no Estado de São Paulo, como também sugere que os produtores se defrontam com problemas de eficiência técnica. A eficiência técnica média dessa magnitude implica que o produto obtido no cultivo da cana-de-açúcar, pode ser elevado em 25%, sujeito ao conjunto de insumos utilizados e a tecnologia utilizada.

Em relação à sementes melhoradas, variável explicativa para a ineficiência técnica, encontrou-se o sinal esperado, assim como significância estatística. Portanto, quanto maior sua utilização menor a ineficiência técnica. Essa constatação permite inferir que o uso de sementes melhoradas possibilitam a diminuição da ineficiência técnica. Desta forma, conforme Carambas (2001), sua adoção, possibilita a maximização dos benefícios proporcionados pela pesquisa e desenvolvimento.

Com base na estimação da fronteira estocástica de produção, foram procedidos os cálculos das eficiências técnicas de cada município do Estado de São Paulo para avaliar a distribuição espacial das eficiências técnicas, visualizadas na Figura 2.



Figura 2 – Mapa da eficiência técnica do setor canavieiro do Estado de São Paulo



Fonte: Elaboração dos autores com base nos dados do Projeto LUPA - 2007/2008.

Assim sendo, evidencia-se eficiência técnica heterogênea no Estado, coexistindo produtores que otimizam os fatores produtivos, com os que não utilizam de forma eficiente a estrutura tecnológica de produção, em particular os avanços proporcionados pelas pesquisas. Por outro lado, a eficiência técnica canavieira paulista apresenta padrões de elevada eficiência técnica, principalmente, nas mesorregiões do Noroeste do Estado, tradicionais produtoras, bem como nas regiões à oeste, onde ocorreu a expansão canavieira em função do Proálcool e que foi reforçada pelo lançamento dos carros flex.

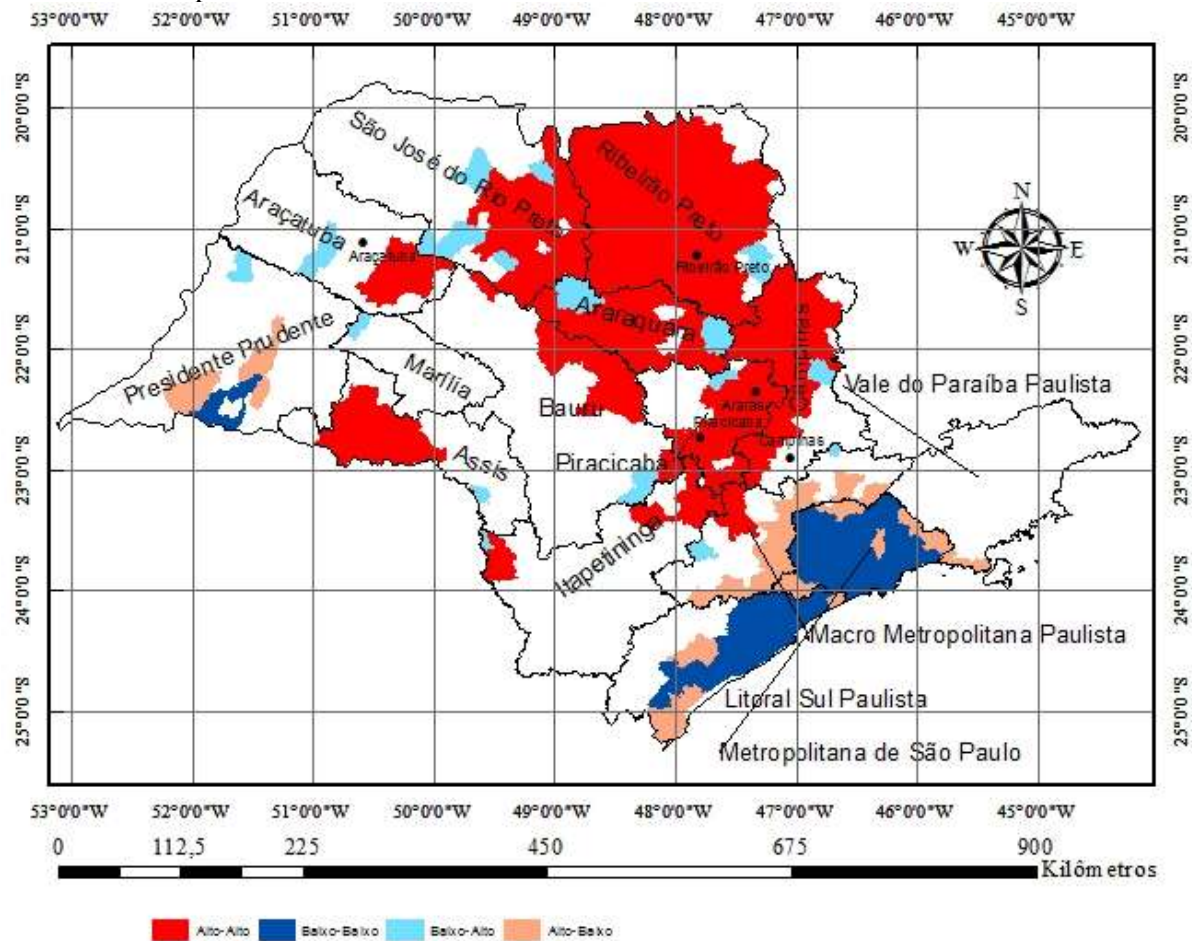
Tal constatação pode ser creditada, entre outros fatores, ao investimento em pesquisa, tecnologia e inovação, em particular aos programas de melhoramento genético, uma vez que, segundo Landell (2003), as variedades melhoradas foram as tecnologias que mais contribuíram para ganhos de produção e produtividade verificadas nos últimos quarenta anos.

Diante desta diferença de eficiência entre os municípios, aliada ao fato de que os programas de melhoramento no Estado de São Paulo estejam concentrados nas regiões centro-leste, principalmente Piracicaba e Ribeirão Preto, em distinção das regiões mais à oeste, verificou-se, por meio da análise do indicador local de associação espacial proposto por



Anselin (1995), a possível formação de *clusters* de eficiência técnica, possibilitando inferir que as regiões tradicionais na produção e na pesquisa proporcionam efeitos de transbordamentos as regiões contíguas.

Figura 3 – Mapa de indicadores de associação local de Anselin (1995) para a eficiência técnica do setor canavieiro paulista



Fonte: Elaboração dos autores com base nos dados do Projeto LUPA - 2007/2008.

Nota: Indicadores locais de associação espacial propostos por Anselin (1995), os quais permitem indicar o grau de agrupamento de valores similares estatisticamente significativos. Exemplificando, a relação (alto-alto) denota uma região com elevada eficiência com vizinhos construídos a partir da matriz rainha de segunda ordem com elevada eficiência.

Desta forma, nota-se, a associação espacial da eficiência, uma vez que existem regiões de alta eficiência rodeadas por vizinhos que também apresentam alta eficiência, conforme Figura 3. Os programas de melhoramento estão concentrados nos municípios onde ocorre predominância de contiguidades espaciais relacionada a valores elevados de eficiência (Alto-Alto) como, por exemplo, os programas de melhoramento que estão sediados nos municípios

de Araras (RIDESA<sup>3</sup>) e de Piracicaba (CTC), cujos municípios contíguos apresentaram padrão espacial alto-alto. Conjectura-se, portanto, que os efeitos de transbordamento podem ser maiores nos municípios mais próximos aos programas de melhoramento genético.

Um ponto a ser destacado é o município de Campinas, sede do IAC e da CanaViallis, que não apresentou correlação espacial local positiva (alto-alto). Entretanto, a mesorregião de Campinas apresenta uma extensa área com municípios de elevada produtividade envoltos de elevada produtividade (alto-alto). Nesta mesorregião, destacam-se, principalmente, os municípios do oeste (divisa com a região de Piracicaba, a qual inclui o município de Araras) e norte (divisa com a região de Ribeirão Preto). Essa faixa territorial, que inclui municípios das mesorregiões de Piracicaba, Ribeirão Preto e Campinas concentram as pesquisas aplicadas de três dos quatro programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil, os quais trabalham em sistema de parcerias entre eles e entre os demais agentes do setor e que podem ser responsáveis pela faixa em vermelho (Figura 3).

Em relação a tradição na produção de cana-de-açúcar, destaca a mesorregião de Piracicaba, pioneira na pesquisa do setor, além de contar com as pesquisas da ESALQ e o CTC. Outra região tradicional é a de Ribeirão Preto, que conta com o centro de pesquisa e o laboratório do IAC, além de ser realizado no município o Treinamento Procana, oriundo do Programa de Cana-IAC. Marin e Carvalho (2012) descrevem que dentre os fatores de alta produtividade, nestas regiões tradicionais de cultivo, destaca-se o uso de variedades da cana-de-açúcar.

Na região de São José do Rio Preto e Araraquara, nota-se pela Figura 3 que essas fazem divisa com a região de Ribeirão Preto, possibilitando inferir sobre o efeito transbordamento da última sobre essas duas regiões uma vez que apresentaram padrão (Alto-Alto).

Nas pesquisas do setor privado, a CanaViallis, sediada no município de Campinas, possui quatro estações de pesquisa no Brasil, sendo um dos seus campos em Araçatuba, região que apresenta uma correlação espacial de elevada eficiência (Alto-Alto) e que pode contribuir para a elevada eficiência na região de Araçatuba, região em que houve expansão no cultivo da cana a partir do Proácool.

Em relação às regiões do Estado que não apresentam *clusters* de eficiência, podem-se citar litoral e Vale do Paraíba que, apesar da produção canavieira em São Paulo ter-se iniciado no Litoral, as menores eficiência técnicas estão ali situadas, bem como no Vale do Paraíba e, em algumas microrregiões Centrais e à Oeste.

A ausência de *cluster* de eficiência técnica também ocorre na região de Presidente Prudente, à oeste do Estado. Diferentemente de Araçatuba, localizados na mesma região, esta ausência pode ser explicada pela distância dos programas de melhoramento genético. Segundo Marin e Carvalho (2012), a região oeste apresenta fertilidade do solo inferior ao das áreas tradicionais, o que pode explicar também a menor eficiência na região.

Portanto, há evidências para inferir que as regiões que são sedes programas de melhoramento e pesquisa, além de serem regiões tradicionais de produção, apresentam maior

---

<sup>3</sup> Como já descrito, dentre as universidades federais que compõe a RIDESA, a UFSCar, campus de Araras, é a única paulista.

eficiência técnica e pela existência de *clusters* de eficiência técnica, há possível efeito transbordamento para os municípios mais próximos.

## 6. Considerações Finais

O Estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, possui produtividade superior à média nacional, principalmente em função da intensificação das pesquisas sobre a cana-de-açúcar nos institutos de pesquisa, como o IAC e o CTC, nas universidades como a Esalq, além das empresas do setor privado que também tem contribuído para a continuidade da pesquisa da cana-de-açúcar, permitindo os ganhos contínuos de produtividade.

Para analisar o grau de eficiência técnica dos produtores a nível municipal no Estado, utilizou-se da Análise de Fronteira Estocástica para verificar se os municípios têm produzido de forma eficiente, ou seja, o quanto a produção está distante do máximo permitido na fronteira de produção estimada, dado o nível de insumos utilizados.

Pelos resultados encontrados, o insumo terra é o que mais influenciou na produção e na eficiência técnica no setor canavieiro do Estado de São Paulo, a partir dos dados do LUPA. Em relação à variável de ineficiência, esta mostrou que há um efeito negativo do uso de sementes melhoradas sobre a ineficiência técnica, demonstrando que quanto maior uso da pesquisa de melhoramento genético, maior também será o nível de eficiência técnica dos municípios e, conseqüentemente maior a produção.

Foi evidenciado que a interação dos programas de melhoramento genético com as usinas, a Fapesp e as Universidades no Estado de São Paulo formam uma rede, fato que pode justificar a distribuição espacial heterogênea da eficiência técnica no Estado.

Para verificar esta heterogeneidade, procedeu a análise de cluster dos municípios. As mesorregiões que são sedes programas de melhoramento (pesquisa, difusão, etc.) e que são regiões tradicionais de produção, como a mesorregião de Piracicaba e Ribeirão Preto, apresentaram valores elevados de eficiência (Alto-Alto). Há também indícios sobre o efeito transbordamento à regiões próximas a estas, como é o caso de São José do Rio Preto e Araraquara, próximos à Ribeirão Preto. Além disso, há aqueles municípios com baixo valor de eficiência, principalmente na região do Litoral e do Vale do Paraíba.

Baixo valor encontrado para a eficiência foi no município de Presidente Prudente que, embora esteja próximo à Araçatuba, outras variáveis podem explicar este valor mais baixo, como é o caso da fertilidade do solo nesta mesorregião, variável que pode ser usada como sugestão para trabalhos futuros.

Devido às limitações inerentes ao corte seccional adotado, estudos futuros podem ser procedidos com modelos em painel, os quais permitem avaliar as mudanças temporais, além de possibilitar a estimação da produtividade total dos fatores no setor canavieiro. Ademais, as evidências de dependência espacial reportadas indicam que os efeitos locais são relevantes, devendo ser considerados nas análises do setor e, à medida que os métodos de estimação de fronteiras estocásticas espaciais se consolidarem, devem ser, portanto, adotados.

## 7. Referências

ALVES, H.C.R. A Importância do capital humano na eficiência técnica e produtividade total dos fatores no setor canavieiro do Brasil. Dissertação de Mestrado. Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2008.

ANSELIN, L. Local indicators of spatial association - LISA. *Geographical Analysis*, v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995.

BATTESE, G. E. Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical applications in agricultural economics. *Agricultural Economics*, v. 7, n. 3-4, p. 185–208, 1992.

BATTESE, G. E.; COELLI, T. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, v. 20, n. 2, p. 325–332, 1995.

CANAVIALLIS. Disponível em: <<http://www.canavialis.com.br/>>. Acesso em 18 fev. 2015.

CARAMBAS, N. D. Decomposition of output growth in the Philippine sugarcane sector: A stochastic frontier production function analysis using balanced panel data. *Journal of International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*, v. 17, n. 2, p. 134–151, 2011.

COELLI, T. J. A computer program for frontier production function estimation: Frontier version 2.0. *Economics Letters*, v. 39, n. 1, p. 29–32, 1992.

COELLI, T. J.; RAO, D. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. 2. ed.: Springer, 2005.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA – CTC. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/>>. Acesso em 14 fev. 2015.

DARKU, A. B.; MALLA, S.; TRAN, K. C. *Historical review of agricultural efficiency studies*. *Canadian Agricultural Innovation and Regulation Network (CAIRN)*, p. 80, 2013.

DUNHAM, F. B.; BOMTEMPO, J. V.; FLECK, D. L. A estruturação do sistema de produção e inovação sucroalcooleiro como base para o Proálcool. *Revista Brasileira de Inovação*. Campinas, v. 10, n.1, p. 35-72, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. FAOSTAT. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>> Acesso em 02 abr. 2015

FERREIRA, E. R., ALVES, F. D. & RUAS, D. G. G. Organização espacial da cana-de-açúcar no estado de São Paulo: uma análise evolutiva. In: Ferreira, D. A. O.; Ferreira, E. R. (Ed.), *Estudos agrários: conceitos e práticas*. Rio Claro: Unesp, 2009.



FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. Efficiency and productivity. In: FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. (Org.). *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*. New York: Oxford University Press, 2008. p. 3–91.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. I.; CORTEZ, L. A. B. The Brazilian Sugarcane Innovation System. *Energy Policy*, v. 39, p. 156-166, 2011

JOHNSON, J. L.; ZAPATA, H. O.; HEAGLER, A. M. *Technical efficiency in louisiana sugar cane processing*. *Journal of Agribusiness*, v. 13, n. 2, p. 85–98, 1995.

KHANNA, G. Improving agricultural efficiency amongst groundwater users: the case of sugarcane in North India. *Journal of Public and International Affairs*, v. 18, p. 80-105, 2007.

KINGI, T. T.; KOMPAS, T. F. Communal Land Ownership and Agricultural Development: Overcoming Technical Efficiency Constraints Among Fiji's Indigenous Sugercane Growers, *International and Development Economics*, Working Paper 05-11, 2005.

KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. A. K. *Stochastic Analysis Frontier*: Cambridge University Press, 2000.

LANDELL, M. ProCana – O programa cana-de-açúcar do Instituto Agrônomo. *O agrônomo*, v 55, n 1, p. 5-8, 2003.

MARIN, F. R.; CARVALHO, G. L. Spatio-temporal variability of sugarcane yield efficiency in the state of São Paulo, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 2, p. 149-156, 2012.

MARQUES, F. O mapa da cana. Revista Pesquisa FAPESP, maio de 2012. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/08/15/o-mapa-da-cana/>>. Acesso em 09/01/2015.

OLIVER, G. S. *José Vizioli e o início da modernização tecnológica da agroindústria canavieira paulista (1919-1949)*. Dissertação (Mestrado). Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

PINO, F. A. Análise preliminar de um censo agropecuário: projeto lupa no Estado de São Paulo. *Informações Econômica*, v. 39, n. 7, p. 67–75, 2009.

REDDY, M.; YANAGIDA, J. F. Technical efficiency analysis of fiji's sugar industry: an application of the stochastic frontier production function approach. *South African Journal of Economic and Management Sciences*, v. 2, n. 1, p. 77–92, 1999.

RIDESA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucoalcooleiro. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar: Curitiba, 2010.

ROSÁRIO, F. *Competitividade e transformações estruturais na agroindústria sucoalcooleira no Brasil: uma análise sob a ótica dos sistemas setoriais de inovações*. Tese

de Doutorado. Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

SÃO PAULO (IEA). Projeto LUPA 2007/2008: Censo Agropecuário do Estado de São Paulo. São Paulo, 2009.

SCHERER, C. E. M.; PORSSE, A. A. Eficiência produtiva regional da agricultura brasileira: Uma análise de fronteira estocástica. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS, XII., 2014, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 2014.

TCHERENI, B. H.; NGALAWA, H. P.; SEKHAMPU, T. J. Technical efficiency of small sugarcane farmers in Malawi: the case of Kasinthula cane growing scheme. *Studia Universitatis Babes-Bolyai Oeconomica*, v. 57, n. 2, p. 3–13, 2012.